

ABORDAGEM AUSUBELIANA PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE,
USANDO O JOGO “EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL” NAS VERSÕES DI-
GITAL E CARTAS*

Eliabe Maxsuel de Aquino

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 9, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Mossoró

2025

* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Código de financiamento 001.

ABORDAGEM AUSUBELIANA PARA O ENSINO DE ELETRICIDADE,
USANDO O JOGO “EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL” NAS VERSÕES DI-
GITAL E CARTAS*

Eliabe Maxsuel de Aquino

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 9, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Mossoró

2025

* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).
Código de financiamento 001.

A657a Aquino, Eliabe Maxsuel de Aquino.
ABORDAGEM AUSUBELIANA PARA O ENSINO DE
ELETRICIDADE, USANDO O JOGO ?EM BUSCA DO PRÊMIO
NOBEL? NAS VERSÕES DIGITAL E CARTAS / Eliabe
Maxsuel de Aquino Aquino. - 2025.
217 f. : il.

Orientador: Carlos Alberto dos Santos Santos.
Coorientador: Geovani Ferreira Barbosa Barbosa.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Programa de Pós-graduação em
Física, 2025.

1. Jogo digital . 2. Eletricidade . 3.
Ausubel. 4. Escalonamento multidimensional . 5.
Concepções alternativas. I. Santos, Carlos Alberto
dos Santos, orient. II. Barbosa, Geovani Ferreira
Barbosa, co-orient. III. Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

Dissertação aprovada pela banca examinadora assim constituída:

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Orientador: MNPEF-UFERSA 

Documento assinado digitalmente



CELIO RODRIGUES MUNIZ

Data: 30/03/2025 11:31:59-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Prof. Dr. Célio Rodrigues Muniz

Membro Externo: UECE 

Documento assinado digitalmente



JUSCIANE DA COSTA E SILVA

Data: 30/03/2025 16:36:19-0300

Verifique em <https://validar.it.gov.br>

Profa. Dra. Jusciane da Costa e Silva

Membro interno: MNPEF-UFERSA

Eliabe Maxsuel de Aquino - Mestrando

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço ao meu Deus porque “dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas”.

À Aninha, minha querida esposa por estar sempre ao meu lado oferecendo apoio incondicional, palavras de encorajamento e compreensão nos momentos mais difíceis.

Aos meus pais Josué e Maria Aquino, pela educação e os valores que me transmitiram, que foram essenciais para que eu chegasse até aqui. Obrigado por acreditarem em mim e por cada sacrifício feito em prol do meu crescimento.

Agradeço aos meus orientadores, professor Dr. Carlos Alberto dos Santos e professor Dr. Geovani Ferreira Barbosa, pelas valiosas orientações e ensinamentos. Em especial, expresso minha profunda gratidão ao professor Carlos Alberto pelo apoio incondicional, paciência e incentivo nos momentos em que mais precisei. Sem sua compreensão e encorajamento esta conquista não teria sido possível.

A todos os professores do MNPEF-UFERSA, Polo 9, pelo conhecimento compartilhado, pela dedicação e pelo apoio ao longo desta jornada. Cada disciplina contribuiu de maneira significativa para a minha formação. Ao coordenador, professor Dr. Rafael Castelo Guedes Martins pelo empenho e disposição em nos ajudar.

Aos meus colegas das turmas de 2017 e 2022 do MNPEF-UFERSA, minha sincera gratidão por toda a troca de conhecimentos, pelo apoio e pelos momentos compartilhados ao longo dessa jornada. Em especial, agradeço ao meu amigo Glauco, pelo companheirismo e amizade ao longo dessa caminhada; ao meu parceiro de viagens, Joelson, por dividir comigo tantos trajetos e conversas que tornaram os desafios mais leves; e ao meu colega de seminários e trabalhos, Jeová (in memoriam), cuja dedicação e presença deixaram uma marca inesquecível em nossa trajetória.

À direção da Escola Estadual Teônia Amaral e aos meus queridos alunos, minha sincera gratidão. Sem o apoio, a colaboração e o engajamento de todos, este trabalho não teria sido possível. A cada um de vocês, meu muito obrigado!

Agradeço à CAPES pelo apoio financeiro por meio da bolsa, à SBF pela estrutura acadêmica do MNPEF e à UFERSA pelo suporte institucional, fundamentais para a realização deste trabalho.

RESUMO

Descreve-se nesta dissertação a estrutura, funcionalidades e possibilidades de implementação do jogo educacional multiplataforma e multitemático, *Em busca do Prêmio Nobel*, nas versões digital e cartas. Na versão digital, o jogo se desenvolve em dois ambientes, administrados por um código PHP. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML, mapas conceituais confeccionados com a ferramenta CmapTools, e experimentos virtuais do PhET. O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL, com questões similares às do ENEM, e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Essa estrutura modular e aberta permite que o jogo seja implementado em qualquer área de conhecimento que se deseje. Basta inserir no ambiente de aprendizagem, as páginas de conteúdo HTML (ou PDF) pertinentes ao assunto, e incluir no ambiente de jogo o banco de questões correspondentes e as respectivas telas de transição. A versão beta do jogo foi usada em uma dissertação sobre atomística. A versão 1.0, que foi utilizada nesta dissertação, trata de eletricidade. O jogo pode ser usado com qualquer referencial pedagógico, mas nós preferimos utilizá-lo com base na teoria de aprendizagem de Ausubel. Para tanto elaboramos um texto ausubeliano complementar ao livro-texto usado na escola, para apresentar organizadores prévios pertinentes ao tema. Como elementos de validação do produto foram usados teste de concepções alternativas (TCA), teste de associação numérica de conceitos (TANC) e questionário de reação ao jogo e ao texto ausubeliano. O TANC foi analisado com um algoritmo de escalonamento multidimensional (ALS-CAL/INDISCAL) contido no pacote estatístico SPSS. A versão carta é uma adaptação da versão digital, com as mesmas questões, e regras similares para o progresso no jogo. A diferença básica é que deve ser jogado entre dois competidores, ou entre duas equipes de competidores. Os resultados obtidos sugerem que o material é potencialmente útil para a melhoria da aprendizagem.

Palavras-chave: Jogo digital; Eletricidade; Ausubel; Concepções alternativas; Teste de associação numérica de conceitos; Escalonamento multidimensional.

ABSTRACT

This dissertation describes the structure, functionalities and implementation possibilities of the multiplatform and multithematic educational game *In Search of the Nobel Prize*, in its digital and card versions. In the digital version, the game is developed in two environments, managed by PHP code. The learning environment consists of HTML content pages, concept maps created with the CmapTools tool, and virtual experiments from PhET. The game environment consists of a MySQL database, with questions similar to those of the ENEM, and transition screens with the participation of the Master-Advisor, a character similar to the Game Master or Narrator in RPG games. This modular and open structure allows the game to be implemented in any desired area of knowledge. Simply insert the HTML (or PDF) content pages relevant to the subject into the learning environment, and include the corresponding question bank and the respective transition screens in the game environment. The beta version of the game was used in a dissertation on atomistics. Version 1.0, which was used in this dissertation, deals with electricity. The game can be used with any pedagogical framework, but we preferred to use it based on Ausubel's learning theory. To this end, we developed an Ausubelian text to complement the textbook used in the school, to present advance organizers relevant to the topic. The following elements were used to validate the product: an alternative conceptions test (TCA), a numerical association of concepts test (TANC), and a questionnaire on reactions to the game and the Ausubelian text. The TANC was analyzed with a multidimensional scaling algorithm (ALSCAL/INDISCAL) contained in the SPSS statistical package. The paper version is an adaptation of the digital version, with the same questions and similar rules for progressing in the game. The basic difference is that it must be played between two competitors, or between two teams of competitors. The results obtained suggest that the material is potentially useful for improving learning.

Keywords: Digital game; Electricity; Ausubel; Misconceptions; Numerical association test of concepts; Multidimensional scaling.

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Distribuição de documentos (artigos + patentes) recuperados pelo Google Acadêmico, de 1950 a 2020, para a sentença de busca “educational game”.	20
Figura 3.2 – Parte do mapa do Brasil obtido com o ALSCAL/INDSCAL a partir das distâncias aéreas entre 20 capitais.	28
Figura 3.3 – Mapa de conceitos de eletricidade, obtido com uma matriz aleatória.	28
Figura 3.4 – Processo de variação das distâncias para atender à monotonicidade. Fonte: Dos Santos (1978)	29
Figura 3.5 – Mapa de todos os respondentes.	30
Figura 3.6 – Mapa dos pesos que cada respondente atribui a cada dimensão.	31
Figura 3.7 – Mapa individual do aluno 1. Códigos dos conceitos: Q=carga elétrica; E=campo elétrico; F=força elétrica; V=potencial elétrico; DDP=diferença de potencial; I=corrente elétrica; R=resistência elétrica; LC= lei de Coulomb; LO=lei de Ohm.	31
Figura 3.8 – Mapa de um grupo de professores de física no ensino médio, alunos do MNPEF-UFERSA, em 2022.	32
Figura 4.1 – Fluxograma original do jogo EBPB.	34
Figura 4.2 – Esquema operacional da arquitetura MVC (Modelview-controller).	35
Figura 4.3 – Menu de administração do jogo.	35
Figura 4.4 – Interface para o cadastramento de questões.	36
Figura 4.5 – Menu da biblioteca.	37
Figura 4.6 – (A) Congratulação pela passagem para o grau de Doutorado; (B) Consolando pelo infortúnio.	38
Figura 4.7 – Antes de ver o enunciado da questão, o jogador sabe qual o tema abordado, por meio de uma tela como esta.	39
Figura 4.8 – Quando o jogador erra, ele sabe a razão do erro e é encaminhado para o ponto da biblioteca onde encontra o hipertexto que trata o assunto da questão.	39
Figura 4.9 – Página de abertura do jogo EBPB sobre eletricidade, versão 1.0.	40

Figura 4.10 – (a) Tela para conexão; (b) Painel administrativo; (c) Informações sobre turma cadastrada.	41
Figura 4.11 – Página de entrada no ambiente de aprendizagem.	42
Figura 4.12 – Página de entrada na biblioteca.	42
Figura 4.13 – Mapa conceitual geral sobre eletricidade.	42
Figura 4.14 – Painel de minibiografias.	43
Figura 4.15 – Minibiografia de Michael Faraday.	43
Figura 4.16 – Carta da questão 3 da graduação.	44
Figura 4.17 – Disposição das cartas na mesa. Abaixo das cartas de perguntas são colocadas as cartas com as respostas.	44
Figura 4.18 – Sumário do texto ausubeliano “Eletrostática e Eletrodinâmica.	45
Figura 4.19 – Planilha Excel com os resultados obtidos com o TANC.	52
Figura 4.20 – Dados de entrada e parâmetros operacionais do ALSCAL/INDS-CAL.	53
Figura 4.21 – (a) Mapa conceitual da turma; (b) Mapa dos pesos individuais.	54
Figura 5.1 – Recortes das tabelas 5.1 (TCA1), 5.2 (TCA2) e 5.3 (TCA3), referentes às respostas da questão 5 do TCA respondido pela turma TST	64
Figura 5.2 – Recortes das tabelas 5.4 (TCA1), 5.5 (TCA2) e 5.6 (TCA3), referentes às respostas da questão 5 do TCA aplicado na turma NEMP.	67
Figura 5.3 - Questão 6 do TCA.	69
Figura 5.4 - Questão 7 do TCA.	69
Figura 5.5 - Questão 8 do TCA.	70
Figura 5.6 - Questão 9 do pré-teste.	70
Figura 5.7 - Questão 10 do pré-teste.	71
Figura 5.8 – Mapa conceitual da turma TST. Primeira aplicação do TANC.	74
Figura 5.9 – Pesos individuais da turma TST. Primeira aplicação do TANC.	75
Figura 5.10 – Mapa conceitual da turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.	76

Figura 5.11 – Pesos individuais da turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.	76
Figura 5.12 – Mapa do Aluno6, turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.	77
Figura 5.13 – Mapas dos Alunos 16 (a) e 18 (b), turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.	78
Figura 5.14 – Mapas dos Alunos 4 (a) e 14 (b), turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.	78
Figura 5.15 – Mapa conceitual da turma NEMP. Primeira aplicação do TANC.	79
Figura 5.16 – Mapa conceitual da turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.	79
Figura 5.17 – Pesos individuais da turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.	80
Figura 5.18 – Mapas dos Alunos 6 (a) e 14 (b), turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.	81
Figura 5.19 – Mapas dos Alunos 3 (a) e 11 (b), turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.	82

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Tabela 5.1 - Resultado da primeira aplicação do TCA na turma TST.	59
Tabela 5.2- Resultado da segunda aplicação do TCA na turma TST.	60
Tabela 5.3 - Resultado da terceira aplicação do TCA na turma TST.	60
Quadro 5.1 – Enunciado da questão 4 do TCA (Alternativa correta:c).	61
Tabela 5.4 - Resultado da primeira aplicação do TCA na turma NEMP.	65
Tabela 5.5- Resultado da segunda aplicação do TCA na turma NEMP.	66
Tabela 5.6 - Resultado da terceira aplicação do TCA na turma NEMP.	66
Tabela 5.7 – Resultado da primeira aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	68
Tabela 5.8 – Resultado da segunda aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	68
Tabela 5.9 – Resultado da terceira aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	68
Tabela 5.10 – Resultado da primeira aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	72
Tabela 5.11 – Resultado da segunda aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	72
Tabela 5.12 – Resultado da terceira aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).	72
Tabela 5.13 – Reação à versão digital do jogo EBPB. Turma TST.	83
Tabela 5.14 – Reação à versão cartas do jogo EBPB. Turma NEMP.	83

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 – OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS	5
2.1 – Justificativas para o uso do jogo EBPN	5
2.2 – Justificativas para a abordagem ausubeliana	6
2.3 – Justificativas para o uso do TCA e de TANC	6
2.4 – Justificativas para o uso do questionário de satisfação	7
CAPÍTULO 3 – REFERENCIAIS TEÓRICOS	8
3.1 – Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	8
3.1.1 – Subsunçores	12
3.1.2 – Organizadores prévios	13
3.1.3 – A relação entre teorias de aprendizagem	17
3.2 – Uso de jogos no ensino de física	20
3.3 – Testes de acesso à estrutura cognitiva	21
3.3.1 – Teste de concepções alternativas (TCA)	22
3.3.2 – Teste de associação numérica de conceitos (TANC)	23
3.4 – Algoritmos para análise do TANC	25
CAPÍTULO 4 – MATERIAIS E MÉTODOS	33
4.1 – Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel” (EBPN) – versão digital	33
4.1.1 – Versão beta	33
4.1.1.1 – Interface do administrador	35
4.1.1.2 – Interface de aprendizagem	36
4.1.1.3 – Interface do jogador	37
4.1.2 – Versão 1.0	40
4.1.2.1 Mapas conceituais	41
4.1.2.2 Minibiografias	41
4.2 – Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel” (EBPN) – versão cartas	43
4.3 – Material didático: texto ausubeliano	45
4.4 – Teste de Concepções Alternativas (TCA)	48
4.5 – Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC)	51
4.6 – Programa do SPSS para análise do TANC	52
4.7 – Aplicação do produto educacional	54

CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
5.1 – Teste de Concepções Alternativas – TCA	59
5.1.1 – Eletrostática	59
5.1.1.1 – 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)	59
5.1.1.2 – 3ª Série NEMP (Novo Ensino Médio Potiguar)	64
5.1.2 – Circuitos elétricos	67
5.1.2.1 – 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)	67
5.1.2.2 – 3ª Série NEMP (Novo Ensino Médio Potiguar)	71
5.2 – Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC)	73
5.2.1 – 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)	73
5.2.2 – 3ª Série NEMP (Novo Ensino Médio Potiguar)	78
5.3 – Questionário de reação ao jogo	82
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS	84
REFERÊNCIAS	89
APÊNDICE – Produto educacional: Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel”, nas versões digital e cartas	95
ANEXO I – Artigo: Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta (Carlos Alberto dos Santos, Eliabe Maxsuel de Aquino)	204
ANEXO II – Artigo: Em busca do prêmio Nobel: um jogo digital multiplataforma e multitemático (Eliabe Maxsuel de Aquino, Farnésio Vieira da Silva Diniz, Geovani Ferreira Barbosa, Carlos Alberto dos Santos)	210

1 INTRODUÇÃO

Na presente dissertação relata-se o uso do produto educacional *Jogo Em Busca do Prêmio Nobel, nas Versões Digital e Cartas*. A intervenção didática foi feita em duas turmas da 3º série do ensino médio, na Escola Estadual Teônia Amaral, localizada na cidade de Florânia, Rio Grande do Norte. Uma turma do Novo Ensino Médio Potiguar (NEMP), e uma turma do Técnico em Segurança do Trabalho (TST).

Os objetivos e as justificativas para o planejamento e a execução da presente intervenção didática são apresentados no capítulo 2, enquanto os referenciais teóricos são apresentados no capítulo 3. Como será detalhado na seção 3.2, a ideia de se usar jogos educacionais é muito antiga, bem antes da existência desses recursos tecnológicos modernos. O primeiro documento registrado na base de dados do Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>) com a expressão de busca “educational game”, é uma patente de 1858, desse jogo hoje tradicional de blocos com números e letras do alfabeto. Na sequência, essa mesma base de dados registra inúmeras patentes com jogos similares ou aperfeiçoamentos do jogo pioneiro. No modo como hoje vemos os jogos educacionais, os primeiros artigos e livros sobre o assunto foram publicados depois de 1900. Portanto, embora muito antiga, a utilização de jogos no ensino de ciências ainda se encontra em sua infância quando alguns aspectos são considerados. Veremos, na seção 3.2, que são poucos os estudos sobre ensino baseado em jogos (EBJ), nos quais são claramente relatados aspectos referentes a processos científicos, afeto, engajamento e contexto social da aprendizagem. Mesmo que esses aspectos não estejam claramente definidos em boa parte da literatura, há consenso em que o EBJ tem forte correlação com teorias de aprendizagem cognitivistas e construtivistas, bem como com a teoria sócio-cultural de Vygotsky. É nesse ponto, como veremos mais adiante, que inserimos o presente produto educacional.

O jogo *Em Busca do Prêmio Nobel* (EBPN) tem uma estrutura modular que denominamos multitemática. Ou seja, ele pode ser usado para o ensino de diversos assuntos, desde que os módulos sejam preenchidos com os respectivos conteúdos. Ele já foi usado para o ensino de atomística, de ondulatória e de eletricidade, o objeto da presente dissertação. Inicialmente o jogo projetado para ser usado digitalmente, mas logo percebemos que ele pode ser facilmente adaptado para versões com cartas e tabuleiro. Versões para cartas e tabuleiro estão sendo usadas em outras dissertações, todas para o ensino de eletricidade. A ideia é examinar os resultados do uso do EBPN com diferentes conteúdos e

diferentes contextos educacionais. Na presente dissertação testamos o jogo nas versões digital e de cartas.

O EBPN, como produto educacional, pode ser usado em sequências didáticas baseadas em praticamente qualquer referencial teórico, mas optamos por usá-lo com elementos da teoria de Ausubel, de acordo com descrição na seção 3.1. Conforme apresentação detalhada na seção 4.2, desenvolvemos, em colaborações com os dois orientadores da dissertação, um texto sobre eletrostática e eletrodinâmica que leva em conta elementos da teoria de Ausubel, sobretudo a importância dos organizadores prévios.

Conforme detalhamentos apresentados no capítulo 4, os resultados obtidos com a aplicação do produto foram examinados com o uso de um teste de concepções alternativas (TCA), de um teste de associação numérica de conceitos (TANC) e de um questionário de reação ao jogo. O nível de conhecimento convencional é avaliado pelo desempenho no próprio jogo. O TANC foi analisado com um algoritmo de escalonamento multidimensional integrado ao pacote de estatística *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS).

O TCA foi usado porque, conforme consta na seção 3.3.1, já é de amplo conhecimento que a teoria de Ausubel deixa duas questões em aberto: como ter acesso à estrutura cognitiva e como organizar o conteúdo de modo a propiciar uma aprendizagem significativa, tendo em conta a topologia típica da estrutura cognitiva do público-alvo. Tais questões foram objeto de inúmeros estudos nos anos 1970, e desembocaram em duas instigantes linhas de pesquisa: modelos mentais [17–20] e concepções alternativas, cujos trabalhos pioneiros estão descritos em duas teses de doutorado. A primeira defendida por Rosalind Driver em 1974, e a segunda defendida por Laurence Viennot em 1977. O tema do qual estamos tratando é geralmente designado na literatura em inglês pela palavra *misconception*, e eventualmente pela palavra *preconception*. John Clement, também discute a validade do uso da expressão *alternative conceptions*. Os francófonos usualmente preferem essa última designação, que em seu idioma é *conceptions spontanées*. No Brasil e em Portugal costuma-se usar indistintamente concepções espontâneas e concepções alternativas, sendo esta última a expressão que preferimos.

Qualquer que seja a expressão utilizada, o que se pretende investigar é até que ponto a estrutura conceitual apropriada por um indivíduo como resultado de sua vivência escolar e de suas observações cotidianas corresponde àquela aceita pela comunidade

científica. Ou, dito de outro modo, que modelo mental corresponde à organização conceitual presente na estrutura cognitiva de um indivíduo? Quando há conflito entre essas estruturas e as concepções científicas, diz-se que o indivíduo apresenta concepções alternativas. Investigamos, no presente estudo concepções alternativas sobre eletrostática e circuitos elétricos simples.

O TANC cujo detalhamento é apresentado na seção 3.3.2, e que tem como fundamento teórico a ideia de estrutura cognitiva, foi criado nos anos 1960 para aplicações em ciências sociais e aplicado a estudos de estrutura cognitiva nos anos 1970. Os resultados obtidos com o TANC começaram a ser analisados por uma sofisticada técnica computacional já nos anos 1960. Essa técnica, que em inglês é denominada *Multidimensional Scaling* (MDS), foi traduzida no Brasil como Escalonamento Multidimensional, cuja sigla poderia ser EMD, mas preferimos manter a sigla em inglês, MDS. Os algoritmos, assim como os programas de MDS são apresentados no Capítulo 4.

Os resultados obtidos são apresentados e discutidos no capítulo 5, e podem ser assim sumarizados. Com relação ao TCA, os resultados mostram que nas duas primeiras aplicações do teste (antes do início da intervenção didática e no início do segundo semestre), os alunos da TST saíram-se melhores do que os da NEMP, mas na terceira aplicação (depois da intervenção didática) foi o contrário. Acreditamos haver duas explicações para essa inflexão: uma explicação pode ser devido ao comportamento da turma NEMP; a outra explicação pode ser devido à metodologia. Os alunos da NEMP eram claramente mais dedicados do que a turma TST. Esses alunos NEMP leram a apostila mais de uma vez, fora da sala de aula. Pode ser que ao longo das aplicações eles internalizaram os conceitos mais significativamente do que os alunos TST. Quanto à metodologia, a turma TST usou o jogo na versão digital, enquanto a turma NEMP usou na versão cartas. E sempre durante o jogo eles consultavam a apostila. Pode ser que o jogo na versão cartas seja mais eficiente do que na versão digital. Essas questões poderão nortear estudos futuros em experimentos bem controlados, uma vez que nesta dissertação a ideia era fazer um estudo exploratório, sem controle experimental rígido.

Os resultados obtidos com o TANC corroboram aqueles obtidos com o TCA. A frase escrita acima “Pode ser que ao longo das aplicações eles [turma NEMP] internalizaram os conceitos mais significativamente do que os alunos TST”. De fato, ao final ao final da intervenção didática, o mapa geral da turma NEMP sugere uma organização

conceitual, que distingue bem conceitos de eletrostática e de eletrodinâmica, ao passo que o mapa da turma TST mistura esses dois tipos de conceitos.

Finalmente, o questionário de reação ao jogo mostrou que as turmas TST consideraram satisfatório o jogo (versão digital para a turma TST, e versão cartas para a turma NEMP). No entanto, dois aspectos diferenciam as turmas. Na questão quanto ao atingimento dos objetivos do jogo, a turma TST considerou insatisfatório. Para a turma NEMP o jogo foi satisfatório em todos os quesitos. Quanto ao desejo de desistir do jogo (um aspecto negativo na avaliação), 6/16 alunos da turma TST responderam afirmativamente, enquanto apenas 4/21 alunos da turma NEMP fizeram o mesmo. Quando ao desejo de jogar novamente (um aspecto positivo na avaliação), 11/16 alunos TST responderam afirmativamente, contra 17/21 alunos NEMP. Ou seja, a turma NEMP foi levemente mais favorável ao jogo do que a turma TST. Mas, não sabemos se isso é devido unicamente ao formato (digital / cartas) do jogo.

Finalmente, as conclusões e comentários finais são apresentados no capítulo 6. Constam ainda, os seguintes apêndices e anexos:

Apêndice: Produto educacional: Abordagem Ausubeliana para o Ensino de Eletricidade, usando o Jogo Em Busca do Prêmio Nobel, nas versões digital e cartas.

Dois artigos publicados pelo autor, em colaboração com os orientadores e um colega de mestrado são apresentados como anexos:

Anexo I: Artigo “Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta.

Anexo II: Artigo “Em busca do prêmio Nobel: um jogo digital multiplataforma e multitemático”.

2 OBJETIVOS E JUSTIFICATIVAS

A presente dissertação tem como objetivo geral, relatar o uso do produto educacional *Abordagem Ausubeliana para o Ensino de Eletricidade, usando o Jogo Em Busca do Prêmio Nobel, nas Versões Digital e Cartas*, em duas turmas do 3º ano do ensino médio, na Escola Estadual Teônia Amaral, localizada na cidade de Florânia, Rio Grande do Norte.

Para o cumprimento desse objetivo geral vários objetivos específicos foram definidos:

1. Planejar e executar uma sequência didática (SD) com base em um texto ausubeliano elaborado pelo autor, em colaboração com os professores Carlos Alberto dos Santos e Geovani Ferreira Barbosa, respectivamente orientador e co-orientador da dissertação.
2. Elaborar e usar um teste de concepções alternativas (TCA) para avaliar a estrutura cognitiva dos alunos antes e depois da aplicação da SD.
3. Elaborar e usar um teste de associação numérica de conceitos (TANC), como alternativa ao TCA para avaliação da estrutura cognitiva dos alunos antes e depois da SD.
4. Elaborar e usar um questionário de satisfação para validar o jogo.

2.1 Justificativas para o uso do jogo EBP

As justificativas para o uso de jogos educacionais serão apresentadas na seção 3.2. Apresentarei aqui as justificativas para o uso do jogo EBP, cujo algoritmo foi elaborado, há muitos anos, pelo meu orientador, e cujo código foi desenvolvido por mim em 2017 (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018). Como será descrito na seção 4.1, o EBP é um jogo multiplataforma e multitemático. Ou seja, a partir da estrutura do seu algoritmo, ele pode ser usado com qualquer tema. Sua primeira aplicação foi na dissertação de Farnésio Vieira da Silva Diniz, para o ensino de atomística em uma escola de Fortaleza (DINIZ, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019). A boa receptividade do jogo, por parte dos alunos, e de professores que o conheceram foi a principal motivação e justificativa para utilização do jogo no ensino de eletricidade e, também, para a implementação de melhorias no seu algoritmo, como será descrito na seção 4.1.

2.2 Justificativas para a abordagem ausubeliana

Ao longo da disciplina *Fundamentos Teóricos em Ensino e Aprendizagem* (DOS SANTOS, C. A., 2024), tivemos oportunidade de comparar propostas pedagógicas de cinco pensadores da educação: Ausubel, Bruner, Paulo Freire, Piaget e Vygotsky. Ficou evidente a importância da teoria da aprendizagem significativa (TAS) de Ausubel, sentimento compartilhado por inúmeros mestrandos nos diversos polos do MNPEF. Com uma avaliação da literatura a respeito do uso da TAS em diversas áreas da física chegamos à conclusão que vários elementos da TAS deixaram de ser usados muitas dessas dissertações. Por exemplo, o uso dos organizadores prévios ainda não foi explorado no mesmo nível em que é explorado na literatura internacional (AUSUBEL, 1960; BARNES, B. R.; CLAWSON, E. U., 1975; SHIHUSA; KERARO, 2009). Também falta na literatura trabalhos que explorem o uso de textos ausubelianos, nos quais são explorados não apenas a inserção de OP, como também uma estrutura didática que contemple a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, elementos fundamentais da TAS.

2.3 Justificativas para o uso do TCA e do TANC

Em uma intervenção didática, cujo princípio básico tem a ver com a estrutura cognitiva, não poderiam faltar testes de acesso a essa parte do intelecto humano. Como descrito na seção 4.3, é extensa a literatura sobre concepções alternativas (CA) em várias do conhecimento, sobretudo nas ciências da natureza. Para ter ideia da existência dessas CA, ou dito de outro modo, para ter acesso à estrutura cognitiva vários testes têm sido propostos, dos quais extraímos algumas questões para montar aquele que foi usado em nosso estudo. Decidimos usar esses testes, que denominamos de Teste de Concepções Alternativas (TCA) porque já foram largamente validados por estudos disponíveis na literatura internacional. Os resultados obtidos com os TCA são analisados tendo em conta modelos mentais associados a determinadas CA.

Outro teste de acesso à estrutura cognitiva, usado desde os anos 1960, é o Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC), detalhadamente descrito na seção 4.4. Esse teste também tem sido validado com inúmeros trabalhos disponíveis na literatura. Sua análise reque o uso de sofisticadas ferramentas computacionais, denominadas análise de escalonamento multidimensional, descritas na seção 4.5.

2.4 Justificativas para o uso do questionário de satisfação

Uma forma de validar um jogo, ou um treinamento qualquer, é o chamado método de Kirkpatrick (2006), no qual constam sugestões de questionários de satisfação. Para validar o jogo, tanto na versão digital, como na versão de cartas, usamos um questionário com uma escala Likert de cinco pontos, bastante recorrente na literatura.

3 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Neste capítulo serão apresentados os fundamentos teóricos referentes à pedagogia adotada para aplicação do produto educacional, ao uso de jogos digitais no ensino de física, aos testes de acesso à estrutura cognitiva, e aos algoritmos para análise do teste de associação numérica de conceitos.

3.1 Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel

A Teoria da Aprendizagem Significativa foi inicialmente desenvolvida pelo psicólogo e médico David Paul Ausubel (AUSUBEL, 1962a, 1963b, 1969a), tendo posteriormente recebido contribuições de Joseph Novak (NOVAK, J. D., 1992) e Marco Antonio Moreira (MOREIRA, 1979).

Ausubel (1969) destaca que a aprendizagem significativa é crucial no processo educacional, pois é o principal método humano para adquirir e guardar a enorme quantidade de ideias e informações presentes em qualquer área de conhecimento.

O ponto central da Teoria de Ausubel é a aprendizagem com significados em substituição ao que Ausubel chama de aprendizagem mecânica. A aprendizagem mecânica é aquela que não faz uso das informações presentes na estrutura cognitiva do aprendiz, tal como a memorização de um determinado conteúdo.

A aprendizagem verbal significativa ocorre quando a nova informação se conecta de maneira substancial e não arbitrária à estrutura cognitiva já existente do aluno. Isso significa dizer que só irá existir a aprendizagem significativa quando houver a agregação de uma nova informação à estrutura cognitiva, gerando assim uma relação compreensível e duradoura. Conforme Moreira (1979), “aprendizagem significativa é um processo através do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo”.

O conhecimento adquirido de forma significativa é devido à relação dos conceitos em estudo, com os conceitos presentes na estrutura cognitiva do indivíduo, e, portanto, pode ser duradouro. Já os materiais aprendidos rotineiramente, são isolados da estrutura cognitiva e estão mais expostos ao esquecimento, tendo um tempo de retenção muito menor.

De acordo com Ausubel (1962),

existem razões plausíveis para acreditar que os materiais aprendidos de forma rotineira e significativa são organizados de forma muito diferente na consciência

e, portanto, estão em conformidade com princípios bastante diferentes de aprendizado e esquecimento.

A facilitação do aprendizado e a retenção são efeitos diretos da subsunção (conceito que será discutido no próximo subtópico), mas, para isso se faz necessário ter uma estrutura cognitiva organizada hierarquicamente. No topo dessa hierarquia estão os conceitos mais genéricos e, abaixo, os mais específicos. Essa disposição hierárquica ajuda ao aprendiz a relacionar os novos conceitos aos que já estão presentes na sua estrutura cognitiva. A aprendizagem é facilitada quando as informações são organizadas em termos de conceitos já existentes na estrutura cognitiva do aluno. Sendo assim, a assimilação e retenção de informações se dará de uma forma mais eficiente.

De acordo com a teoria ausubeliana, é mais fácil lembrar de um conceito inclusivo do que uma grande quantidade de conceitos específicos, então à medida em que se vai adquirindo novos conceitos a relevância deles se dará pelo nível de associação aos pré-existentes. Se um conceito for incorporado a um que já estava presente na estrutura cognitiva, “os itens específicos tornam-se progressivamente menos dissociáveis como entidades em seu próprio direito, até que não estejam mais disponíveis e sejam considerados esquecidos” (AUSUBEL, 1962).

Para promover a aprendizagem significativa é importante estabelecer conexões significativas entre os novos conceitos e a estrutura cognitiva dos alunos. Isso envolve a ancoragem dos novos materiais em conceitos relevantes já assimilados pelos alunos, promovendo uma compreensão mais profunda e duradoura.

É essencial na aprendizagem escolar a incorporação de novos conceitos e informações em uma estrutura cognitiva preexistente. Porém, nos modelos tradicionais a ênfase é a transferência de experiências anteriores, influenciadas pelo conhecimento cumulativo e hierarquicamente organizado do aluno sobre o aprendizado atual. De acordo com Ausubel (1963a):

os aspectos relevantes da experiência passada neste tipo de paradigma de transferência são as propriedades organizacionais do conhecimento do assunto do aluno como clareza, estabilidade, generalização, inclusão, coesão e discriminabilidade (isto é, variáveis de estrutura cognitiva) - não o grau de similaridade entre estímulos e respostas nas duas tarefas de aprendizagem; e a experiência prévia recente não é considerada como influenciando o aprendizado atual, interagindo diretamente com os componentes de estímulo-resposta da nova tarefa de aprendizado, mas apenas na medida em que modifica significativamente relevantes atributos da estrutura cognitiva.

Ausubel (1963) prossegue dizendo que, em sua opinião:

os avanços mais significativos que ocorreram nos últimos anos no ensino de disciplinas como matemática, química, física e biologia foram baseados na suposição de que o aprendizado eficiente e a retenção funcional de ideias e informações dependem amplamente da adequação da estrutura cognitiva, ou seja, sobre a adequação da organização existente de um indivíduo, estabilidade e clareza de conhecimento em um determinado campo de assunto.

Em seus artigos, Ausubel discute de forma intensa os processos cognitivos envolvidos na assimilação, retenção e utilização de novos conhecimentos, assim como a importância de conectar os novos conhecimentos aos conhecimentos prévios dos alunos para promover a aprendizagem significativa. Ele destaca que para que isso ocorra, algumas condições são necessárias.

Deve haver uma predisposição do aprendiz para “relacionar o novo material de forma não arbitrária e substantiva com sua estrutura cognitiva”. Se o aluno apenas fizer a memorização de forma arbitrária, segundo Ausubel(1969b), “tanto o processo de aprendizagem quanto o resultado da aprendizagem devem ser mecânicos ou sem sentido”.

Ausubel (1968) aponta algumas razões para que os alunos desenvolvam uma aprendizagem mecânica:

aprendem com a triste experiência que respostas substancialmente corretas, sem correspondência literal com o que aprenderam, não recebem nenhum crédito de certos professores. Outra razão é que, devido a um nível geralmente alto de ansiedade, ou devido à experiência crônica de fracasso em uma determinada matéria (reflexo, por sua vez, de baixa aptidão ou ensino deficiente), eles não confiam em sua capacidade de aprender de forma significativa[...].

Apesar da complexidade em saber se uma atividade de aprendizagem é potencialmente significativa, há dois fatores principais que podem estabelecer essa relação: a natureza do material a ser aprendido e a natureza da estrutura cognitiva do aluno. Com relação à primeira, Ausubel (1968) diz que:

ele deve evidentemente ser suficientemente não arbitrário ou não aleatório para que possa ser relacionado de forma não arbitrária e substantiva a ideias correspondentemente relevantes que estão dentro do domínio da capacidade de aprendizagem humana (ou seja, para ideias correspondentemente relevantes que pelo menos alguns seres humanos são capazes de aprender se tiverem a oportunidade de fazê-lo).

O que determinará se uma tarefa é ou não potencialmente significativa é a significância lógica, como afirma Ausubel (1968):

Essa propriedade da tarefa de aprendizagem em si que determina se ela é ou não potencialmente significativa é chamada de significância

lógica; raramente, ou nunca, é suficientemente ausente em tarefas de aprendizagem escolar para impedir significância potencial, já que o conteúdo do assunto, quase por definição, é logicamente significativo. Esse não é o caso, no entanto, com relação a muitas tarefas de aprendizagem cotidianas e de laboratório (por exemplo, números de telefone, adjetivos pareados, frases embaralhadas, listas de sílabas sem sentido) que são relacionáveis à estrutura cognitiva de qualquer pessoa apenas em uma base arbitrária e literal.

O outro fator, a natureza da estrutura cognitiva do aluno, é algo intrínseco a ele e não é uma função do material de aprendizagem. Para Ausubel (1968), não é o bastante que o material de aprendizagem seja significativo, “também é necessário que tal conteúdo ideacional relevante esteja disponível na estrutura cognitiva do aprendiz”. Algumas variáveis, além do histórico escolar anterior, como “a idade, ocupação classe social e associação cultural” são determinantes para o significado potencial do material de aprendizagem.

Ausubel (1968) destaca dois critérios para que o material de aprendizagem seja logicamente significativo: a relacionabilidade não arbitrária e a relacionabilidade substantiva. Na relacionabilidade não arbitrária a nova informação é relacionada com os conceitos preexistentes na estrutura cognitiva de forma não arbitrária e lógica.

[...] se o próprio material exhibe suficiente não-arbitrariedade (ou não-aleatoriedade), existe uma base adequada e quase autoevidente para relacioná-lo de maneira não arbitrária com os tipos de ideias correspondentemente relevantes que o ser humano seres são capazes de aprender.

No outro critério elencado por Ausubel (1968), a relacionabilidade substantiva, as novas informações são incorporadas de forma significativa e substancial ao conhecimento presente na estrutura cognitiva do aprendiz. Ausubel afirma que a relacionabilidade substantiva,

implica que, se o material de aprendizagem for suficientemente não arbitrário, um símbolo idealmente equivalente ou um grupo de símbolos pode ser relacionado à estrutura cognitiva sem qualquer mudança resultante no significado.

Para Ausubel, a estrutura cognitiva exerce um papel fundamental na aprendizagem significativa, pois se a estrutura cognitiva é clara, estável e adequadamente organizada, significados precisos e inequívocos emergem e tendem a reter sua força de dissociabilidade ou disponibilidade. Por outro lado, se a estrutura cognitiva for instável, ambígua, desorganizada ou caoticamente organizada, ela tende a inibir a aprendizagem significativa e a retenção.

Se a estrutura cognitiva é clara, estável e adequadamente organizada, significados precisos e inequívocos emergem e tendem a reter sua força de dissociabilidade ou disponibilidade. Se, por outro lado, a estrutura cognitiva for instável, ambígua, desorganizada ou caoticamente organizada, ela tende a inibir a aprendizagem significativa e a retenção. Assim, é em grande parte fortalecendo os aspectos relevantes da estrutura cognitiva que a nova aprendizagem e a retenção podem ser facilitadas.

3.1.1 Subsunoçores

Um fator relevante na aprendizagem e no esquecimento é o processo de subsunção, que decorre quando uma nova informação se liga a conceitos relevantes na estrutura cognitiva. Para Ausubel (1962),

à medida que o novo material entra no campo cognitivo, ele interage com um sistema conceitual relevante e mais inclusivo e é adequadamente subsumido a ele. O próprio fato de ser subsumível (relacionável a elementos estáveis na estrutura cognitiva) é responsável por sua significância e possibilita a percepção de relações perspicazes. Se não fosse subsumível, constituiria material rotineiro e formaria traços discretos e isolados.

Um subsunçor é um conceito prévio que o indivíduo possui em sua estrutura cognitiva, que servirá como âncora para as novas informações. Eles ajudam na assimilação de novos conhecimentos, possibilitando que esses novos conhecimentos sejam incorporados de forma significativa aos conceitos já existentes.

De acordo com Moreira (2006), o "subsunçor" é:

Um conceito, uma ideia, uma proposição já existentes na estrutura cognitiva, capaz de servir de "ancoradouro" a uma nova informação de modo que esta adquira, assim, significado para o indivíduo (isto é, que ele tenha condições de atribuir significados a essa informação).

A incorporação e a longevidade de um novo material significativo (Ausubel, 1962), é determinada pela “disponibilidade na estrutura cognitiva de conceitos subsunoçores relevantes em um nível de inclusão adequadamente próximo para proporcionar uma ancoragem ideal”, ou seja,

a aprendizagem significativa e a retenção ocorrem mais prontamente e eficientemente se, em virtude da aprendizagem anterior, ideias gerais e inclusivas já estiverem disponíveis na estrutura cognitiva para desempenhar um papel de subsunção.

Um fator importante que influencia o aprendizado verbal significativo é o grau de discriminação dos conceitos estabelecidos pelos subsunoçores (Ausubel, 1962). Se os conceitos pré-existentes na estrutura cognitiva ou fornecidos pelos organizadores prévios não forem bem definidos, podem ter efeito contrário ao desejado se forem ambíguos e

instáveis, pois “não só fornecem uma ancoragem fraca para novos materiais relacionados, mas também não podem ser facilmente discriminados deles”. Ainda de acordo com o autor, “a longevidade de novos materiais significativos na memória demonstrou ser uma função da estabilidade e da clareza de seus subsunçores”.

Ausubel (1970), elenca alguns fatores que ocorrem quando os subsunçores são definidos dentro da estrutura cognitiva do aprendiz:

(1) têm relevância máxima específica e direta para tarefas de aprendizagem subsequentes; (2) possuem poder explicativo suficiente para tornar potencialmente detalhes factuais arbitrários e significativo (ou seja, relacionado à estrutura cognitiva em uma base não arbitrária); (3) possuem estabilidade inerente suficiente para fornecer o tipo mais firme de ancoragem para o material de aprendizagem detalhado e; (4) organizam novos fatos relacionados em torno de um tema comum, integrando, assim, os elementos componentes do novo conhecimento entre si e com o conhecimento existente.

Ele considerava as concepções que o aprendiz já possuía tão importante para obtenção de uma aprendizagem significativa que, para ele, se tivesse de resumir toda a psicologia educacional a um único princípio, este seria aquilo que o aprendiz já conhece: “descubra o que ele sabe e baseie isso nos seus ensinamentos”. Conhecendo o que os alunos já sabem através de pré-tteste, caso seja necessário, será possível adaptar os organizadores para gerar os subsunçores adequados para o novo material.

Para Santos (2024), “os organizadores prévios são elaborados tendo-se em conta o conhecimento dessas concepções e a definição, por parte dos professores, dos subsunçores importantes para o tema a ser abordado.”

3.1.2 Organizadores prévios

Para um planejamento eficiente dos conteúdos, independentemente do assunto a ser estudado, Ausubel (1963) propôs dois princípios: o da diferenciação progressiva e o da reconciliação integrativa.

No princípio da diferenciação progressiva os conceitos são elaborados e desenvolvidos de forma gradual. À medida que os alunos obtêm conhecimento, receberão informações cada vez mais complexas sobre um determinado conceito. Dessa forma, os alunos terão uma compreensão mais profunda e completa de um determinado tema. De acordo Ausubel (1963),

novas ideias e informações podem ser aprendidas e retidas com eficiência apenas na medida em que conceitos mais inclusivos e apropriadamente relevantes já estiverem disponíveis na estrutura cognitiva para servir a um papel de subsunção ou para fornecer ancoragem ideacional.

Na prática, os livros didáticos não seguem esse princípio em sua organização. É “mais comum separar materiais topicamente homogêneos em capítulos separados e apresentá-los em um nível uniforme de conceituação de acordo com um esquema lógico de organização do assunto” (Ausubel, 1963). Essa disposição dos conteúdos é contrária ao que deve ocorrer na aprendizagem significativa, onde a organização hierárquica da estrutura cognitiva acontece de forma progressiva.

A forma como os livros didáticos estruturam os conteúdos podem gerar uma confusão cognitiva e proporcionar a aprendizagem mecânica. Segundo Ausubel (1963), “algumas das consequências indesejáveis dessa abordagem são que vários termos são usados para representar conceitos que são intrinsecamente equivalentes, exceto para referência contextual”.

No princípio da reconciliação integrativa a ideia é oposta ao que ocorre na prática, pois visa resolver as inconsistências nos termos para que haja integração entre o conhecimento prévio e os novos conceitos. A reconciliação integrativa ocorrerá quando o aluno for capaz de fazer a conexão entre as novas informações e as preexistentes na sua estrutura cognitiva.

É necessária uma estratégia didática para que os princípios de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa sejam de fato concretizados. Para isso, Ausubel (1963), propõe os organizadores prévios:

Esses organizadores são apresentados antes do próprio material de aprendizagem; são formulados em termos que já é familiar ~~são familiares~~ ao aluno, e também são apresentados em um nível mais alto de abstração, generalidade e abrangência; e, uma vez que o conteúdo substantivo de um determinado organizador ou série de organizadores é selecionado com base em sua adequação para explicar, integrar e inter-relacionar o material que eles precedem[...].

[...] à organização sequencial do assunto, combinada com o uso de organizadores prévios ~~avançados~~ apropriados, pode ser muito eficaz no aprendizado em sala de aula porque cada novo incremento de conhecimento serve como um ponto de ancoragem para o aprendizado subsequente.

Para Novak (1980), “os organizadores prévios são uma espécie de ponte cognitiva; eles servem para vincular algum conceito ou proposição relevante na estrutura cognitiva do aluno aos novos conceitos ou proposições que queremos ensinar.”

Os organizadores atuam como uma estrutura prévia que introduz e organiza conceitos importantes, estabelecendo conexões significativas com o conhecimento prévio dos alunos. Ao fornecer uma estrutura clara e organizada, os organizadores ajudam aos alunos a se orientarem nas novas informações e a assimilarem as informações de forma mais significativa, por isso é importante projetar os organizadores prévios ~~avançados~~ de acordo com as necessidades e características específicas dos alunos e do conteúdo proposto.

É fundamental que o material de aprendizagem seja o mais claro e estável possível, pois são maiores as chances de serem significativos, aumentando a capacidade de retenção e recuperação das informações ancoradas na estrutura cognitiva. De acordo com Ausubel, Stager e Gaite (1968):

[...] a maior clareza e estabilidade do material original resultante do ensaio pode aumentar indiretamente a sua recuperação posterior, aumentando a sua discriminabilidade em relação aos sistemas ideacionais estabelecidos na estrutura cognitiva à qual está ancorado.

Os materiais aprendidos de forma significativa são, de modo geral, mais eficientes na retenção se comparado com a mecânica, pois interagem fazendo uma ancoragem com os conceitos que já estão na estrutura cognitiva. Já os materiais aprendidos de forma mecânica, são isolados da estrutura cognitiva. Portanto,

À medida que um novo material significativo entra no campo cognitivo, ele interage com um sistema conceitual relevante e mais inclusivo e é adequadamente incluído nele. Esse processo inicial de ancoragem facilita a retenção (Ausubel, 1968).

Quando não houver subsunção presente na estrutura cognitiva, os organizadores servirão para gerar os subsunçores necessários para fortalecer e organizar a estrutura cognitiva, pois direcionam os alunos para as informações mais relevantes, proporcionando uma ancoragem ideal para a recepção desses novos materiais. Ausubel sugere que os organizadores avançados partam de uma visão geral para uma mais específica.

No caso do presente trabalho, os organizadores prévios foram feitos partindo sempre do conceito de carga elétrica como sendo o mais importante e fundamental para o

estudo da eletricidade. Antes de cada capítulo do material estudado, foi inserido um organizador prévio com o objetivo de gerar os subsunçores necessário para a compreensão significativa da eletrostática e da eletrodinâmica. O primeiro organizador prévio aborda o tema de eletricidade de forma geral para que os outros abordem o conteúdo específico de cada assunto, como Ausubel sugere em seus trabalhos.

Os organizadores prévios ativam quaisquer conceitos de subsunção que sejam relevantes e que estejam presentes na estrutura cognitiva do indivíduo incorporando-os à nova informação, contribuindo significativamente para a retenção e longevidade dos materiais estudados. Isso ocorre devido a dois fatores fundamentais:

(a) a mobilização seletiva dos conceitos existentes mais relevantes na estrutura cognitiva do aluno para uso integrativo como parte do foco de subsunção para a nova tarefa de aprendizagem, aumentando assim a familiaridade e o significado da tarefa; e (b) o fornecimento de uma ancoragem ideal para o material de aprendizagem na forma de conceitos relevantes e apropriados, agrupando-os num nível próximo de inclusão (Ausubel, 1960).

E mais:

as principais variáveis que influenciam a incorporação e a longevidade do material significativo são: (a) a disponibilidade na estrutura cognitiva de conceitos subsunçores relevantes em um nível adequado de inclusão; (b) a estabilidade e a clareza desses conceitos; e (c) sua discriminabilidade da tarefa de aprendizado (Ausubel, 1962).

Dessa forma, os organizadores prévios não apenas tornam o novo material mais acessível e compreensível, mas também estruturam o conhecimento prévio do aluno de maneira que facilite a integração e retenção da nova informação, promovendo um aprendizado mais eficaz e duradouro.

Ausubel e Fitzgerald (1962), em uma pesquisa com estudantes de graduação, exploraram os efeitos de um organizador prévio, do aprendizado antecedente e do conhecimento prévio geral no aprendizado e retenção de um novo material. Com os resultados eles concluíram que “o organizador, ao fornecer uma ancoragem ideacional relevante, melhorou o aprendizado do material para aqueles com menor habilidade verbal” e que foi eficaz para melhorar a retenção das passagens, especialmente para aqueles com habilidades verbais mais baixas.

Considerando o contexto em que os organizadores do presente trabalho foram elaborados e apresentados aos alunos, obtivemos um resultado parecido com o de Ausubel

e Fitzgerald (1962), pois os estudantes que fizeram uso do material contendo os organizadores prévios e os textos ausubeliano, possuíam baixas habilidades verbais, além de não terem os subsunçores necessários para uma aprendizagem significativa sobre eletricidade. Os organizadores tiveram uma função crucial para gerar a subsunção necessária para uma aprendizagem significativa.

3.1.3 A Relação entre as teorias de aprendizagem

O ensino e a aprendizagem são processos complexos, e diversas teorias têm contribuído para o entendimento e aprimoramento desses processos ao longo dos anos. As teorias de David Ausubel, Jerome Bruner, Paulo Freire, Jean Piaget e Lev Vygotsky podem ser abordadas e aplicadas de maneira prática ao ensino, fornecendo uma base sólida para o desenvolvimento de práticas pedagógicas mais eficazes. Em meio a tantas teorias qual seria a melhor ou mais eficaz para o ensino de física? É uma pergunta com uma resposta complexa, pois a aprendizagem é algo dinâmico, e são diferentes os contextos e as realidades. É provável que não haja uma teoria melhor ou mais eficaz que outra, o mais importante é como essas reflexões pedagógicas ~~pensamentos~~ serão aplicadas. E por que não aproveitar o melhor de cada uma delas e encontrar os pontos de intersecção a fim de potencializar o ensino e a aprendizagem? Nesse sentido, Santos (2024) afirma que:

talvez não seja apropriado utilizar unicamente determinada teoria de aprendizagem como referencial teórico para uma intervenção didática. Talvez seja mais interessante usar diferentes elementos, de várias teorias para definir o referencial teórico.

As teorias de Ausubel, Bruner, Paulo Freire, Piaget e Vygotsky compartilham uma visão central: todas elas valorizam o processo ativo e construtivo de aprendizagem, no qual o aluno desempenha um papel essencial na construção do conhecimento.

Como já mencionado algumas vezes, Ausubel acreditava que a aprendizagem só é significativa quando o novo conhecimento se conecta com o que o aluno já sabe. Bruner (1961) defende o aprendizado por descoberta, onde o aluno é ativo na exploração e construção do conhecimento. Para Bruner (BRUNER, 1961), “o que se descobre por si mesmo é mais significativo do que o que é simplesmente recebido”.

De acordo com Santos (2024), as reflexões de Jerome Bruner foram fortemente influenciadas pelos trabalhos de Piaget e Vygotsky, e revelam conexões interessantes com outros grandes nomes da educação, como Paulo Freire e David Ausubel. Bruner (1961)

discute a importância do processo de reorganizar ou transformar evidências para além do que é imediatamente aparente. Ele argumenta que a descoberta, seja no âmbito educacional ou científico, ocorre quando as evidências são manipuladas e reorganizadas de forma a possibilitar novas compreensões, conceito que encontra paralelo nos organizadores prévios propostos por Ausubel.

Piaget também vê o aprendizado como um processo ativo, em que o aluno interage com o ambiente para construir conhecimento de forma progressiva. Freire propõe uma pedagogia dialógica, onde alunos e professores participam ativamente da construção do saber, valorizando a experiência e contexto dos alunos. Vygotsky, por sua vez, foca na mediação social, onde o aluno aprende de forma ativa com a ajuda de outros (interação social e colaboração).

Ausubel e Freire enfatizam a importância de contextualizar o conteúdo para torná-lo relevante e significativo para o aluno. Para Santos (2024), existem alguns estudos que podem permitir uma comparação entre Freire e Ausubel, especialmente no que diz respeito ao conceito de subsunção, proposto por Ausubel, e aos conceitos de palavras geradoras ou universo vocabular, desenvolvidos por Paulo Freire (1970, p. 6)

Piaget e Bruner também acreditam que a estrutura e organização do conhecimento são essenciais para que o aluno possa compreender e aplicá-lo em diferentes contextos. Vygotsky foca na relevância do contexto social e cultural, reconhecendo que o conhecimento é construído de forma colaborativa, dependendo das interações sociais.

Apesar de Piaget e Ausubel proporem abordagens diferentes, suas teorias podem se complementar de forma eficaz tendo pontos de convergência entre suas visões. Um ponto de intersecção é o destaque dado à organização do conhecimento. Para os dois teóricos, a forma como o conteúdo é estruturado é crucial para a aprendizagem. Para Piaget, a aprendizagem deve estar de acordo com o estágio de desenvolvimento cognitivo (sensório-motor, pré-operacional, operatório-concreto e operatório-formal) do aluno, ou seja, o conteúdo precisa ser apresentado de forma que ele seja assimilável dentro da estrutura cognitiva do aluno em cada fase de sua vida. Para Ausubel, a organização lógica do conhecimento facilita a aprendizagem significativa. O conhecimento novo deve ser introduzido de forma hierárquica, partindo de conceitos mais gerais até os mais específicos, o que auxilia na incorporação dessas novas informações à estrutura cognitiva existente. Esse é

o processo de subsunção, e é fundamental para que o conhecimento seja compreendido de forma mais profunda e duradoura.

Também podemos considerar a similaridade entre Ausubel e Vygotsky, os dois consideram que a mediação do conhecimento como algo fundamental no desenvolvimento cognitivo do aluno. Para Ausubel o professor deve ser um facilitador da aprendizagem, organizando o conteúdo de maneira que promova a assimilação significativa. Esses conteúdos são os organizadores prévios que servirão como subsunções.

Vygotsky enfatizava a função de mediador, seja ele o professor ou colegas mais experientes, no processo de aprendizado. A aprendizagem, para Vygotsky, é amplamente influenciada pelo contexto social e cultural, o que complementa a ênfase de Ausubel na necessidade de contextualizar o novo conteúdo para que ele faça sentido para o aluno. A subsunção da aprendizagem significativa tem uma relação com o pensamento de Vygotsky de que o aprendizado é construído sobre a base de experiências e interações sociais anteriores com essa noção de que o conhecimento novo é processado de maneira mais eficaz quando é contextualizado e conectado ao conhecimento anterior.

O processo de mediação no aprendizado é destacado pela ideia de que as habilidades que uma criança desenvolve com o auxílio de terceiros hoje se tornam progressivamente internalizadas, permitindo que ela as execute autonomamente no futuro: “aquilo que uma criança pode fazer com assistência hoje, ela será capaz de fazer sozinha amanhã” (VYGOTSKY, 1991, p. 58).

Em sua teoria da Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), Vygotsky sugere que os alunos aprendem de forma mais eficaz quando são guiados por outros dentro dessa zona de desenvolvimento.

Propomos que um aspecto essencial do aprendizado é o fato de ele criar a zona de desenvolvimento proximal; ou seja, o aprendizado desperta vários processos internos de desenvolvimento, que são capazes de operar somente quando a criança interage com pessoas em seu ambiente e quando em operação com seus companheiros. Uma vez internalizados, esses processos tornam-se parte das aquisições do desenvolvimento independente da criança (VYGOTSKY, 1991, p. 61–62).

Em todas essas teorias, o professor desempenha um papel crucial como facilitador do processo de aprendizagem, ajudando o aluno a construir conhecimento, seja por meio de mediação social de Vygotsky, descoberta orientada segundo Bruner, mediação

dialógica como propunha Freire, ou através da organização de experiências adequadas ao nível de desenvolvimento cognitivo do aluno, conforme Piaget.

A similaridade fundamental entre essas teorias está no papel ativo do aluno na construção do conhecimento, na importância do contexto social ou prévio, e na função mediadora e orientadora do professor.

3.2 Uso de jogos no ensino de física

O que se segue é baseado no artigo de Diniz e dos Santos (DINIZ; DOS SANTOS, 2019). Sinto-me à vontade para assim proceder, porque participei indiretamente deste trabalho, uma vez que providenciei a montagem da estrutura do jogo na internet, disponível em <https://www.jpnobel.com.br>, e acompanhei todas as etapas do levantamento bibliográfico pertinente, durante a preparação do artigo sobre o algoritmo e o código da versão beta do jogo EBPB (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018).

A ideia de se usar jogos educacionais é muito antiga, bem antes da existência desses recursos tecnológicos modernos, no entanto o uso teve um crescimento vertiginoso com o advento da internet, ou seja, depois do ano 2000. O Google Acadêmico (GA) recupera 299 documentos, incluindo artigos e patentes, na segunda metade do século 19. Esse número cresceu para 1730 na primeira metade do século 20. A Figura 3.1 mostra a evolução do número de documentos recuperados pelo GA a partir de 1950.

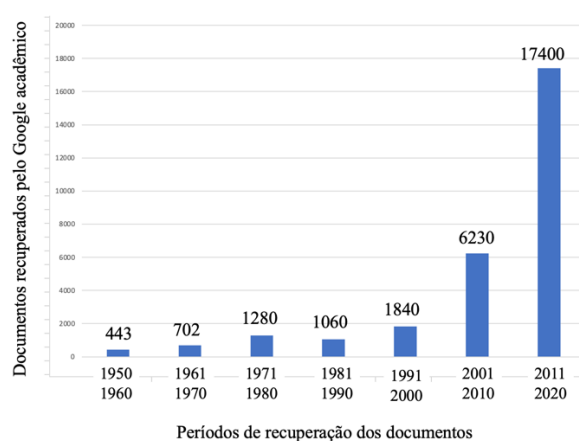


Figura 3.1: Distribuição de documentos (artigos + patentes) recuperados pelo Google Acadêmico, de 1950 a 2020, para a sentença de busca “educational game”.

Como se vê na Figura 3.1, a quantidade de documentos recuperado pelo GA triplicar na passagem da última década do século 20 para a primeira do século 21, e triplica novamente na passagem da primeira década para a segunda década deste século.

O primeiro documento registrado na base de dados do Google Acadêmico (<https://scholar.google.com.br/>) com a expressão de busca “educational game” é uma patente de 1858, desse jogo hoje tradicional de blocos com números e letras do alfabeto. Na sequência, essa mesma base de dados registra inúmeras patentes com jogos similares ou aperfeiçoamentos do jogo pioneiro. Ainda de acordo com o Google Acadêmico, os primeiros artigos e livros sobre o assunto foram publicados depois de 1900.

De acordo com Li e Tsai (LI; TSAI, 2013), a utilização de jogos no ensino de ciências ainda encontra-se em sua infância quando alguns aspectos são considerados. Por exemplo, são poucos os estudos sobre o ensino baseado em jogos (EBJ) nos quais são claramente relatados aspectos referentes a processos científicos, afeto, engajamento e contexto social da aprendizagem. Mesmo que esses aspectos não estejam claramente definidos em boa parte da literatura, há consenso em que o EBJ tem forte correlação com teorias de aprendizagem cognitivistas e construtivistas (CRACIUN, 2010; LI; TSAI, 2013; YIEN et al., 2011), bem como com a teoria sócio-cultural de Vygotsky (QIAN; CLARK, 2016). No que se refere aos jogos eletrônicos, dois aspectos devem ser levados em conta. O primeiro, salientado por Li e Tsai (2013) é que princípios pedagógicos em si não constituem elementos interessantes e atrativos capazes de motivarem as pessoas a utilizarem o jogo. Neste sentido, desempenham papéis importantes para o engajamento dos jogadores, características dos jogos digitais tais como objetivos, regras, interatividade, comentários e desafios. O segundo aspecto, que se observa em alguns jogos, mas que a nosso conhecimento ainda não mereceu um estudo sistemático, refere-se ao fato de o jogo explorar com muita maestria as características dos jogos digitais mencionadas acima, deixando em segundo plano os aspectos pedagógicos. O jogo em si é tão desafiador e interessante que ao final não se sabe exatamente que conceitos foram abordados e pedagogicamente explorados. No jogo que aqui apresentamos levamos em conta esse aspecto da relevância conceitual e da aprendizagem significativa. Mais do que um jogo, nossa proposta tem a ver com uma abordagem pedagógica centrada no processo dialógico.

3.3 Testes de acesso à estrutura cognitiva

Escolhemos usar dois testes de acesso à estrutura cognitiva largamente referidos na literatura, a saber: teste de concepções alternativas e teste de associação numérica de conceitos. Embora tenham sido elaborados para acessar informações um tanto diferentes, eles podem indicar a existência de concepções alternativas. Sabemos que outra alternativa

para a investigação de concepções alternativas são entrevistas clínicas piagetianas (Codd, 1981), mas não tivemos tempo hábil para incluir essa atividade durante o tempo de aplicação do produto.

3.3.1 Teste de concepções alternativas (TCA)

As concepções alternativas (CAs) ou *misconceptions* (termo usado na literatura em inglês), são os conceitos e/ou ideias que o aluno possui a respeito de um determinado assunto. Podem ser adquiridos previamente ou durante o processo de aprendizagem formal. Segundo Novak e Gowin ((NOVAK, J. D.; GOWIN, D., 1995):

as concepções alternativas são normalmente caracterizadas ou por uma ligação entre dois conceitos que formam uma proposição claramente falsa, ou por uma ligação onde falta a ideia chave que relaciona dois ou mais conceitos.

Na visão de Bucussi (2006), as concepções alternativas que os estudantes constroem para explicar fenômenos do cotidiano ou questões da educação formal, tendem a ser superficiais e coerentes com seu ponto de vista, sendo resistentes a mudanças. Mesmo após o ensino formal, essas concepções persistem e se manifestam como estruturas conceituais, que podem ser explícitas ou implícitas para os alunos.

Başer e Geban (2007) afirmam que “de acordo com a visão construtivista de aprendizagem, novos conhecimentos são construídos sobre os já existentes e, portanto, equívocos estabelecem barreiras para o aprendizado posterior.”

As CAs podem atuar como um grande óbice à aprendizagem, pois esse conhecimento prévio pode ser uma concepção errônea:

As concepções alternativas caracterizam-se por serem superficiais e coerentes com o ponto de vista do estudante, explicando, equivocadamente, situações do dia-a-dia ou questões colocadas pela educação formal. Também são resistentes à mudança, manifestando-se mesmo após o ensino formal, revelando-se como estruturas conceituais que não estão isoladas e que podem estar explícitas ou implícitas para os estudantes. (BUCUSSI, 2006)

A respeito dos problemas que as concepções alternativas podem trazer no ensino-aprendizagem, Gravina e Buchweitz (1994) destacam duas conclusões bem gerais: 1) algumas são compartilhadas por grande número de estudantes e 2) são muito resistentes às mudanças, isto é, tendem a permanecer inalteradas mesmo diante da instrução formal.

É preciso investigar o senso comum dos estudantes e direcioná-los para a obtenção do conhecimento científico, estabelecendo relações entre as concepções errôneas e as científicas, com o objetivo de quebrar a resistência da mudança de conceitos.

3.3.2 Teste de associação numérica de conceitos (TANC)

A fundamentação teórica por trás do Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC) baseia-se na ideia de estrutura cognitiva (AUSUBEL, 1962a, 1963b; AUSUBEL; FITZGERALD, 1961), cujo principal modelo funcional é atribuído a Ausubel. Essa fundamentação pode ser resumida da seguinte forma (AUSUBEL; FITZGERALD, 1961):

Por estrutura cognitiva entende-se a organização, estabilidade e clareza de conhecimento de um indivíduo em um determinado campo do conhecimento (...). No sentido mais geral e de longo prazo, as variáveis da estrutura cognitiva referem-se à influência de propriedades organizacionais significativas na aquisição de conhecimento nesta área disciplinar (...). No sentido mais específico e de curto prazo, as variáveis de estrutura cognitiva referem-se aos efeitos das propriedades organizacionais apenas dos conceitos imediatamente (ou próximos) relevantes dentro de um determinado campo de assunto sobre a aprendizagem e retenção de pequenas unidades do referido assunto.

A base dessa teoria está na icônica frase de Ausubel (MOREIRA, 2017): “De todos os fatores que influem na aprendizagem, o mais importante é o que o aluno já sabe; averigüe-se isso e ensine-se de acordo”. Esse princípio coloca um desafio significativo para o professor: o que significa averiguar o que o aluno já sabe? Muitos acreditam que essa averiguação ocorre no nível do conhecimento, como nos exames escolares usuais. Outros tentam investigar o domínio de subsunçores (AUSUBEL, 1960) relevantes ao conteúdo a ser ensinado ou examinar a existência de concepções alternativas (HAMMER, 1996). Tsai e Huang (2002) discutem outras formas de acessar a estrutura cognitiva. Entre essas, destaca-se o uso de testes de associação de conceitos.

Dois principais tipos de testes de associação de conceitos são relatados na literatura: o Teste de Associação Escrita de Conceitos (TAEC) (DOS SANTOS; MOREIRA, 1979a; GARSKOF; HOUSTON, 1963) e o Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC) (DOS SANTOS; MOREIRA, 1979a; SUBKOVIK; ROECKS, 1976). O TANC, utilizado no presente estudo, consiste em associar um valor em uma escala Likert a diversos pares de conceitos. Para N conceitos, existem $N(N-1)/2$ pares, considerando que a similaridade entre os conceitos A e B é equivalente à similaridade entre B e A. Escalas Likert com diferentes números de alternativas, variando de 3 a 9, são mencionadas na literatura. Neste estudo, optou-se pela escala com 9 alternativas devido à presença de um ponto médio e ao bom nível de confiabilidade (CHYUNG et al., 2017; PRESTON; COLMAN, 2000).

Shavelson foi um dos pioneiros a utilizar explicitamente testes de associação de conceitos para investigar a estrutura cognitiva em física, no início da década de 1970

(SHAVELSON, 1972, 1974a, 1974b). A questão central levantada por Shavelson (1972) era: “Até que ponto a estrutura da memória do aluno, após a aprendizagem, corresponde à estrutura do material instrucional?”. Vários estudos subsequentes corroboraram a ideia de que essa correspondência pode ser avaliada por meio de testes de associação de conceitos (GEESLIN; SHAVELSON, 1975, 1975; GLINER, 1981; MOREIRA; DOS SANTOS, 1981; THRO, 1978).

A partir do final da década de 1950, os resultados obtidos com testes de associação de palavras (denominados, no ensino de ciências, associação de conceitos) passaram a ser analisados com técnicas de Análise de Escalonamento Multidimensional (MDS)*, introduzidas inicialmente por Torgerson (TORGERSON, 1952) e posteriormente aperfeiçoadas por seus seguidores (KRUSKAL, 1964; SHEPARD, 1962a, 1962b; SUBKOVIAK, 1975). Os resultados notáveis com diferentes tipos de estímulos sensoriais e psicológicos impulsionaram o uso de testes e da MDS no ensino de conceitos físicos (DOS SANTOS, 1978).

Um exemplo seminal desses estudos foi conduzido por Peter Bricker e Sandra Pruzanski nos laboratórios da Bell (BRICKER; PRUZANSKY, 1970). Eles criaram 24 tons audíveis (com 4 frequências, 3 percentagens de modulação e 2 tipos de onda: senoidal e quadrada). Os tons foram apresentados a 20 funcionários, que ouviram 552 pares de tons e atribuíram um valor de similaridade entre 0 (tons iguais) e 9 (tons completamente diferentes). Cada tom era ouvido por 1 segundo, com intervalo de 1 segundo, e os participantes tinham 3 segundos para responder após o segundo tom. Os resultados foram analisados com o programa MDSCAL (DOS SANTOS; MOREIRA, 1991), utilizando um espaço euclidiano tridimensional. As dimensões identificadas foram: frequência, percentagem de modulação e forma de onda.

Assim como em outros estudos sobre estímulos psicológicos e sensoriais, testes de associação de palavras e métodos computacionais de MDS permitiram identificar características físicas dos estímulos. Neste estudo, utilizamos um programa do pacote estatístico SPSS, que incorpora elementos dos algoritmos ALSCAL e INDISCAL para análises individuais.

* Embora a sigla da expressão em português seja EMD, vamos usar aqui a sigla internacional, MDS (MultiDimensional Scaling).

3.4 Algoritmos para análise do TANC

A técnica de escalonamento multidimensional foi desenvolvida na década de 1960 para solucionar um problema complexo: a criação de mapas a partir das distâncias entre seus pontos. Para isso, foram elaborados dois tipos de algoritmos: métricos e não métricos. Os algoritmos métricos utilizam os valores das distâncias, enquanto os não métricos requerem apenas o ordenamento dessas distâncias. Entre os pioneiros na área, destacam-se: Kruskal (1964), Guttman (1968), Carrol e Chang (1970), Subkoviak (1975) e Takane e colaboradores (1977). No Brasil, a técnica foi aplicada pela primeira vez em uma dissertação de mestrado no IF-UFRGS (DOS SANTOS, 1978; DOS SANTOS; MOREIRA, 1979a, 1979b, 1980, 1991; MOREIRA; DOS SANTOS, 1981). Estudos mais recentes foram publicados por Giguère (2006), Sagarra e colaboradores (2017), Hout e colaboradores (2013) e Jacoby e Ciuk (2018). No final da década de 1990, muitos desses algoritmos foram incorporados ao pacote estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences), sendo que pesquisas mais recentes utilizando essa ferramenta incluem os trabalhos de Greca e Moreira (2011), Hilger e Moreira (2013) e Nascimento e colaboradores (2019).

Na presente dissertação usamos um programa disponível no SPSS, que utiliza os algoritmos ALSCAL e INDSCAL (CARROLL; CHANG, 1970; GIGUÈRE, 2006; TAKANE; YOUNG; J. DE LEEUW, 1977; YOUNG; TAKANE; LEWYCKYJ, 1978)

O texto a seguir é baseado em artigo recentemente publicado, com dados obtidos na dissertação de Hyago Félix (FELIX, H. R. T. et al., 2024).

Dado um mapa geográfico com cidades representadas por pontos, é simples construir uma tabela de distâncias entre elas. Basta medir as distâncias com uma régua e utilizar a escala do mapa. No entanto, o problema inverso—reconstruir o mapa apenas a partir da tabela de distâncias—é significativamente mais complexo. Para lidar com esse desafio, a técnica de escalonamento multidimensional foi desenvolvida na década de 1960.

A partir do trabalho pioneiro de Shepard (Shepard, 1962a, b), diversos algoritmos foram desenvolvidos nos anos seguintes, com destaque para aqueles propostos por Kruskal (1964), Guttman (1968) e Carrol & Chang (1970). Revisões desses algoritmos podem ser encontradas em Dos Santos (1978), Dos Santos & Moreira (1979a, 1991), Hout, Papesh & Goldinger (2013) e Subkoviak (1975). No final da década de 1990, muitos desses algoritmos foram incorporados ao pacote estatístico SPSS (Statistical Package for the Social Sciences). No Brasil, pesquisas recentes utilizando o SPSS na área do

ensino de ciências foram apresentadas por Greca & Moreira (2011), Hilger & Moreira (2013) e Nascimento et al. (2019).

Conforme consta da literatura apresentada até aqui, o procedimento tem como objetivo básico o mesmo de todos os algoritmos MDS. Ou seja, determinar a configuração geométrica que melhor se ajusta a um conjunto de medidas de proximidade (similaridade ou dissimilaridade).

Existem diversos modelos de algoritmos de MDS. Os clássicos operam ajustando os dados de uma única matriz (KRUSKAL, 1964; SHEPARD, 1962a, b; TORGERSON, 1952), enquanto os mais utilizados atualmente ajustam múltiplas matrizes e são conhecidos como algoritmos de análise individual (CARROLL & CHANG, 1970; TAKANE, YOUNG & DE LEEUW, 1977; YOUNG, TAKANE & LEWYCKYJ, 1978).

Além disso, os algoritmos de MDS podem ser classificados em duas grandes categorias: métricos e não métricos. Como o próprio nome indica, os algoritmos métricos utilizam os valores das medidas de proximidade no processo de ajuste, sendo, nesse aspecto, semelhantes aos algoritmos de ajuste de dados experimentais empregados nas ciências da natureza e na engenharia. No entanto, os algoritmos mais amplamente utilizados são os não métricos, que requerem apenas a ordenação das medidas de proximidade para determinar a configuração representativa. Vale destacar que alguns algoritmos métricos também ordenam as medidas e adotam estratégias típicas dos não métricos.

Entre os algoritmos não métricos, um dos mais conhecidos é o MDSCAL (Multi-Dimensional SCALing), desenvolvido por Kruskal (1964), que serviu de base para a maioria dos algoritmos criados entre as décadas de 1960 e 1970.

O princípio fundamental desses algoritmos é, em geral, o mesmo. As diferenças entre eles residem principalmente nas estratégias matemáticas e computacionais empregadas para determinar a configuração d_{ij} que melhor se ajusta às medidas de similaridade δ_{ij} . Essa configuração é normalmente obtida em um espaço euclidiano de dimensão arbitrária, não se limitando apenas ao plano bidimensional. No caso de um espaço bidimensional, usado aqui, a distância entre dois estímulos (conceitos de eletricidade), i e j , é definida pela seguinte expressão (GIGUÈRE, 2006):

$$d_{ijk}^2 = \sum_a w_{ka} (x_{ia} - x_{ja})^2, \quad (3.1)$$

onde, w_{ka} é o peso que o indivíduo k atribui à dimensão a .

O ajuste entre as medidas de similaridade e as distâncias euclidianas tem como parâmetro estatístico uma função denominada Stress:

$$Stress = S = \sqrt{\frac{\sum_{ij} (\delta_{ij} - d_{ij})^2}{\sum_{ij} d_{ij}^2}}, \quad (3.2)$$

onde, δ_{ij} são os valores de similaridades obtidos com a aplicação do TANC. O processo de ajuste busca obter uma configuração que seja monotonicamente relacionada com as similaridades. Ou seja, se $\delta_{ij} < \delta_{kl}$, então $d_{ij} < d_{kl}$. Para obter a melhor configuração o algoritmo deve minimizar a função S. Esse é um processo similar ao método dos mínimos quadrados, muito conhecido por quem trabalha com ajustes de dados experimentais.

Vamos explorar esse princípio básico por meio de um exemplo intuitivo. Embora, em aplicações reais, o ajuste possa ser realizado em múltiplas dimensões, para simplificar, consideremos um ajuste bidimensional. Utilizamos uma matriz com as distâncias aéreas entre 20 capitais brasileiras, disponível em <https://goodway.com.br/distancias.htm>, e aplicamos o algoritmo ALSCAL/INDSCAL do SPSS. Como esperado, o resultado foi uma configuração que representa o mapa do Brasil (Figura 3.2).

No entanto, a correspondência exata entre os pontos obtidos e as localizações reais das capitais nem sempre ocorre de forma imediata—na verdade, raramente acontece. Para que o mapa gerado coincida com o mapa real, são necessárias duas transformações geométricas: redimensionamento (dilatação ou contração) e rotação da configuração obtida, até que os pontos se alinhem corretamente. Essas operações não afetam o ordenamento das proximidades entre os pontos, garantindo que as soluções de MDS sejam invariantes a essas transformações. O essencial é preservar a relação de proximidade entre os elementos.

Esse exemplo demonstra a capacidade do algoritmo de representar corretamente uma configuração geométrica de N pontos com base nas $N(N-1)/2$ distâncias entre eles. No entanto, quando se trata de estímulos sensoriais, psicológicos ou cognitivos, pode surgir a dúvida: a representação geométrica reflete, de fato, as medidas de similaridade? Em outras palavras, há uma diferença significativa entre essa representação e uma gerada aleatoriamente?

Para ilustrar essa questão, a Figura 3.3 apresenta um mapa conceitual obtido a partir de uma matriz de similaridades aleatórias. Como mostraremos adiante, ao contrário desse mapa aleatório, todas as representações geradas com o TANC revelam, de alguma forma, uma configuração coerente com a estrutura do conteúdo trabalhado em sala de aula.



Figura 3.2: Parte do mapa do Brasil obtido com o ALSCAL/INDSCAL a partir das distâncias aéreas entre 20 capitais.

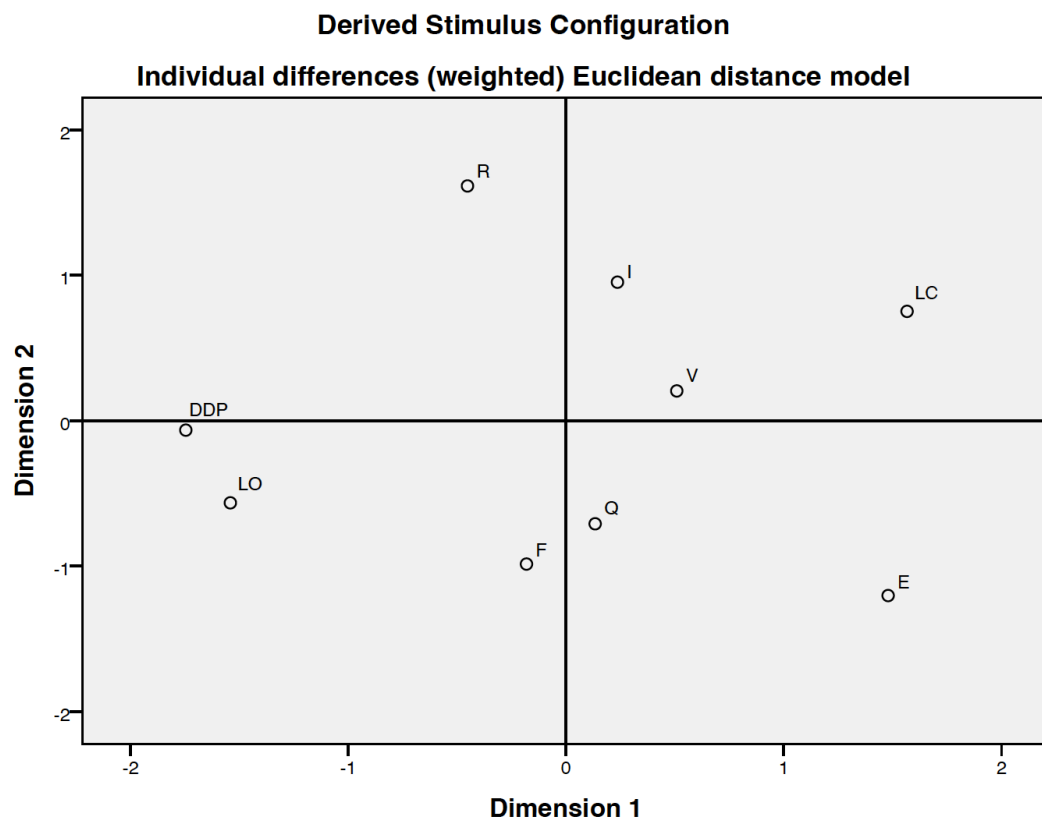


Figura 3.3 – Mapa de conceitos de eletricidade, obtido com uma matriz aleatória.

Como o algoritmo gera as configurações apresentadas nas Figuras 3.2 e 3.3? O processo segue quatro etapas principais. Supondo que a matriz de proximidade

contenha $N(N-1)/2$ células, representando as relações de proximidade entre N objetos, o algoritmo opera da seguinte forma (SUBKOVIK, 1975):

1. **Inicialização:** começa com uma configuração arbitrária de pontos.
2. **Cálculo das distâncias:** determina as distâncias entre todos os pontos da configuração (Equação 3.1) e as ordena em ordem crescente.
3. **Cálculo da função stress:** computa a métrica de ajuste SS (Equação 3.2), que mede a discrepância entre as distâncias calculadas e as medidas de similaridade.
4. **Reajuste da configuração:** modifica a posição dos pontos para minimizar S . Para garantir a monotonicidade e melhorar o ajuste, pares de pontos cuja distância calculada é maior do que a medida de similaridade sugere são aproximados, enquanto pares cuja distância é menor são afastados.

Essas etapas são repetidas iterativamente até que a redução do valor de S se torne insignificante. No algoritmo ALSCAL/INDSCAL, o processo é interrompido quando a variação de S atinge aproximadamente 0,00001.

A Figura 3.4 ilustra como as distâncias são ajustadas para atender à condição de monotonicidade. A Figura 3.4a mostra um caso ideal de relação monotônica perfeita, algo raro em situações reais. Já na fase do ajuste representada na Figura 3.4b, para reduzir S , os pares de pontos (3,4) e (1,2) precisam ser aproximados, enquanto os pares (1,3) e (1,4) devem ser afastados.

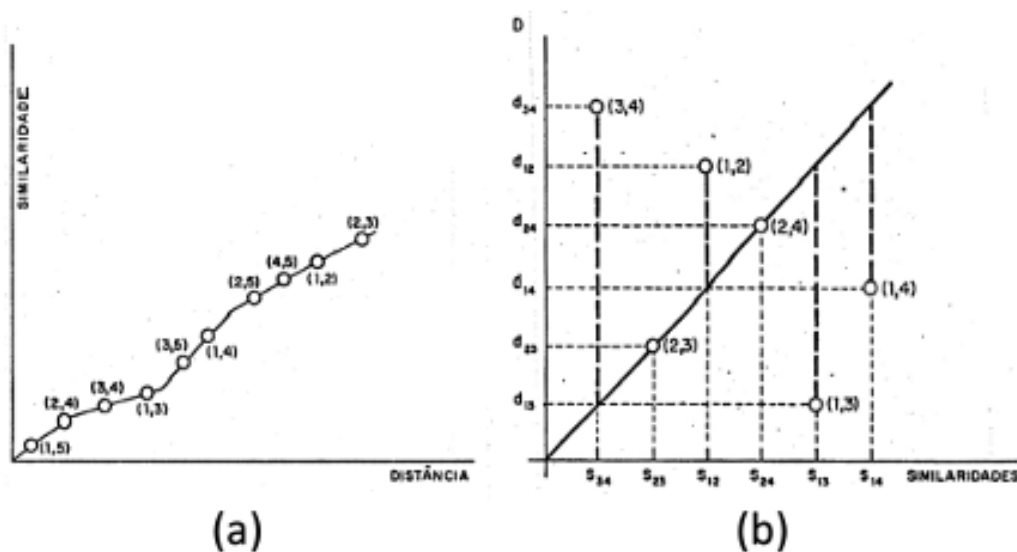


Figura 3.4 – Processo de variação das distâncias para atender à monotonicidade. Fonte: Dos Santos (1978)

O procedimento ALSCAL/INDSCAL do SPSS gera um mapa de estímulos que representa uma média do grupo de respondentes (Figura 3.5), e um mapa de indivíduos com os pesos atribuídos por cada um deles (Figura 3.6). Para obter o mapa individual de cada respondente (Figura 3.7), é necessário processar as matrizes separadamente, como será demonstrado a seguir. Um mapa obtido com professores de física no ensino médio, alunos do MNPEF-UFERSA em 2022, é apresentado na Figura 3.8. É interessante observar a estrutura conceitual desse grupo. A lei de Coulomb está bem definida pelo grupo {LC, F, Q} e a eletrodinâmica está bem discriminada com a formação do grupo {LO, I, R, DDP}. No entanto, do ponto de vista ausubeliano, o grupo {E, V} deveria formar uma ponte mais evidente entre esses dois grupos.

No Capítulo 5 mostraremos os mapas obtidos para as duas turmas que participaram do experimento, comparando-os aos mapas de professores e da matriz aleatória.

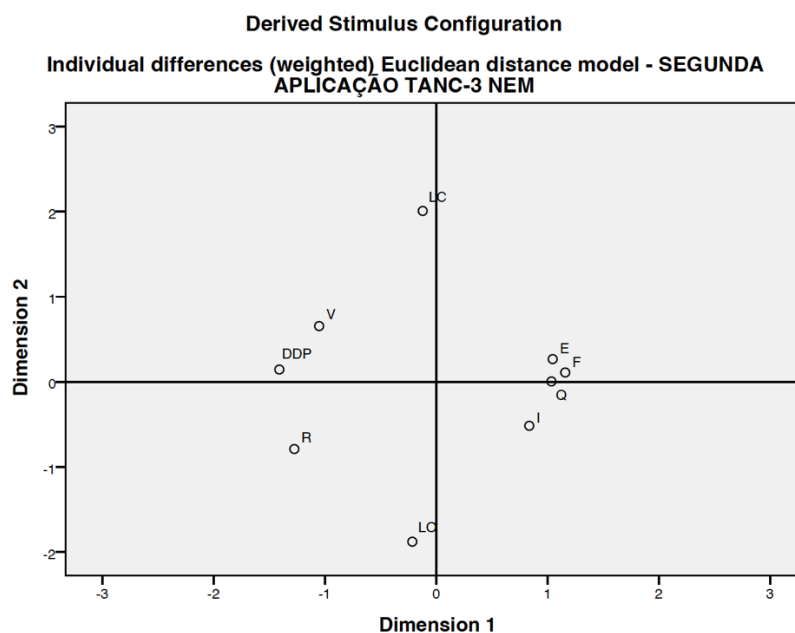


Figura 3.5 – Mapa de todos os respondentes.

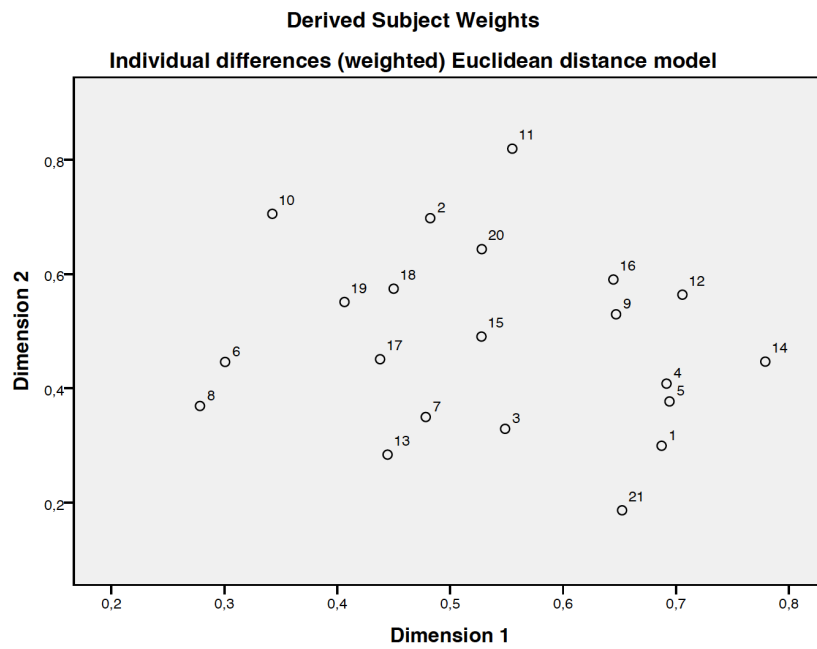


Figura 3.6 – Mapa dos pesos que cada respondente atribui a cada dimensão.

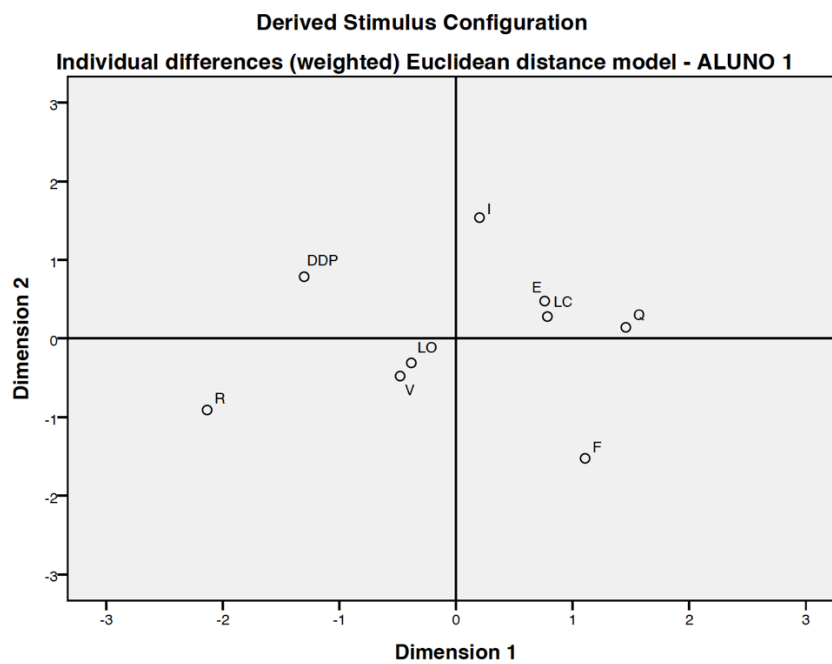


Figura 3.7 – Mapa individual do aluno 1. Códigos dos conceitos: Q=carga elétrica; E=campo elétrico; F=força elétrica; V=potencial elétrico; DDP=diferença de potencial; I=corrente elétrica; R=resistência elétrica; LC= lei de Coulomb; LO=lei de Ohm.

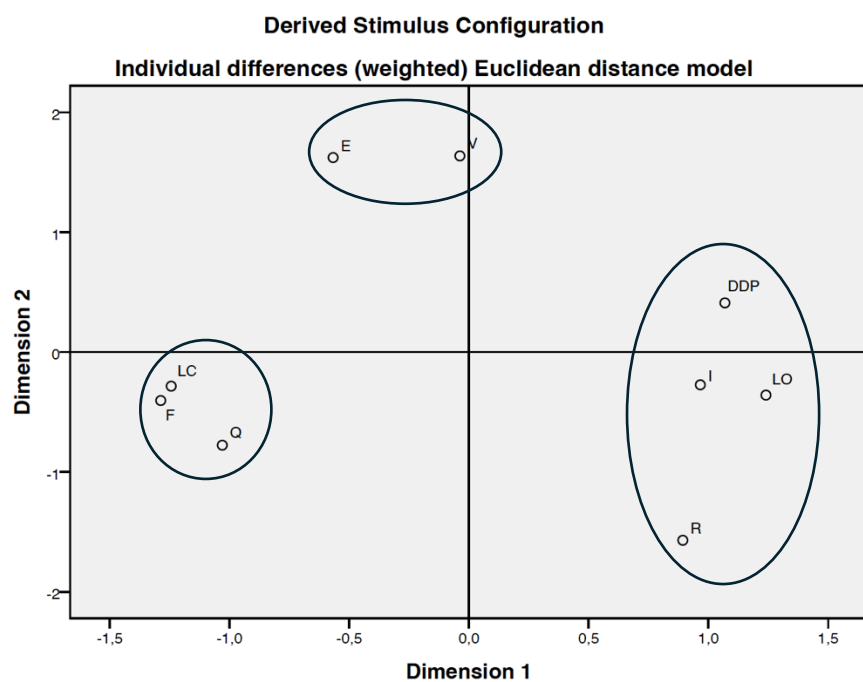


Figura 3.8 – Mapa de um grupo de professores de física no ensino médio, alunos do MNPEF-UFERSA, em 2022.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Serão apresentadas a seguir as metodologias referentes aos diferentes elementos da dissertação. Este capítulo conecta-se com o anterior via abordagem dos fundamentos desses diversos elementos. Ou seja, no capítulo 3 foram apresentados os referenciais teóricos dos elementos, e aqui serão descritos como eles foram usados na dissertação.

4.1 Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel” (EBPN) – Versão digital

Boa parte do texto que se segue foi extraído de dois artigos que publicamos. Um sobre a versão beta do EBPN (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018), e outro sobre a versão 1.0 (DE AQUINO, E. M. et al., 2023), ambos disponibilizados nos Anexos I e II.

O jogo foi inicialmente planejado para rodar na internet, mas logo percebemos a importância de adaptá-lo para cartas e para tabuleiro. O fluxograma original, apresentado na Figura 4.1, que foi modificado nas diversas versões do código, será exibido aqui como um resgate histórico. No início, a ideia do jogo era centrada nos mapas conceituais, mas resolvemos alterar o foco para o número de questões respondidas pelos jogadores, para ficar mais próximo de uma espécie de treinamento para o ENEM. Apesar das alterações, a ideia central do algoritmo foi mantida.

4.1.1 Versão beta

Tanto nesta versão beta, quanto na versão 1.0, o jogo se desenvolve em dois ambientes administrados por um código PHP*, com auxílio do yiiframework na versão 2†. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML e mapas conceituais confeccionados com a ferramenta CmapTools‡. O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL§, com questões e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Todo o sistema está baseado na arquitetura MVC (Model-view-controller).**

* [https://secure.php.net/manual/pt BR/intro-what-is.php](https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php).

† <http://www.yiiframework.com/>.

‡ <https://cmap.ihmc.us/>.

§ <https://www.mysql.com/>.

** <https://pt.wikipedia.org/wiki/MVC>.

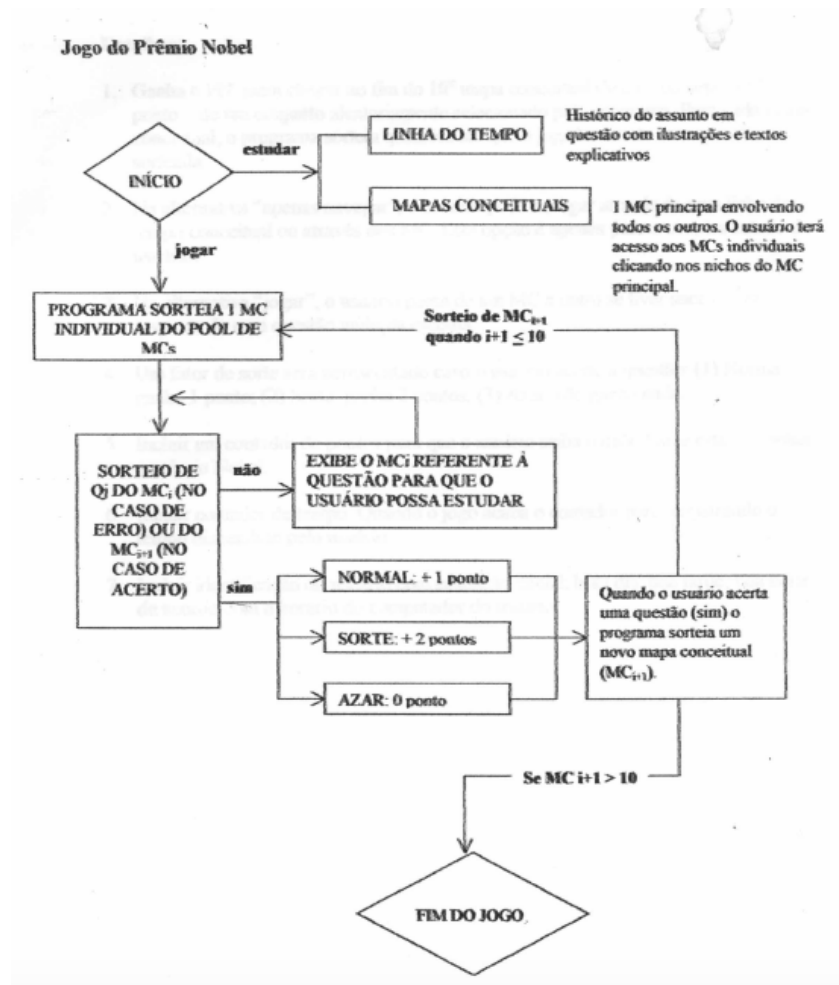


Figura 4.1 – Fluxograma original do jogo EBP.

Como ilustrado na Figura 4.2, a arquitetura MVC opera em três camadas:

1. Camada de modelo responsável pela leitura, escrita e validação dos dados do banco.
2. Camada de visualização, por meio da qual os dados e informações são exibidos ao usuário. É o que de fato o usuário vê, ou seja é a exibição das páginas HTML e das questões.
3. Camada de controle responsável pela comunicação com o usuário. Ela envia notificações e recebe as respostas do usuário.

Na versão beta, os desafios consistem unicamente em questões típicas do ENEM, mas na versão 1.0, foram incluídos experimentos virtuais que podem ser manipulados para permitir avaliação.

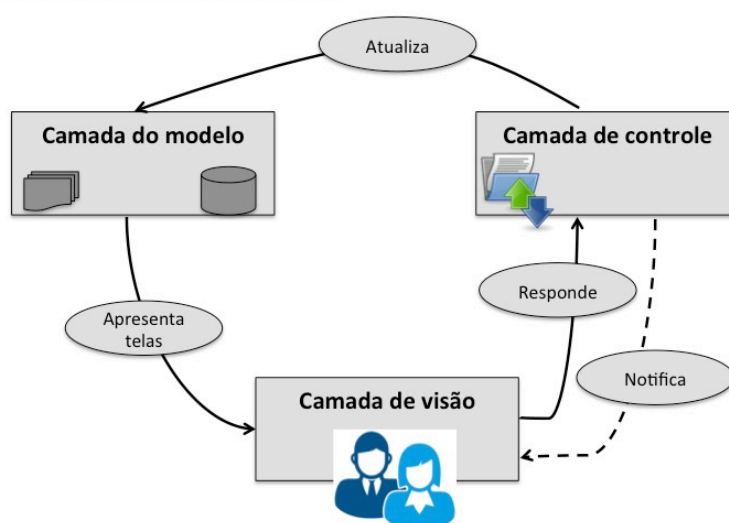


Figura 4.2 – Esquema operacional da arquitetura MVC (Modelview-controller).

Ao acessar o jogo, o usuário tem duas alternativas: estudar ou jogar. Para jogar ele deverá passar por um teste de admissão, ou seja, acertar três questões sucessivas de nível fácil. Para estudar ele tem o conteúdo apresentado sob a forma de hipertextos e sob a forma de mapas conceituais. Vejamos as interfaces do jogo e suas funcionalidades.

4.1.1.1 Interface do administrador

O menu de administração do jogo é apresentado na Figura 4.3. O administrador pode configurar diversas componentes do jogo, sendo duas dessas componentes de extrema importância: o conteúdo de aprendizagem (hipertextos e mapas conceituais) e os desafios ao jogador (questões de múltipla escolha).

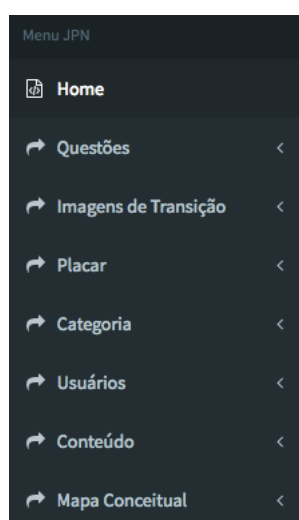


Figura 4.3 – Menu de administração do jogo.

Vamos concentrarmo-nos nas questões, que podem ser distribuídas por tópicos e por graus de dificuldade. Vamos ilustrar o procedimento com atomística, que foi o conteúdo usado na versão beta (DINIZ; DOS SANTOS, 2019). O conteúdo foi dividido em quatro tópicos: modelo atômico, propriedades atômicas da matéria, tabela periódica e radioatividade. As questões foram elaboradas com três graus de dificuldade: fácil, intermediário e difícil.

A interface para o cadastramento de questões é apresentada na Figura 4.4. Na parte superior está o campo para inserção do enunciado. Se a questão tiver figura, ela deve ser inserida no campo “Figura”. Cada questão tem uma imagem de entrada e uma de saída, a serem discutidas mais adiante. O administrador deve informar a qual tópico a questão se refere e o seu nível de dificuldade. Depois de informar as alternativas para as respostas, o administrador deve informar qual a alternativa correta.

A interface 'Cadastrar Questão' é composta por vários campos de entrada e botões. No topo, há um campo grande para o 'Enunciado'. Abaixo dele, há um campo para a 'Figura' com um botão 'Selecionar arquivo...' e o texto 'Nenhum arquivo selecionado.'. Seguem-se campos para 'Imagem de Entrada' e 'Imagem de Saída', cada um com um botão 'Selecionar arquivo...' e o texto 'Nenhum arquivo selecionado.'. Abaixo, há um campo para o 'Tópico' com o valor 'Modelo Atômico' selecionado. Em seguida, há um campo para o 'Nível' com o valor 'Fácil' selecionado. No final, há um campo rotulado 'a)' para as alternativas de resposta.

Figura 4.4 – Interface para o cadastramento de questões.

4.1.1.2 Interface de aprendizagem

A interface de aprendizagem consiste em hipertextos e mapas conceituais. Os hipertextos consistem em páginas de conteúdo (contidas na biblioteca) e em páginas com

as biografias dos cientistas mais importantes da área na qual o jogo está sendo aplicado. Apenas como ilustração apresentaremos na Figura 4.5 o menu da biblioteca de atomística.



Figura 4.5 – Menu da biblioteca.

4.1.1.3 Interface do jogador

Uma vez aprovado no teste de admissibilidade, ou seja, uma vez tendo acertado sequencialmente três questões fáceis, o jogador ingressa no jogo na categoria Graduação. Ele tem que passar por mais duas categorias antes de se candidatar ao Prêmio Nobel (PN): Mestrado e Doutorado. Depois ele entra na categoria de Pesquisador, quando estará credenciado para concorrer ao Nobel. O jogador passa de uma categoria a outra quando acertar, no mínimo, cinco questões da categoria. Ou seja, para ganhar o PN o jogador tem que acertar no mínimo 20 questões.

As questões na categoria Graduação referem-se exclusivamente a carga e campo elétrico. Na categoria Mestrado o assunto para as questões é potencial elétrico, enquanto na categoria Doutorado o tópico é corrente elétrica, circuitos elétricos e lei de Ohm. As questões dessas três categorias são extraídas do ENEM, com graus de dificuldade baixo ou intermediário. Na categoria Pesquisador, as questões referem-se a todos os tópicos e são selecionadas entre questões difíceis do ENEM.

Por que o ganhador tem que acertar no mínimo 20 questões? Por duas razões. Para colocar no jogo a sorte e o azar, e para simular o que ocorre na vida de qualquer cientista.

É muito frequente o cientista perder parte do seu trabalho, quando tenta publicá-lo. Por exemplo, se ele tenta publicar um resultado que foi anteriormente obtido e publicado por outro, sem seu conhecimento, é grande a chance de o trabalho não ser aceito. Mesmo que o trabalho seja aceito, ele pode ficar em desvantagem na corrida pelo PN, porque a paternidade da sua descoberta é atribuída a outro cientista. Para simular essa situação, colocamos um elemento de imprevisibilidade no algoritmo. Quando o jogador responde corretamente a última questão de cada nível (Graduação, Mestrado e Doutorado), o programa sorteia SORTE ou AZAR. Se der SORTE, ele passa para o nível seguinte ou ganha o PN. Se der AZAR, ele terá que responder nova questão, e só passará para o nível seguinte ou ganhará o PN, se acertar a última questão e tiver SORTE. Qualquer que seja o caso, o programa apresenta uma tela de congratulação ou uma tela explicando o infortúnio, conforme ilustram as Figuras 4.6A e 4.6B.



Figura 4.6 – (A) Congratulação pela passagem para o grau de Doutorado; (B) Consolando pelo infortúnio.

Cada questão tem uma tela de entrada e outra de saída. A tela de entrada é exibida antes da questão. Sua finalidade é alertar o jogador para o tipo de questão que ele vai ter que responder. Ele pode fazer uma autoanálise do seu conhecimento em relação ao tema, e se for o caso decidir estudá-lo antes de responder a questão. Neste caso ele sai da área de jogo e vai para a área de aprendizagem (mapas conceituais ou hipertextos).

A tela de saída é exibida se o jogador errar a questão. Sua finalidade é informar a origem do erro e encaminhá-lo para a área da biblioteca que trata do assunto abordado na questão. A título de ilustração são apresentados o enunciado de uma questão, sua tela de entrada (Figura 4.7) e sua tela de saída (Figura 4.8).

Entre os vários modelos atômicos, um dos mais conhecidos é aquele elaborado por Joseph John Thomson, conhecido na literatura como modelo do pudim de ameixa, segundo o qual:

- a. os elétrons têm caráter corpuscular e de onda, simultaneamente.
- b. no centro do átomo existe um núcleo muito pequeno e denso, cercado por elétrons.
- c. os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas elípticas.
- d. os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas circulares.
- e. o átomo é constituído por uma mistura homogênea de cargas elétricas positivas e negativas.

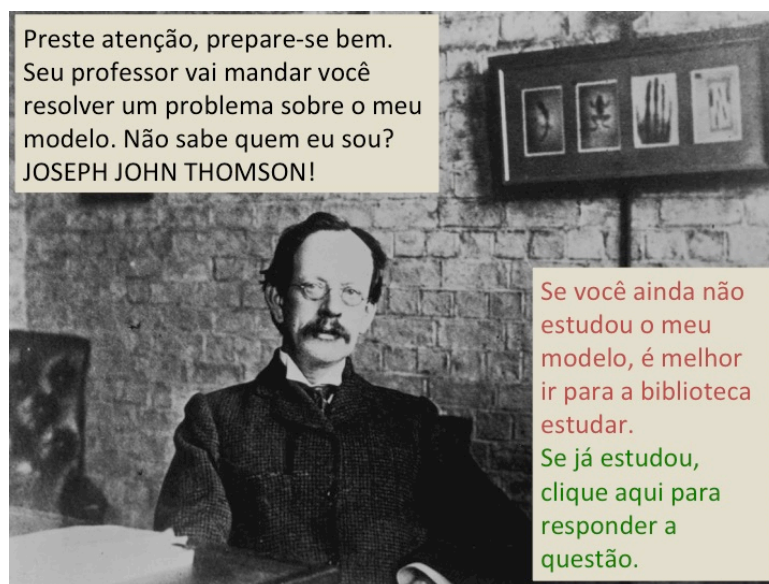


Figura 4.7 – Antes de ver o enunciado da questão, o jogador sabe qual o tema abordado, por meio de uma tela como esta.



Figura 4.8 – Quando o jogador erra, ele sabe a razão do erro e é encaminhado para o ponto da biblioteca onde encontra o hipertexto que trata o assunto da questão.

4.1.2 Versão 1.0

Na versão 1.0, cuja página de abertura é apresentada na Figura 4.9 foram criados três perfis na interface de administração: administrador, professor e aluno (Figura 4.10). Depois de credenciado pelo administrador, o professor pode criar e gerenciar mais de uma turma. Como administrador da turma, o professor pode acompanhar os alunos que estão acessando o sistema incluindo a data do último acesso. Finalmente, o programa publica um painel com todas as informações do sistema: número de alunos cadastrados, quantidade de questões, turmas e pontuações de participantes do jogo. Foram incluídas, no ambiente de aprendizagem (Figura 4.11), de simulações extraídas do portal PhET*, da Universidade do Colorado, em Boulder (EUA).

Jogo Prêmio Nobel de Eletricidade

Você está entrando na aventura que é concorrer ao PNE, Prêmio Nobel de Eletricidade. Os desafios que você vai enfrentar aqui são similares àqueles que um grande cientista enfrenta quando passa por essa etapa da sua vida. Em primeiro lugar, você terá que conhecer a fundo o assunto que lhe dará o PNE. Einstein não ganharia o Prêmio Nobel de Física em 1921, se ele não soubesse a física que ele sabia, não é mesmo?

Na vida real, ganhar o Prêmio Nobel é coisa para poucos. A pessoa precisa ter bom aproveitamento no curso de graduação, precisa fazer bons cursos de mestrado e doutorado, precisa fazer pesquisa relevante e orientar estudantes de graduação e de pós-graduação e precisa publicar os resultados da sua pesquisa. Antes de ganhar o Nobel, quase sempre o cientista ou a cientista ganha outros prêmios, concedidos por diferentes sociedades científicas e órgãos de fomento à pesquisa. Por exemplo, aqui no Brasil o Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) concede diferentes prêmios a estudantes e pesquisadores.

Nesse jogo você vai passar por situações similares àquelas que os cientistas passam na vida real. Vai enfrentar desafios para resolver questões teóricas e experimentais, vai **publicar** seus resultados, vai ser premiado pelo sucessos de suas **publicações**, eventualmente terá decepções porque foi ultrapassado por um concorrente.



Entrar no jogo

Estudar

Figura 4.9 – Página de abertura do jogo EBPNE sobre eletricidade, versão 1.0.

Uma alteração importante, do ponto de vista didático foi introduzida nesta versão 1.0 para eletricidade. Refiro-me ao fato de que a biblioteca é composta de um texto ausubeliano, com ênfase nos organizadores prévios (Figura 4.12). Esse material, disponível no Apêndice, foi impresso e distribuído para leitura em sala de aula.

* <https://phet.colorado.edu>.

4.1.2.1 Mapas conceituais

Além da importância pedagógica do uso de mapas conceituais, suportada em pesquisas empíricas (MOREIRA, 1979; NOVAK, 1990), foi observado, na aplicação do EBPn com atomística (DINIZ, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019) e nos ensaios preliminares com eletricidade, que os alunos são fortemente atraídos por esses mapas. Elaboramos os mapas seguindo um roteiro ausubeliano. Ou seja, inicialmente apresentamos um mapa geral, com conceitos e fenômenos de toda a matéria, como ilustra a Figura 4.13, e ao longo do curso e do jogo, são apresentados os mapas específicos, para: lei de Coulomb; potencial e diferença de potencial; lei de Ohm; circuitos elétricos.

4.1.2.2 Minibiografias

Apresentamos minibiografias das personalidades citadas no texto usado em sala de aula e no jogo, apenas como um elemento cultural, e não como elemento do jogo em si. Na Figura 4.14 apresentamos o painel das minibiografias, e na Figura 4.15 um exemplo de minibiografia.

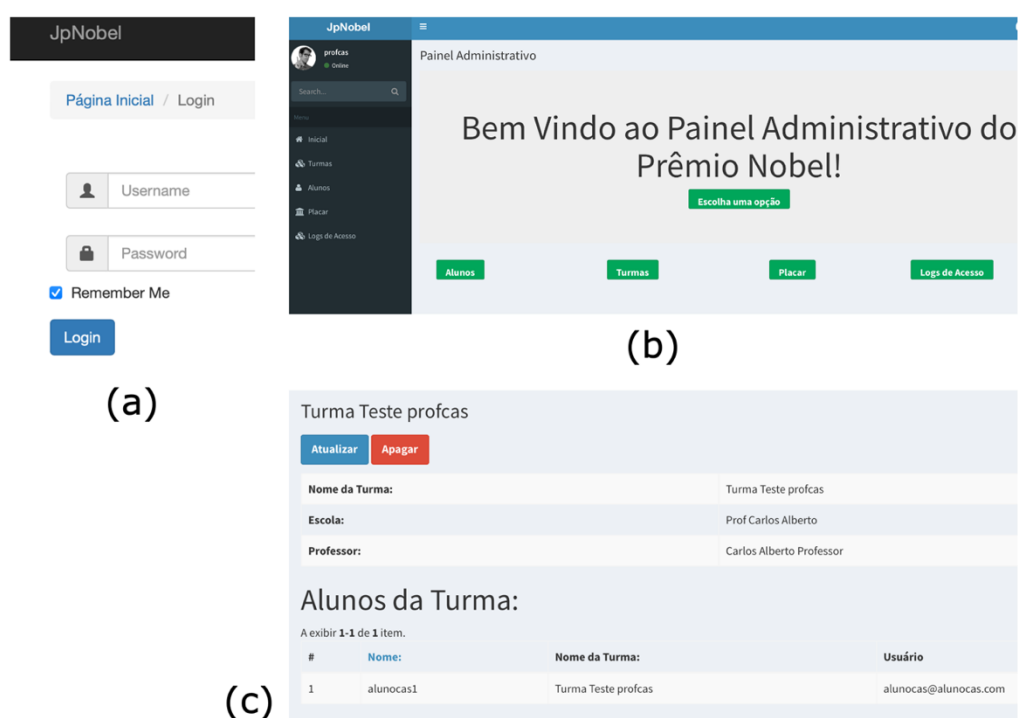


Figura 4.10 – (a) Tela para conexão; (b) Painel administrativo; (c) Informações sobre turma cadastrada.

Bem-vindo ao nosso ambiente de aprendizagem!

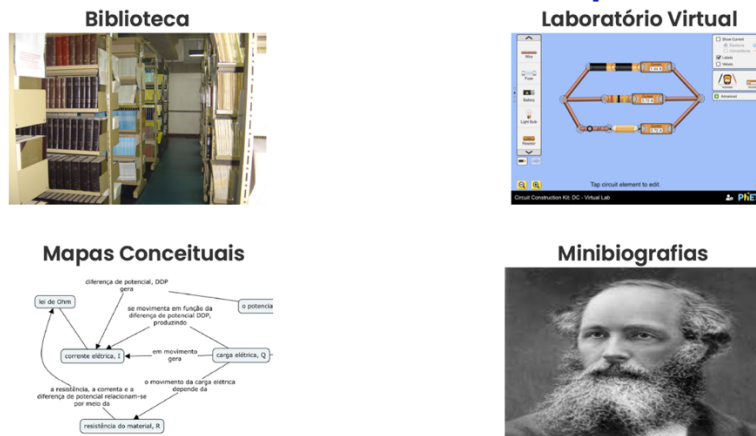


Figura 4.11 – Página de entrada no ambiente de aprendizagem.

Bem-vindo a nossa sala de estudos!

Esta é a nossa Biblioteca

Este material é parte integrante do Jogo do Prêmio Nobel de Eletricidade
Carlos Alberto dos Santos, Eliabe Massuel de Aquino, Geovani Ferreira Barbosa

Nesta biblioteca você encontrará todo o conteúdo necessário para ganhar o Prêmio Nobel. Clique no assunto que deseja estudar:

1. Organizador prévio geral
2. Organizador prévio 1: carga elétrica e campo elétrico
3. Capítulo 1: carga elétrica
4. Organizador prévio 2: potencial elétrico
5. Capítulo 2: campo, potencial, força e energia elétrica
6. Organizador prévio 3: corrente elétrica, circuitos resistivos e lei de Ohm
7. Capítulo 3: eletrodinâmica
8. Capítulo 4: circuitos elétricos



[Voltar ao menu inicial do jogo](#)

Figura 4.12 – Página de entrada na biblioteca.

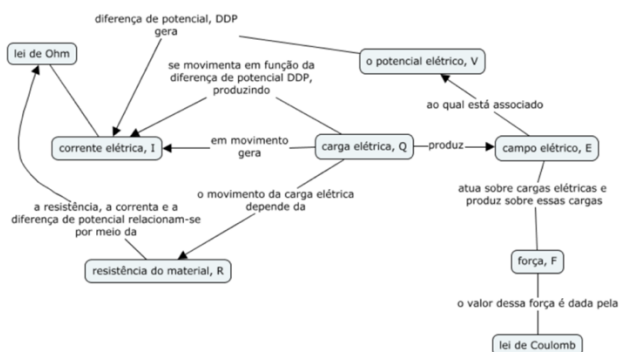


Figura 4.13 – Mapa conceitual geral sobre eletricidade.



Figura 4.14 – Painel de minibiografias.

Michael Faraday

Michael Faraday nasceu em 1791, em Newington, Inglaterra. Em 1833 assumiu o posto de professor de química na Royal Institution.

Na década de 1820 desenvolve seus estudos sobre a eletrólise, e na década seguinte elabora a lei da indução eletromagnética, também conhecida como Lei de Faraday. Esta é uma importante lei, que faz parte do conjunto de equações conhecidas como Equações de Maxwell.

É também na década de 1830 que ele desenvolve seus estudos sobre descargas elétricas em gases rarefeitos. Com um aparato experimental similar àquele usado por Faraday, Röntgen descobriu, em 1895, os raios-X.

Faleceu em Londres, no ano de 1867.

Figura 4.15 – Minibiografia de Michael Faraday.

4.2 Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel” (EBPN) – Versão cartas

Ao contrário da versão digital, que se assemelha a um tutorial com tarefas a serem vencidas individualmente pelo aluno, ou por um grupo de alunos, nesta versão para cartas o jogo é uma competição entre dois jogadores ou dois grupos de jogadores, cada um com quatro ou cinco componentes. Para facilitar a descrição, vou apresentar as regras para a competição entre grupos de quatro componentes. Os estágios mencionados aqui são os mesmos usados na versão digital: graduação, mestrado, doutorado e pesquisador em busca do Nobel. As questões na categoria Graduação referem-se exclusivamente a carga e campo elétrico. Na categoria Mestrado o assunto para as questões é potencial elétrico, enquanto na categoria Doutorado o tópico é corrente elétrica, circuitos elétricos e lei de Ohm. As questões dessas três categorias são extraídas do ENEM, com graus de dificuldade baixo ou intermediário. Na categoria Pesquisador, as questões referem-se a todos os tópicos e são selecionadas entre questões difíceis do ENEM.

As cartas do jogo contêm as questões utilizadas na versão digital, como ilustra a Figura 4.16 para o nível de graduação. Os jogadores recebem um texto com o conteúdo da matéria. Eles podem estudar individualmente, ou em atividades programadas pelo

professor, ou durante o jogo, conforme regras apresentadas a seguir. A disposição das cartas é apresentada na Figura 4.17.

G3

Uma menina começa a pentear seus longos cabelos usando um pente de plástico, quando percebe que o pente atrai pequenos pedaços de papel que se encontram sobre a mesa. Esse fenômeno acontece por que (Adaptado de Gualter et al, 2007):

- O pente é um bom condutor elétrico.
- O papel é um bom condutor elétrico.
- Os pedaços de papel já estavam eletrizados.
- O pente ficou eletrizado por atrito no cabelo.
- Entre o pente e os pedaços de papel ocorre atração gravitacional.

Figura 4.16 – Carta da questão 3 da graduação.

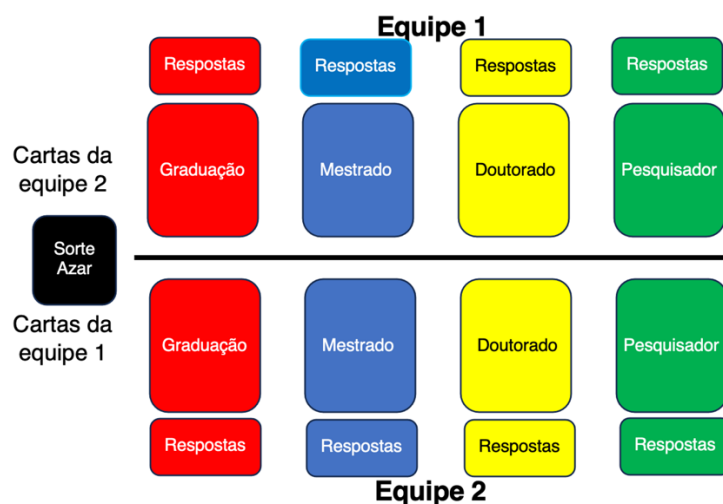


Figura 4.17 – Disposição das cartas na mesa. Abaixo das cartas de perguntas são colocadas as cartas com as respostas.

O jogo começa com o sorteio dos componentes de cada equipe para ocupar cada um dos estágios. Ou seja, um componente será sorteado para a graduação, outro para o mestrado, e assim por diante. O jogo procede assim:

1. A equipe sorteada para iniciar o jogo (suponhamos, equipe 1) retira a carta de cima do conjunto graduação da equipe 2 e entrega a carta para o adversário ler a questão. Se este acertar, a carta volta para baixo do conjunto, e o jogador da equipe 1 retira outra carta do conjunto graduação e repete o procedimento. Quando o jogador adversário erra a questão, a carta volta para o

- final do conjunto, e o jogador da equipe 2 retira a carta do conjunto da equipe 1 e prossegue como descrito acima.
2. A equipe passa de estágio quando seus componentes acertam 5 questões. Portanto, a equipe ganha o Nobel quando acerta pelo menos 20 questões.
 3. Cada vez que um jogador acerta uma questão, em qualquer estágio, ele retira uma carta do conjunto SORTE/AZAR. Se a carta tiver a palavra SORTE, ele segue jogo; se a carta tiver a palavra AZAR, o jogador perde a questão que acertou, é como se tivesse errado a questão.
 4. Cada jogador pode pedir ajuda da equipe. Se o colega que vai ajudá-lo (jogador-auxiliar) errar a questão, é como se o jogador tivesse errado, e tudo segue como descrito no item 1. Se o jogador-auxiliar acertar a questão, o jogador em ação não poderá mais solicitar ajuda.
 5. Os componentes da equipe que está questionando podem consultar o livro de conteúdo, o que é impedido para os componentes da equipe que está respondendo.

4.3 Material didático: texto ausubeliano

Como afirmamos acima, o material elaborado para esta intervenção didática, disponível digitalmente na biblioteca do jogo, foi impresso (ver Apêndice) e distribuído para leitura durante as aulas. O texto foi escrito seguindo os fundamentos da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. A partir do sumário (Figura 4.18) é possível fazer um paralelo entre a estrutura do texto e os fundamentos da teoria de Ausubel.

Sumário

Apresentação	1
Organizador Prévio 1 – Carga e Campo Elétrico	3
Capítulo 1 – Carga Elétrica	7
Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico	21
Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia	23
Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm	37
Organizador Prévio 4 - Eletrodinâmica	43
Capítulo 3 – Eletrodinâmica	51
Capítulo 4 – Circuitos Elétricos	63

Figura 4.18 – Sumário do texto ausubeliano “Eletrostática e Eletrodinâmica.

Um artigo que Ausubel publicou em 1957, com Lillian Cuxier Bobbins e Elias Blake Jr. (AUSUBEL, D. P.; ROBBINS, L. C.; BLAKE JR, E., 1957), talvez seja o primeiro no qual ele enunciou um dos fundamentos da sua teoria de aprendizagem

significativa. Pela sua relevância histórica, e pela aderência à nossa proposta de texto ausubeliano, vale a pena apresentar aqui uma tradução livre de parte deste artigo:

Materiais significativos são invariavelmente relacionados a uma estrutura cognitiva existente que é hierarquicamente organizada em termos de grupos conceituais altamente estáveis e inclusivos sob os quais são subsumidos dados ilustrativos menos estáveis e mais específicos. À medida que entram no campo cognitivo, são apropriadamente "catalogados" sob focos conceituais relevantes, uma vez que esta é a maneira mais ordenada e eficiente de organizar grandes quantidades de material para pronta disponibilidade. (...) Como é mais econômico e menos oneroso, no entanto, subsumir o máximo de material sob categorias tão inclusivas quanto possível, a importação de muitos itens ilustrativos específicos é assimilada pelo significado generalizado dos focos subsumidores mais estabelecidos e altamente conceituados.

Essa ideia genérica de subsunções (conceitos altamente estáveis e inclusivos) e subsumidos é o principal elemento de uma abordagem didática ausubeliana, e que por sua complexidade é também o mais negligenciado nas aplicações reportadas na literatura. Não é uma tarefa simples definir quais são os subsunções de determinada área de conhecimento. Para o caso de eletromagnetismo na disciplina de física básica de cursos universitários, Moreira definiu o seguinte cenário (MOREIRA, M. A., 1977):

De acordo com a teoria de Ausubel, as ideias, fenômenos e conceitos mais inclusivos e gerais devem ser apresentados no início da instrução para servir como "ancoragem" conceitual para o aprendizado subsequente. Seguindo esse princípio, as Equações de Maxwell e conceitos inclusivos como força eletromagnética e campo eletromagnético foram introduzidos, nos grupos experimentais, no início do curso, a fim de servir como base para a apresentação subsequente de fenômenos elétricos e magnéticos.

Se a ideia de Moreira parece válida para cursos universitários, ela não pode ser aplicada em cursos do ensino médio. Neste caso, entendemos que os conceitos mais inclusivos são aqueles a partir dos quais se desenvolve toda a área do conhecimento. Ou seja, em qualquer instância da área do conhecimento vemos suas presenças. É por isso que definimos carga elétrica e campo elétrico como os principais subsunções da disciplina. Portanto, o primeiro organizador prévio (OP) aborda esses dois conceitos de um modo generalizante, como prescreve Ausubel. Talvez seja interessante reproduzir aqui parte do texto desse OP:

São poucos os recursos tecnológicos contemporâneos que não fazem uso da eletricidade, que também desempenha papel importantíssimo na medicina, quer seja quanto aos fenômenos biológicos ou quanto aos equipamentos contemporâneos: raios-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética nuclear, pet scan, ultrassonografia, eletroencefalograma, eletrocardiograma, entre outros. Além disso, praticamente todas as funções e atividades dos corpos dos seres vivos de algum modo envolvem eletricidade. A ação cerebral é basicamente de natureza elétrica. Por exemplo, o neurônio (Figura 1), principal componente do nosso tecido nervoso, é uma célula especializada na recepção, interpretação e transmissão de sinais elétricos.

A título de ilustração, transcreveremos abaixo os dois primeiros parágrafos do organizador prévio 2 (OP2), sobre potencial elétrico:

Depois da carga elétrica e do campo elétrico, o conceito mais importante da eletricidade é o de potencial elétrico. É tão importante quanto conceitualmente difícil de entender. Os livros didáticos geralmente o apresentam a partir de relações matemáticas com a carga elétrica e com a energia elétrica. Talvez a falta de uma abordagem qualitativa justifique os inúmeros equívocos apresentados por alunos de todos os níveis, do ensino médio aos cursos de engenharia. Nesse texto introdutório, que denominamos de organizador prévio, vamos tratar o conceito de potencial elétrico a partir de uma abordagem qualitativa antes de introduzir sua conexão formal com a carga e a energia elétrica.

Na linguagem coloquial, o termo potencial é frequentemente usado para se referir à capacidade que uma pessoa tem para realizar algo, para atingir determinada meta. Sobre um bom aluno no colégio diz-se que tem potencial para ter sucesso na vida profissional. Podemos dizer que essa capacidade de realizar algo na linguagem cotidiana, tem a ver com a ideia da energia potencial como a capacidade de realizar trabalho.

Ao longo do texto é mostrado que o potencial é um conceito que se aplica no caso gravitacional, no caso eletromagnético, e no caso nuclear. É dito também, de modo qualitativo e genérico, que a energia potencial é uma energia de configuração, e que a energia cinética é uma energia de atividade, ou de movimento. Da mesma forma genérica, o texto faz uma referência a uma concepção equivocada muito comum entre alunos do ensino médio, e mesmo entre calouros dos cursos de engenharia, segundo a qual é necessário ter uma corrente elétrica para ter um potencial em qualquer ponto de um fio condutor. Na verdade, não é a corrente elétrica que produz o potencial, ou a diferença de potencial.

É o contrário. É a diferença de potencial que produz a corrente.

A estrutura didática segundo a teoria de Ausubel, começa com a definição dos subsunçores, geralmente explorada nos organizadores prévios. Depois, o conteúdo se desenvolve a partir do que Ausubel chama de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva se dá quando as ideias mais gerais e inclusivas são diferenciadas no contexto formal da disciplina. Em seguida a reconciliação integrativa se dá quando os conceitos mais gerais são conectados uns aos outros por meio de fórmulas e definições e ilustrados com exemplos. Todo o texto que elaboramos é permeado por esses fundamentos. Isso pode exemplificado lendo os primeiros parágrafos dos OP 3 e 4.

Primeiro parágrafo do OP3, sobre corrente elétrica, circuitos resistivos e lei de Ohm:

Nas duas unidades anteriores, você aprendeu que carga elétrica, campo elétrico e potencial elétrico são os conceitos mais importantes da eletrostática. Veremos aqui que eles são

também os mais importantes da eletrodinâmica, porque deles decorrem os fenômenos eletrodinâmicos. A corrente elétrica, que talvez seja o conceito eletrodinâmico mais presente em nossa memória é consequência do movimento de cargas elétricas. E esse movimento é provocado pela ação de campos elétricos e pela existência de diferenças de potenciais ao longo do circuito elétrico. Esse será o tema dessa terceira unidade.

Finalmente, o OP4, o último da disciplina, leva a uma abordagem de reconciliação integrativa:

No Organizador Prévio 3 você tomou conhecimento dos conceitos básicos fundamentais para o estudo da eletrodinâmica, que tem a ver com o movimento de elétrons em um circuito composto por diversos componentes, tais como fonte de tensão, ou de voltagem, resistores, capacitores, indutores, diodos, transistores e circuitos integrados. Nesta disciplina vamos tratar apenas dos circuitos simples, compostos tão somente de uma fonte de voltagem e alguns poucos resistores, mas para que você tenha uma ideia mais geral do assunto vamos apresentar neste Organizador Prévio uma abordagem qualitativa mais ampliada. Você vai notar que alguns conceitos apresentados no Organizador Prévio 3 serão retomados aqui com uma linguagem um pouco diferente. Isso é proposital, para facilitar a internalização dos conceitos mais importantes na sua memória, ou estrutura cognitiva.

4.4 Teste de Concepções Alternativas (TCA)

Os fundamentos dos testes de concepções alternativas foram apresentados na seção 3.3.1. Apresentaremos aqui o teste que elaboramos a partir de vários artigos (BAŞER, M.; GEBAN, Ö., 2007; BILAL, E.; EROL, M., 2009; CHAMBERS; ANDRE, 1997; CORUHLU; CALIK; CEPNI, 2012; DILBER; DUZGUN, 2008; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; EYLON, B. S.; GANIEL, U., 1990; HASHISH, A. H.; SEYD-DARWISH, I.; TIT, N., 2020; KÜÇÜKÖZER; KOCAKÜLAH, [s.d.]; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B., 2015; MI, S. et al., 2023; MOYNIHAN, R. et al., 2016; NE, [s.d.]; NKOPANE et al., [s.d.]; ONDERCELIKKANLI, N.; TAN, M., 2022; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; STEFANIDOU, C. G. et al., 2019).

1) Quando a humidade do ar é baixa, diz-se que o ambiente se encontra seco. Nessas circunstâncias as pessoas podem sentir pequenos choques elétricos ao tocarem objetos metálicos, com maçanetas de porta. Esse fenômeno é consequência do fato de que o corpo humano pode se comportar com um condutor, ou seja:

- a) oferece resistência nula ao movimento da quantidade líquida de carga através do corpo.
- b) permite que uma quantidade líquida de carga se desloque com facilidade através do corpo.
- c) permite que uma quantidade líquida de carga se desloque com dificuldade através do corpo.
- d) reduz o deslocamento da quantidade líquida de carga em função do aumento da diferença de potencial.
- e) alterna a capacidade de deslocamento da quantidade líquida de carga no corpo, facilitando ou dificultando o fenômeno.

2) Durante uma tempestade, um bom local para se proteger dos raios é o interior de um carro, desde que não seja conversível. A razão para essa proteção é:

- a) Isolamento elétrico dos pneus.
- b) Efeito de para-raios da antena.
- c) Blindagem pela carcaça metálica.
- d) Escoamento da água pela lataria.
- e) Aterramento pelo fio terra da bateria.

3) Por qual motivo ocorre a eletrização ilustrada na tirinha?

- a) Troca de átomos entre a calça e os pelos do gato.
- b) Diminuição do número prótons nos pelos do gato.
- c) Criação de novas partículas eletrizadas nos pelos do gato.
- d) Movimentação de elétrons entre a calça e os pelos do gato.
- e) Repulsão entre partículas elétricas da calça e dos pelos do gato.



4) Um pente plástico é atritado com papel toalha seco. A seguir ele é aproximado de pedaços de papel que são atraídos e acabam grudados ao pente. Essa movimentação dos pedaços de papel até o pente é explicada pelo fato de os papeizinhos

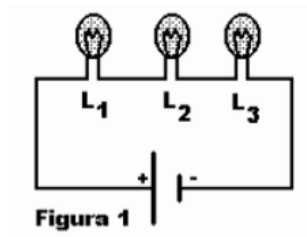
- a) Serem influenciados pela força de atrito que ficou retida no pente.
- b) Serem influenciados pela força de resistência do ar em movimento.
- c) Experimentarem um campo elétrico capaz de exercer forças elétricas.
- d) Experimentarem um campo magnético capaz de exercer forças magnéticas.
- e) Possuírem carga elétrica que permite serem atraídos ou repelidos pelo pente.

5) Enquanto fazia a limpeza em seu local de trabalho, uma pessoa se surpreendeu com o seguinte fenômeno: depois de limpar um objeto de vidro, esfregando-o vigorosamente com um pedaço de pano de lã, percebeu que o vidro atraiu para si pequenos pedaços de papel que estavam espalhados sobre a mesa. O motivo da surpresa consiste no fato de que:

- a) Quando o vidro é atritado com a lã, prótons do vidro são retirados, tornando-o negativamente eletrizado, possibilitando que atraísse os pedaços de papel.
- b) O atrito entre o vidro e a lã aqueceu o vidro e o calor produzido foi o responsável pela atração dos pedaços de papel.
- c) Ao esfregar a lã no vidro, um campo magnético é criado ao redor do vidro semelhante ao existente ao redor de um ímã.
- d) Quando esfregados um contra o outro, a lã e o vidro, tornam-se eletricamente neutros, impedindo que o vidro repelisse os pedaços de papel.
- e) O atrito entre o vidro e a lã fez um dos dois perder elétrons e o outro ganhar, eletrizando os dois, o que permitiu que o vidro atraísse os pedaços de papel.

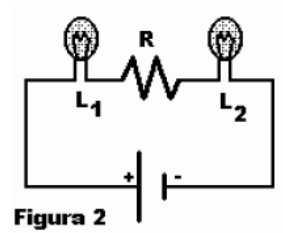
Em todas as questões a seguir admite-se que as lâmpadas sejam iguais. Os brilhos das lâmpadas crescem quando a intensidade da corrente elétrica aumenta. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

6) No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:



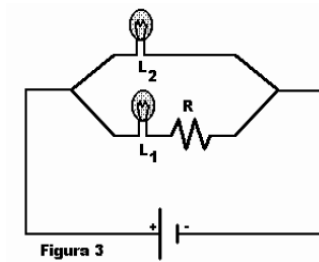
L1 brilha mais do que L2 e esta mais do que L3.
 L3 brilha mais do L2 e esta mais do que L1.
 As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

7) No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:



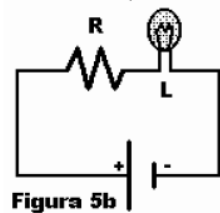
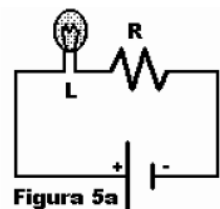
L1 e L2 têm o mesmo brilho.
 L1 brilha mais do L2.
 L2 brilha mais do L1.

8) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:



L1 tem o mesmo brilho que L2.
 L2 brilha mais do que L1
 L1 brilha mais do que L2.

9) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:



L brilha mas no circuito 5a.
 L brilha igual em ambos circuitos.
 L brilha mais no circuito 5b.

10) No circuito da figura 11:

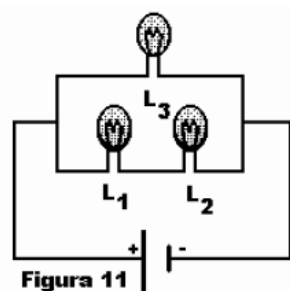


Figura 11

L1 e L2 têm o mesmo brilho que menor do que o de L3.
L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
L1, L2 e L3 brilham igualmente.

4.5 Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC)

Os fundamentos do TANC foram apresentados na seção 3.3.2. Apresentaremos aqui o teste que elaboramos.

Este teste destina-se a verificar com que grau de intensidade você relaciona ou associa certos conceitos de eletricidade. A página seguinte conterá um certo número de pares de conceitos. Ao lado de cada par existe uma escala numérica que vai de 1 a 9. Nessa escala, 1 corresponde a um alto grau de relacionamento entre os conceitos (por exemplo, temperatura e calor, massa e energia) e 9 corresponde a praticamente nenhuma relação (por exemplo, volume e quantidade de movimento). Se você achar que os conceitos de um determinado par são muito relacionados coloque um X na coluna 1 da escala. Por outro lado, se na sua opinião um conceito do par não tem nada a ver com o outro, coloque o X na coluna 9. Estas são as duas situações extremas. Os números entre 1 e 9 refletem situações intermediárias: quanto mais perto de 1 você colocar o X, maior é o relacionamento que você vê entre os conceitos, e quanto mais perto de 9, menor esse relacionamento. (Não há limite de tempo para este teste).

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lei de Ohm - Força elétrica									
Potencial elétrico - Lei de Coulomb									
Resistência elétrica - Lei de Ohm									
Corrente elétrica - Lei de Ohm									
Força elétrica - Corrente elétrica									
Lei de Ohm - Lei de Coulomb									
Resistência elétrica - Lei de Coulomb									
Corrente elétrica - Potencial elétrico									
Lei de Coulomb - Força elétrica									
Diferença de potencial - Resistência elétrica									
Diferença de potencial - Lei de Coulomb									
Campo elétrico - Resistência elétrica									
Lei de Coulomb - Corrente elétrica									
Corrente elétrica - Diferença de potencial									
Diferença de potencial - Lei de Ohm									
Força elétrica - Diferença de potencial									
Potencial elétrico - Diferença de potencial									
Potencial elétrico - Lei de Ohm									
Carga elétrica - Campo elétrico									
Potencial elétrico - Carga elétrica									
Carga elétrica - Diferença de potencial									
Lei de Coulomb - Carga elétrica									
Resistência elétrica - Potencial elétrico									
Carga elétrica - Corrente elétrica									
Lei de Ohm - Carga elétrica									

Carga elétrica - Força elétrica									
Campo elétrico – Potencial elétrico									
Diferença de potencial – Campo elétrico									
Campo elétrico - Lei de Coulomb									
Corrente elétrica – Campo elétrico									
Força elétrica – Campo elétrico									
Resistência elétrica – Força elétrica									
Campo elétrico - Lei de Ohm									
Corrente elétrica - Resistência elétrica									
Carga elétrica - Resistência elétrica									
Potencial elétrico - Força elétrica									

4.6 Programa do SPSS para análise do TANC

O *Statistical Package for the Social Sciences* (SPSS) contém vários algoritmos para realizar análise de escalonamento multidimensional (MDS*), entre os quais escolhemos o ALSCAL/INDSCAL para analisar os dados obtidos nesta dissertação (GIGUÈRE, 2006). O funcionamento do algoritmo foi apresentado na seção 3.4.

Os resultados obtidos com o TANC são colocados em uma planilha Excel, com uma aba para cada aluno, conforme ilustra a Figura 4.19.

	Q	E	V	DDP	LC	LO	I	F	R
Q	0								
E	2	0							
V	2	1	0						
DDP	8	9	9	0					
LC	1	1	1	9	0				
LO	7	9	9	1	9	0			
I	4	9	9	3	8	2	0		
F	1	2	2	9	1	9	2	0	
R	8	8	4	1	9	1	2	9	0

aluno1 aluno2 **aluno3** +

Figura 4.19 – Planilha Excel com os resultados obtidos com o TANC.

Essa planilha é o dado de entrada do sistema, acompanhada das informações sobre as características dos dados e os parâmetros operacionais, como ilustra a Figura 4.20.

É enorme a quantidade de resultados de saída, com valores de vários parâmetros dos ajustes das matrizes. O programa exibe as matrizes de cada sujeito (alunos), depois as matrizes ajustadas de cada um, a matriz média do grupo de respondentes. Os resultados

* Já foi esclarecido, e aqui será repetido: usamos a sigla MDS (*Multidimensional Scaling*), porque é assim que a técnica é mundialmente conhecida.

mais importantes serão apresentados no Capítulo 5. Apresentaremos aqui apenas alguns detalhes operacionais.

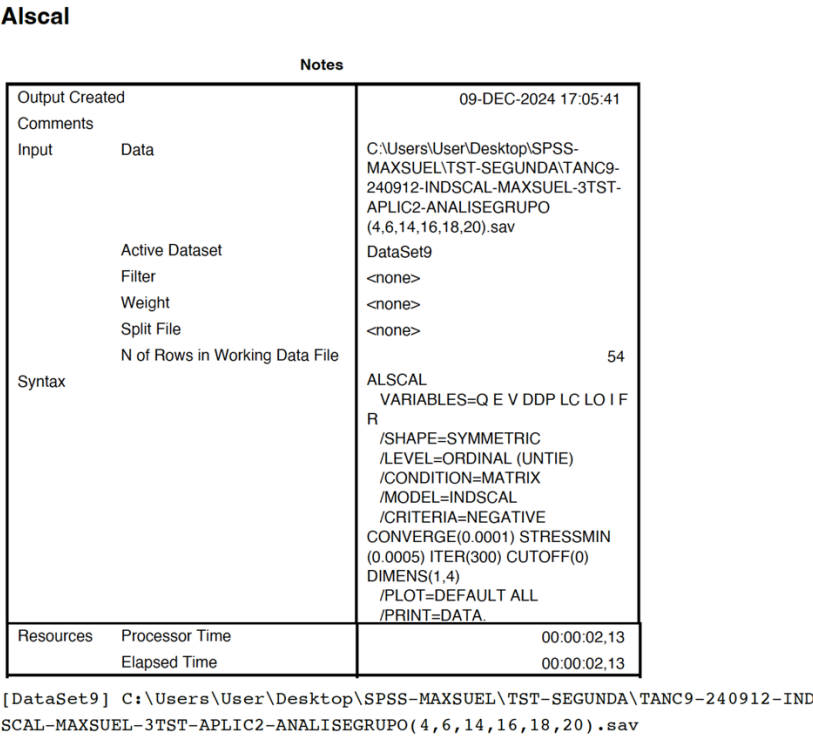


Figura 4.20 – Dados de entrada e parâmetros operacionais do ALSICAL/INDSCAL.

Depois das matrizes individuais e de todos os parâmetros dos ajustes, o programa apresenta o mapa conceitual da turma, e um mapa com os indivíduos localizados em pontos que caracterizam a importância que cada atribui a cada dimensão espacial (Figura 4.21). No nosso caso decidimos usar um espaço bidimensional, porque resultados empíricos (SUBKOVIAK, 1975) têm sugerido que a relação entre o número de pontos, N, e a dimensão espacial, r, é dada por $N=4r+1$. Portanto, para N=9, r=2.

A Figura 4.21b permite definir grupos de alunos para investigação detalhada das diferentes estruturas cognitivas. Por exemplo, o aluno6 se destaca de todos os outros. Ao atribuir os valores nas medidas de similaridade (TANC) ele dá igual importância às duas dimensões, enquanto, por exemplo, o aluno14 dá muito mais importância à dimensão 1 do que à dimensão 2. Por exemplo, será interessante investigar os alunos por grupos para ver que repercussão tem os pesos dimensionais nos mapas individuais. Em que medida o mapa conceitual do aluno6 é diferente do mapa do aluno14?

Os resultados dessa metodologia analítica serão apresentados no Capítulo 5.

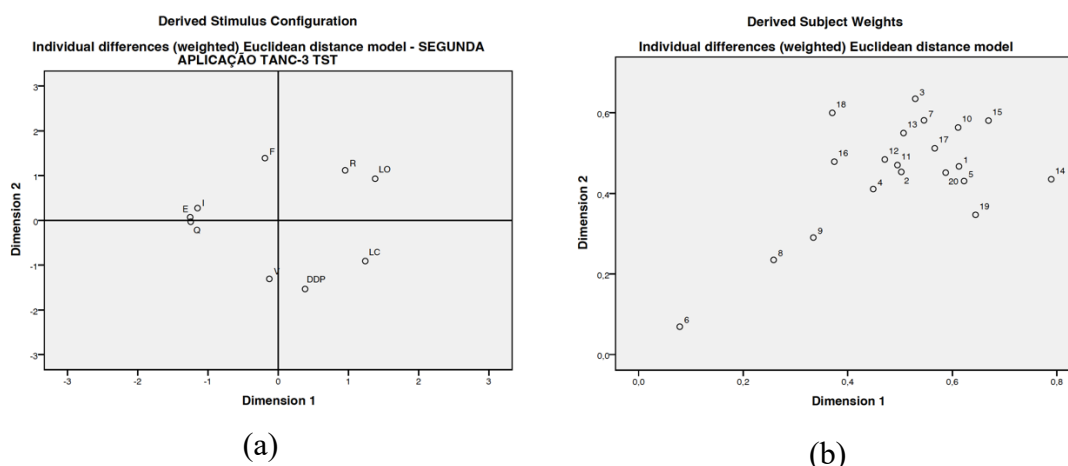


Figura 4.21 – (a) Mapa conceitual da turma; (b) Mapa dos pesos individuais.

4.7 Aplicação do produto educacional

Conforme descrição apresentada na seção 4.1, o jogo EBPB é do tipo multiplataforma e multitemático. Sua estrutura é tal que ele pode ser usado no formato digital (acessado por qualquer dispositivo eletrônico), no formato de cartas e no formato de tabuleiro. Além disso, ele pode ser usado com qualquer tema, bastando para isso a alteração no banco de questões. Além disso, ele pode ser usado com qualquer referencial pedagógico. Na presente dissertação o produto foi aplicado tendo como base a teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. Para tanto, foi elaborado um texto ausubeliano sobre eletrostática e eletrodinâmica, que foi usado durante a realização do jogo, conforme as sequências didáticas abaixo.

Sequência didática da turma TST:

Datas	Aulas	CONTEÚDO
1/3/2023	Aulas 1 e 2	Apresentação da disciplina, metodologia, visão geral do JPN, aplicação do TANC e a primeira aplicação do Teste de Concepções Alternativas
8/3/2023	Aulas 3 e 4	Leitura e discussão do Organizador Prévio Geral - Eletrostática e Eletrodinâmica e do Organizador Prévio 1 - Carga Elétrica e Campo Elétrico
15/3/2023	Aulas 5 e 6	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
22/3/2023	Aulas 7 e 8	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
29/3/2023	Aulas 9 e 10	Experimentos sobre condutividade elétrica e demonstração do gerador de Van de Graaff de acordo com o Capítulo 1.
5/4/2023	Aulas 11 e 12	Avaliação 1 do primeiro do bimestre

12/4/2023	Aulas 13 e 14	Leitura e discussão do Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico e início do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
19/4/2023	Aulas 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
3/5/2023	Aula 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
10/5/2023	Aulas 17 e 18	Avaliação 2 do primeiro do bimestre
17/5/2023	Aulas 19 e 20	Leitura e discussão do Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm
31/5/2023	Aulas 21 e 22	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
7/6/2023	Aulas 22 e 23	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica e início do capítulo 3 - Eletrodinâmica
14/6/2023	Aulas 24 e 25	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
5/7/2023	Aulas 26 e 27	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
12/7/2023	Aulas 28 e 29	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
19/7/2023	Aulas 30 e 31	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
26/7/2023	Aulas 32 e 33	Avaliação do segundo bimestre
2/8/2023	Aula 34	Segunda aplicação do Teste de Concepções Alternativas
2/8/2023	Aula 35	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
9/8/2023	Aulas 36 e 37	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
16/8/2023	Aulas 38 e 39	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
23/8/2023	Aulas 40 e 41	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
26/8/2023	Aula 42 e 43	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
30/8/2023	Aulas 44 e 45	Avaliação do terceiro bimestre
13/9/2023	Aulas 46 e 47	Apresentação do site https://eletro.jpnnobel.com.br/
20/9/2023	Aulas 48 e 49	Continuação da apresentação do site. Exemplificando alguns experimentos do laboratório virtual e explicando o funcionamento do jogo prêmio Nobel. Demonstrando o ambiente do jogador (aluno). informática para os alunos navegarem pelo site e estudarem pela biblioteca e se familiarizarem com o laboratório virtual.

27/9/2023	Aulas 50 e 51	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 1 - Experimentos sobre cargas e campos
4/10/2023	Aulas 52 e 53	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 2 - Experimentos de eletrostática com balões
11/10/2023	Aulas 54 e 55	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 2 - Laboratório 3 - Experimentos circuitos elétricos
18/10/2023	Aulas 56 e 57	Jogo em busca do prêmio Nobel
25/10/2023	Aulas 58 e 59	Jogo em busca do prêmio Nobel
1/11/2023	Aulas 60 e 61	Jogo em busca do prêmio Nobel
8/11/2023	Aulas 62 e 63	Jogo em busca do prêmio Nobel
22/11/2023	Aulas 64 e 65	Jogo em busca do prêmio Nobel
29/11/2023	Aulas 66 e 67	Aplicação do Questionário de reação do jogo e do TANC
6/12/2023	Aulas 68 e 69	Terceira aplicação do Teste de Concepções Alternativas
13/12/2023	Aulas 70 e 71	Avaliação do quarto bimestre

Sequência didática da turma NEMP:

Datas	Aulas	CONTEÚDO
6/3	Aula 1	Apresentação da disciplina, metodologia e da apostila
7/3	Aula 2	Primeira aplicação do TANC e do Teste de Concepções Alternativas
13/3	Aula 3	Leitura e discussão do Organizador Prévio Geral - Eletrostática e Eletrodinâmica;
14/3	Aula 4	Leitura e discussão do Organizador Prévio 1 - Carga Elétrica e Campo Elétrico
20, 21, 27 e 28/3	Aulas 5, 6, 7 e 8	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
3 e 4/4	Aulas 9 e 10	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
10/4	Aula 11	Experimentos sobre condutividade elétrica e demonstração do gerador de Van de Graaff de acordo com o Capítulo 1.
11/4	Aula 12	Avaliação 1 do primeiro do bimestre
18/4	Aula 13	Leitura e discussão do Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico
19, 24 e 25/4	Aulas 14, 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
2, 8, 9 e 15/5	Aulas 17,18,19 e 20	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia

16/5 23 e 29/5	Aula 21 Aulas 22 e 23	Avaliação 2 do primeiro do bimestre Leitura e discussão do Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm
30/5	Aula 24	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
5 e 6/6	Aulas 25 e 26	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
12 e 13/6	Aulas 27 e 28	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
3, 4, 10,11, 17 e 18/7 24/7	Aulas 29, 30, 32, 33 e 34 Aula 35	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
25 e 31/7	Aulas 36 e 37	Avaliação do segundo bimestre Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
1, 7, 8, 14, 15, 21 e 28 /8	Aulas 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
29/8	Aula 45	Segunda aplicação do Teste de Concepções Alternativas
4/9	Aula 46	Avaliação bimestral
5/9	Aula 47	Apresentação do Jogo do Prêmio Nobel – Versão de Cartas Divisão das equipes por meio de sorteio e leitura das regras
12/9	Aula 48	Início do Jogo do Prêmio Nobel
18/9	Aula 49	Jogo do Prêmio Nobel
19/9	Aula 50	Jogo do Prêmio Nobel
25/9	Aula 51	Jogo do Prêmio Nobel (as quatro equipes mudaram da graduação para o mestrado).
26/9	Aula 52	Jogo do Prêmio Nobel
6/10	Aula 53	Jogo do Prêmio Nobel
9/10	Aula 54	Jogo do Prêmio Nobel (duas equipes mudaram para o nível de doutorado).
10/10	Aula 55	Jogo do Prêmio Nobel (uma equipe passou para o nível de pesquisador).
16/10	Aula 55	Jogo do Prêmio Nobel (mais uma equipe passou para o nível de pesquisador).
17/10	Aula 56	Jogo do Prêmio Nobel
24/10	Aula 57	Jogo do Prêmio Nobel
30/10	Aula 58	Jogo do Prêmio Nobel (uma equipe venceu o jogo)
31/10	Aula 59	Jogo do Prêmio Nobel (última equipe a chegar no nível pesquisador).
6/11	Aula 60	Aplicação do Questionário de reação do jogo e do TANC
7/11	Aula 61	Terceira aplicação do Teste de Concepções Alternativas
27 e 28/11	Aulas 62 e 63	Revisão do conteúdo para avaliação

4 e 5/12	Aulas 64 e 64	Revisão do conteúdo para avaliação
11/12	Aula 65	Avaliação do quarto bimestre

As avaliações eram baseadas no conteúdo da apostila. E as discussões das leituras do material também envolviam exercícios como exemplos. Além das avaliações bimestrais, os alunos foram avaliados de acordo com a participação com relação à leitura em sala de aula, aos comentários feitos durante as discussões, às realizações das atividades propostas de laboratórios presentes no JPN e no desempenho no próprio jogo.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Teste de Concepções Alternativas (TCA)

Como informado no capítulo 4, o TCA foi aplicado em três oportunidades: antes de iniciar o conteúdo, entre o final do primeiro semestre e o início do segundo, e depois do uso do jogo EBPN. As questões de 1 a 5 referem-se à eletrostática, enquanto as seguintes referem-se a circuitos elétricos simples. Analisaremos essas questões separadamente, para cada aplicação, em cada turma.

5.1.1 Eletrostática

5.1.1.1 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)

As tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, mostram os resultados das três aplicações. O hífen nas alternativas das questões significa que o aluno faltou no dia da aplicação. Nessa seção analisaremos as questões 1 a 5.

Tabela 5.1 - Resultado da primeira aplicação do TCA na turma TST.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 2	E	C	E	E	E	C	C	C	B	A	5	50%
Aluno 3	E	C	C	D	C	C	B	B	A	C	3	30%
Aluno 4	D	A	A	A	C	A	B	A	A	A	1	10%
Aluno 5	B	A	E	A	B	A	B	C	A	B	1	10%
Aluno 6	D	A	C	E	A	C	B	B	B	C	3	30%
Aluno 7	D	C	C	D	E	A	A	B	B	C	5	50%
Aluno 8	B	A	D	E	E	C	A	C	C	A	6	60%
Aluno 9	C	A	D	B	D	C	B	C	B	A	4	40%
Aluno 10	D	A	D	A	C	B	B	A	C	B	1	10%
Aluno 11	E	A	D	E	C	C	B	B	A	A	4	40%
Aluno 12	E	A	D	C	E	C	C	B	B	B	6	60%
Aluno 13	E	C	D	D	E	B	C	A	C	A	4	40%
Aluno 14	D	C	A	E	C	C	A	A	C	C	3	30%
Aluno 15	A	C	A	A	E	C	A	B	B	B	6	60%
Aluno 16	E	B	C	A	C	A	C	B	B	C	2	20%
Aluno 17	E	E	A	D	D	C	A	C	C	B	2	20%
Aluno 18	B	A	D	A	C	B	A	B	C	A	5	50%
Aluno 19	B	A	D	E	A	C	B	C	B	A	5	50%
Aluno 20	A	C	A	E	A	B	B	C	A	B	1	10%
Aluno 21	D	C	B	A	A	A	A	C	B	B	3	30%
Acertos	4	8	8	1	6	11	7	8	9	8		
Índice de acertos	20,0%	40,0%	40,0%	5,0%	30,0%	55,0%	35,0%	40,0%	45,0%	40,0%		

Os resultados apresentados nessas tabelas sugerem que, entre a primeira e a terceira aplicação do TCA houve uma evolução no desempenho da turma. Porém, algo que chama a atenção é o baixo índice de acerto com relação à questão Q4, cujo enunciado é apresentado no Quadro 5.1. Na primeira aplicação (Tabela 5.1) apenas o aluno 12 respondeu corretamente, no entanto, o mesmo aluno errou nas outras duas aplicações. Na segunda aplicação (Tabela 5.2) nenhum aluno respondeu corretamente.

Esse baixo índice de acerto pode estar relacionado com as concepções alternativas dos alunos. Mesmo tendo essa questão sido discutida após as aplicações, com comentários de forma indireta e realizando um experimento para demonstrar a movimentação dos papéis, o resultado da última aplicação (Tabela 5.3) continuou apresentando o menor índice de acertos.

Tabela 5.2- Resultado da segunda aplicação do TCA na turma TST.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	B	E	C	E	A	C	A	C	A	C	3	30%
Aluno 2	B	C	E	A	E	C	B	B	B	A	7	70%
Aluno 3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 4	B	C	A	A	E	A	B	A	A	C	3	30%
Aluno 5	B	C	C	E	D	A	A	B	B	A	6	60%
Aluno 6	E	A	E	A	E	A	B	C	A	B	1	10%
Aluno 7	B	C	D	A	D	C	B	A	B	C	5	50%
Aluno 8	B	C	C	A	A	C	A	B	C	A	6	60%
Aluno 9	E	D	D	B	B	C	C	C	B	A	4	40%
Aluno 10	A	A	D	A	C	B	C	A	A	C	1	10%
Aluno 11	B	C	D	A	B	C	B	B	A	C	5	50%
Aluno 12	B	C	D	E	E	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 13	E	C	D	E	A	B	E	A	C	A	4	40%
Aluno 14	B	E	D	A	E	C	A	B	B	A	8	80%
Aluno 15	B	C	E	E	E	A	A	A	B	A	6	60%
Aluno 16	E	C	D	E	C	A	B	B	A	A	4	40%
Aluno 17	B	C	D	A	C	C	C	B	C	C	5	50%
Aluno 18	B	E	D	E	E	C	B	B	C	C	5	50%
Aluno 19	B	C	D	A	E	C	A	C	B	A	8	80%
Aluno 20	B	C	D	E	E	C	C	B	C	C	6	60%
Aluno 21	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acertos	14	13	12	0	9	12	7	10	8	10		
Índice de acertos	73,7%	68,4%	63,2%	0,0%	47,4%	63,2%	36,8%	52,6%	42,1%	52,6%		

Tabela 5.3 - Resultado da terceira aplicação do TCA na turma TST.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 2	E	C	E	E	E	C	B	B	B	A	6	60%
Aluno 3	B	B	D	E	E	C	B	B	C	C	5	50%
Aluno 4	B	C	A	A	E	C	A	C	B	C	6	60%
Aluno 5	B	C	D	C	E	C	A	C	B	C	8	80%
Aluno 6	B	A	D	B	C	C	B	C	B	C	4	40%
Aluno 7	D	C	D	E	C	C	A	B	B	C	6	60%
Aluno 8	D	C	B	C	A	C	B	A	A	A	4	40%
Aluno 9	B	C	D	A	A	C	C	C	B	A	6	60%
Aluno 10	D	C	D	E	C	C	A	B	B	B	6	60%
Aluno 11	B	C	D	A	C	C	B	A	B	A	6	60%
Aluno 12	B	C	D	D	E	C	A	B	B	C	8	80%
Aluno 13	A	C	D	A	E	C	A	B	B	A	8	80%
Aluno 14	B	C	D	A	E	C	A	B	B	C	8	80%
Aluno 15	E	C	D	E	E	C	A	B	B	A	8	80%
Aluno 16	B	D	D	E	C	C	A	B	A	C	5	50%
Aluno 17	B	C	D	C	A	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 18	A	C	D	E	E	C	A	B	A	C	6	60%
Aluno 19	D	C	D	A	E	C	A	B	B	C	7	70%
Aluno 20	B	C	D	A	E	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 21	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A	10	100%
Acertos	12	17	17	4	12	20	14	14	16	9		
Índice de acertos	60,0%	85,0%	85,0%	20,0%	60,0%	100,0%	70,0%	70,0%	80,0%	45,0%		

Analisando as respostas, podemos imaginar algumas concepções alternativas presentes na estrutura mental dos alunos.

Quadro 5.1 – Enunciado da questão 4 do TCA (Alternativa correta:c)

- 4) Um pente plástico é atritado com papel toalha seco. A seguir ele é aproximado de pedaços de papel que são atraídos e acabam grudados ao pente. Essa movimentação dos pedaços de papel até o pente é explicada pelo fato de os papeizinhos
- a) Serem influenciados pela força de atrito que ficou retida no pente.
 - b) Serem influenciados pela força de resistência do ar em movimento.
 - c) Experimentarem um campo elétrico capaz de exercer forças elétricas.
 - d) Experimentarem um campo magnético capaz de exercer forças magnéticas.
 - e) Possuírem carga elétrica que permite serem atraídos ou repelidos pelo pente.

Opção (a): Muitos estudantes podem confundir força de atrito com a força que causa a atração. Nesse caso, eles acreditam que a força de atrito permanece no pente e é a responsável pela atração dos papéis.

Opção (b): Alguns alunos podem associar a movimentação dos papéis ao ar em vez de reconhecer o papel do campo elétrico. Essa ideia pode surgir devido à familiaridade com situações do cotidiano em que o ar em movimento parece ser a causa de deslocamentos de objetos leves.

Opção (d): Embora possa haver confusão entre iniciantes a respeito de fenômenos elétricos e magnéticos, devido à proximidade dos temas no cotidiano e no contexto do eletromagnetismo, essa confusão não deveria haver no contexto das disciplinas elementares de física, uma vez que elas são geralmente abordadas separadamente. Portanto, essa opção no TCA serve como elemento de avaliação da eficiência da abordagem didática da disciplina. De fato, no pré-teste quatro alunos escolheram essa opção. Na segunda aplicação nenhum aluno a escolheu, e na terceira aplicação, o Aluno12 voltou a escolher a opção (d), que ele já havia escolhido no pré-teste. Nós não tivemos tempo de realizar entrevistas clínicas. Se tivéssemos, esse aluno seria um dos candidatos interessantes, uma vez que ele apresentou uma das melhores taxas de acerto em todos os testes. Seria muito interessante ouvir sua justificativa para a escolha dessa opção na terceira aplicação do TCA. Como há relatos similares a esse na literatura, resolvemos denominar essa concepção alternativa como *Modelo do Campo Magnético* (MCM). Estudantes de licenciatura em física em um experimento no Canadá (MÉTIOUIA, A.; TRUDELB, L., 2021), apresentaram as seguintes concepções alternativas:

O bastão carregado atua como um ímã, o que explica a atração dos pequenos pedaços de papel.

Acredito que quando você esfrega o bastão de plástico em um pedaço de tecido, as moléculas ficam agitadas e se tornam um ímã temporário. Isso tem o efeito de atrair objetos ao redor. É por isso que pequenos objetos, como pequenos pedaços de papel, são atraídos pelo bastão.

Opção (e): Essa resposta tem elementos corretos, mas pode ser parcialmente incompreendida pelos estudantes. Eles podem acreditar que os pedaços de papel já estão eletricamente carregados com uma carga fixa, sem compreender que a atração ocorre porque as cargas são redistribuídas no papel devido à influência do campo elétrico gerado pelo pente. Essa resposta faz parte do modelo mental que denominamos *Modelo da Carga Individual* (MCI). Ou seja, os objetos podem estar carregados, independente da sua vizinhança. Esse modelo provavelmente resulta da falta de compreensão da neutralidade elétrica em condições normais. Ou seja, se por alguma razão um corpo fica com excesso de carga de um sinal, outro corpo (ou o ar circundante) deverá ficar com esse mesmo excesso de carga com o sinal contrário. Vários artigos têm apontado para a existência desse modelo mental (MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B., 2015; MÉTIOUIA, A.; TRUDEL, L., 2021; MI, S. et al., 2023; MOYNIHAN, R. et al., 2016; MUTHIRAPARAMPIL, S. T., 2012; STEFANIDOU, C. G. et al., 2019).

Outro destaque que se faz necessário com relação aos dados apresentados nas tabelas acima é a evolução do aluno 21. Na primeira aplicação obteve apenas três acertos, não fez a segunda aplicação, porém na terceira aplicação ele acertou todas as questões. Um fato relevante é que esse aluno foi um dos que mais teve interesse pela leitura da apostila com os textos ausubelianos.

Apresentaremos agora uma análise da Q5, cujo enunciado é reproduzido no Quadro 5.2, tendo em conta o MCM e o MCI.

Recortes das tabelas 5.1 a 5.3 são apresentados na Figura 5.1. No pré-teste, os alunos 2, 7, 8, 12, 13 e 15 escolheram a alternativa correta (e). Os únicos alunos que mantiveram suas respostas ao longo dos três testes foram: Aluno2, Aluno10, Aluno12, Aluno15 e Aluno16. Com os dados de que dispomos, não temos condições de afirmar, mas talvez isso indique resistência à mudança conceitual (DISESSA, A. A.; SHERIN, B. L., [s.d.]; MORTIMER, E. F., 1995; POSNER et al., 1982; POSNER; GERTZOG, W. A., 1982). Três (Aluno2, Aluno12, Aluno15) persistiram com o modelo mental cientificamente aceito, e dois (alunos 10 e 16) apresentaram o modelo MCM.

Quadro 5.2 – Enunciado da questão 5 do TCA (Alternativa correta: e)

5) Enquanto fazia a limpeza em seu local de trabalho, uma pessoa se surpreendeu com o seguinte fenômeno: depois de limpar um objeto de vidro, esfregando-o vigorosamente com um pedaço de pano de lã, percebeu que o vidro atraiu para si pequenos pedaços de papel que estavam espalhados sobre a mesa. O motivo da surpresa consiste no fato de que:

- a) Quando o vidro é atritado com a lã, prótons do vidro são retirados, tornando-o negativamente eletrizado, possibilitando que atraísse os pedaços de papel.
- b) O atrito entre o vidro e a lã aqueceu o vidro e o calor produzido foi o responsável pela atração dos pedaços de papel.
- c) Ao esfregar a lã no vidro, um campo magnético é criado ao redor do vidro semelhante ao existente ao redor de um ímã.
- d) Quando esfregados um contra o outro, a lã e o vidro, tornam-se eletricamente neutros, impedindo que o vidro repelisse os pedaços de papel.
- e) O atrito entre o vidro e a lã fez um dos dois perder elétrons e o outro ganhar, eletrizando os dois, o que permitiu que o vidro atraísse os pedaços de papel.

Ao lado da resistência à mudança conceitual, há a volatilidade do modelo mental. Por exemplo, alguns alunos apresentaram três modelos diferentes ao longo dos testes. No pré-teste, Aluno5 escolheu a opção (b), completamente fora do contexto temático. No segundo teste ele escolheu a opção (d), que embora errada está no contexto. Finalmente ele escolheu a resposta correta no terceiro teste. Os resultados dos alunos 6 e 7 são curiosos. Em algum momento eles escolheram a resposta correta, mas ao final apresentaram a concepção alternativa do campo magnético. Aliás, é notável a prevalência dessa concepção. Nas três aplicações do TCA, a alternativa (c) foi a mais escolhida (15 vezes), excetuando a alternativa correta (e), que no total foi escolhida 27 vezes. Para analisar esse tipo de comportamento, o estudo deveria incluir entrevistas clínicas com todos os alunos, mas essa atividade não foi prevista, até porque o tempo disponível seria insuficiente.

	TST TCA1	TST TCA2	TST TCA3
	Q5	Q5	Q5
GABARITO	E	E	E
Aluno 1	-	A	-
Aluno 2	E	E	E
Aluno 3	C	-	E
Aluno 4	C	E	E
Aluno 5	B	D	E
Aluno 6	A	E	C
Aluno 7	E	D	C
Aluno 8	E	A	A
Aluno 9	D	B	A
Aluno 10	C	C	C
Aluno 11	C	B	C
Aluno 12	E	E	E
Aluno 13	E	A	E
Aluno 14	C	E	E
Aluno 15	E	E	E
Aluno 16	C	C	C
Aluno 17	D	C	A
Aluno 18	C	E	E
Aluno 19	A	E	E
Aluno 20	A	E	E
Aluno 21	A	-	E

Figura 5.1 – Recortes das tabelas 5.1 (TCA1), 5.2 (TCA2) e 5.3 (TCA3), referentes às respostas da questão 5 do TCA respondido pela turma TST

No geral, várias respostas apresentadas pelos alunos da turma TST apresentaram concepções alternativas relatadas na literatura (BILAL, E.; EROL, M., 2009; MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B., 2015; MÉTIOUIA, A.; TRUDEL, L., 2021; MI, S. et al., 2023; MOYNIHAN, R. et al., 2016; MUTHIRAPARAMPIL, S. T., 2012; STEFANIDOU, C.; FERENTINO, A.; TSALAPATI, K., 2020; STEFANIDOU, C. G. et al., 2019; SUMA, K.; SADIA, I. W.; PUJANI, N. M., 2018).

5.1.1.2 3ª Série do Novo Ensino Médio Potiguar (NEMP)

Os resultados da turma controle (NEMP) são apresentados nas tabelas 5.4, 5.5 e 5.6. Comparando esses resultados, fica perceptível que houve uma melhora significativa no rendimento dessa turma. Em praticamente todas as questões, a taxa de acertos cresceu da primeira para a terceira aplicação. A Q5 é a única exceção notável. Ela passou de 25%, para 68,2% e caiu para 38,1%. As respostas à Q5 estão colocadas lado a lado na Figura 5.2.

A turma NEMP também demonstrou não ter superado as concepções alternativas para responder à questão 4. Assim como fizemos na turma TST, vamos analisar essa questão na turma controle. As concepções alternativas associadas a cada opção já foram apresentadas. Como se vê, nenhum aluno da turma NEMP acertou a Q4 no pré-teste. Duas

das opções dessa questão são importantes. A opção (d) está associada a uma surpreendente concepção alternativa observada na turma TST e em uma pesquisa realizada no Canadá (MÉTIOUIA, A.; TRUDELB, L., 2021), na qual alunos apresentaram o modelo MCM, conforme discutido acima. A opção (e) faz parte do modelo mental também discutido acima, e que denominamos *Modelo da Carga Individual* (MCI).

Tabela 5.4 - Resultado da primeira aplicação do TCA na turma NEMP.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	A	A	E	B	E	C	C	B	A	C	3	30%
Aluno 2	B	A	C	E	B	C	A	C	B	C	4	40%
Aluno 3	A	B	D	A	B	C	B	A	B	B	3	30%
Aluno 4	C	A	D	E	D	A	B	A	A	C	1	10%
Aluno 5	B	A	C	D	A	C	B	A	A	C	2	20%
Aluno 6	E	C	D	D	C	C	B	B	A	C	4	40%
Aluno 7	D	B	A	B	B	B	B	C	B	A	2	20%
Aluno 8	B	E	D	E	E	A	B	A	C	C	3	30%
Aluno 9	A	A	A	A	C	C	B	B	A	A	3	30%
Aluno 10	A	B	D	E	C	A	B	A	B	B	2	20%
Aluno 11	B	A	D	D	C	C	A	C	C	A	5	50%
Aluno 12	B	E	D	D	E	C	B	C	A	B	4	40%
Aluno 13	D	A	C	A	E	A	B	A	C	C	1	10%
Aluno 14	C	A	C	D	C	A	A	B	A	A	3	30%
Aluno 15	D	B	A	E	E	A	B	C	B	A	3	30%
Aluno 16	D	B	E	A	A	C	B	B	A	A	3	30%
Aluno 17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 19	B	C	C	A	B	A	B	A	A	C	2	20%
Aluno 20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 21	B	A	C	A	B	A	B	A	A	B	1	10%
Aluno 22	B	A	C	D	C	C	C	C	C	A	3	30%
Aluno 23	B	A	C	E	B	A	B	A	B	A	3	30%
Acertos	9	2	7	0	5	10	3	5	6	8		
Índice de acertos	45,0%	10,0%	35,0%	0,0%	25,0%	50,0%	15,0%	25,0%	30,0%	40,0%		

Na segunda aplicação, apenas o Aluno4 acertou a Q4, enquanto na terceira aplicação apenas o Aluno22 acertou. Curiosamente, o Aluno4 errou a questão na terceira aplicação. Uma questão em aberto, que talvez fosse resolvida com uma entrevista clínica, seria saber do Aluno4 a razão pela qual ele mudou da opção (c), na segunda aplicação, para a opção (e) na terceira aplicação. Do ponto de vista cognitivo há uma explicação plausível, mas seria interessante ouvi-la do aluno. É sutil a diferença entre as alternativas (c) e (e). O efeito do campo elétrico vem da existência de cargas elétricas, que está implícita na opção (c), mas não necessariamente excesso de carga elétrica no pente e nos pedaços de papel. No caso da opção (e), está implícito a existência de um excesso de carga elétrica no pente e nos pedaços de papel.

Tabela 5.5- Resultado da segunda aplicação do TCA na turma NEMP.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 2	B	A	D	A	D	B	C	A	C	B	2	20%
Aluno 3	A	E	E	A	E	B	A	C	B	C	3	30%
Aluno 4	B	A	B	C	E	A	A	C	C	A	5	50%
Aluno 5	A	C	B	A	E	A	B	A	A	C	2	20%
Aluno 6	B	B	D	E	E	C	B	A	A	C	4	40%
Aluno 7	A	D	C	B	C	B	A	B	C	B	2	20%
Aluno 8	B	A	A	D	E	C	B	A	A	C	3	30%
Aluno 9	A	A	A	E	B	B	B	A	C	C	0	0%
Aluno 10	D	B	D	E	E	B	A	C	A	B	3	30%
Aluno 11	E	A	E	A	C	A	C	B	C	A	2	20%
Aluno 12	D	A	B	E	E	C	B	B	A	C	3	30%
Aluno 13	B	A	D	A	E	C	B	A	A	C	4	40%
Aluno 14	B	A	D	A	E	A	B	A	A	C	3	30%
Aluno 15	E	A	E	B	A	C	C	A	C	C	1	10%
Aluno 16	B	A	D	D	E	C	B	D	A	B	4	40%
Aluno 17	B	C	D	D	E	C	B	A	B	A	6	60%
Aluno 18	A	A	D	E	A	C	A	A	B	C	4	40%
Aluno 19	B	B	D	B	E	B	B	B	C	B	4	40%
Aluno 20	D	C	A	A	E	C	A	C	C	C	4	40%
Aluno 21	C	A	D	A	C	A	B	B	A	A	3	30%
Aluno 22	B	A	C	E	E	C	B	A	A	C	3	30%
Aluno 23	B	A	D	A	E	C	A	C	B	B	6	60%
Acertos	11	3	11	1	15	11	7	5	4	4		
Índice de acertos	50,0%	13,6%	50,0%	4,5%	68,2%	50,0%	31,8%	22,7%	18,2%	18,2%		

Tabela 5.6 - Resultado da terceira aplicação do TCA na turma NEMP.

	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10	Total de acertos	Índice de acertos
GABARITO	B	C	D	C	E	C	A	B	B	A		
Aluno 1	B	E	A	A	D	C	A	C	B	A	5	50%
Aluno 2	B	C	D	E	A	B	A	B	B	A	7	70%
Aluno 3	B	C	D	A	E	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 4	B	C	D	E	A	C	A	B	B	C	7	70%
Aluno 5	A	E	D	A	C	C	A	A	B	C	4	40%
Aluno 6	B	C	D	E	C	C	C	B	C	C	5	50%
Aluno 7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 8	B	C	D	A	A	C	A	B	B	A	8	80%
Aluno 9	A	A	A	E	A	B	A	A	A	A	2	20%
Aluno 10	D	A	D	E	B	C	A	B	B	A	6	60%
Aluno 11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Aluno 12	B	C	B	E	E	C	A	B	B	C	7	70%
Aluno 13	D	A	E	A	B	C	A	B	B	C	4	40%
Aluno 14	B	C	D	A	E	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 15	A	A	A	E	E	C	A	B	B	C	5	50%
Aluno 16	B	C	A	A	E	C	A	B	B	A	8	80%
Aluno 17	B	C	D	D	E	C	B	C	B	A	7	70%
Aluno 18	A	C	C	D	C	C	A	B	B	A	6	60%
Aluno 19	B	C	D	A	C	C	A	C	C	B	5	50%
Aluno 20	B	C	E	A	C	C	A	B	C	C	5	50%
Aluno 21	B	C	C	A	C	C	A	B	B	A	7	70%
Aluno 22	B	C	A	C	E	C	A	B	B	A	9	90%
Aluno 23	B	C	D	A	E	C	A	B	B	A	9	90%
Acertos	15	15	11	1	8	19	19	16	17	13		
Índice de acertos	71,4%	71,4%	52,4%	4,8%	38,1%	90,5%	90,5%	76,2%	81,0%	61,9%		

Vejamos agora a Q5 (Figura 5.2). No pré-teste, cinco alunos escolheram a alternativa correta (e). O Aluno12 foi o único a manter sua resposta nos três testes. Um resultado notável é novamente a prevalência pela escolha da alternativa (c). Neste caso, somando as três aplicações do teste, foram 15 respostas com essa alternativa, o mesmo

número resultante das aplicações na turma TST. Valem aqui os comentários feitos a esse respeito na seção anterior.

	NEMP TCA1	NEMP TCA2	NEMP TCA3
	Q5	Q5	Q5
GABARITO	E	E	E
Aluno 1	E	-	D
Aluno 2	B	D	A
Aluno 3	B	E	E
Aluno 4	D	E	A
Aluno 5	A	E	C
Aluno 6	C	E	C
Aluno 7	B	C	-
Aluno 8	E	E	A
Aluno 9	C	B	A
Aluno 10	C	E	B
Aluno 11	C	C	-
Aluno 12	E	E	E
Aluno 13	E	E	B
Aluno 14	C	E	E
Aluno 15	E	A	E
Aluno 16	A	E	E
Aluno 17	-	E	E
Aluno 18	-	E	E
Aluno 19	-	A	C
Aluno 20	B	E	C
Aluno 21	-	E	C
Aluno 22	B	C	C
Aluno 23	C	E	E
Aluno 24	B	E	E
Acertos	5	15	8
Índice de acertos	25,0%	68,2%	38,1%

Figura 5.2 – Recortes das tabelas 5.4 (TCA1), 5.5 (TCA2) e 5.6 (TCA3), referentes às respostas da questão 5 do TCA aplicado na turma NEMP

5.1.2 Circuitos elétricos simples

5.1.2.1 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)

As tabelas 5.7, 5.8 e 5.9 apresentam recortes das tabelas 5.1, 5.2 e 5.3, referentes às respostas ao TCA sobre circuitos elétricos, dadas pela turma TST nas três aplicações do teste.

As questões 6 e 7 testam o modelo I, no qual os alunos têm a concepção de que a corrente vai se “desgastar” ou ser “consumida” ao passar por um elemento do circuito. Assim, eles escolhem uma das alternativas em que uma lâmpada irá brilhar mais do que a outra. Na primeira aplicação (Tabela 5.7), 45% dos alunos da turma TST escolheram as alternativas (a) e (b) na questão 6. Ou seja, 55% dos alunos acertaram a questão. Já na questão 7, apenas 35% responderam corretamente. Na segunda aplicação (Tabela 5.8), 63% dos alunos acertaram a questão 6, enquanto apenas 37% acertaram a questão 7. Na terceira aplicação (Tabela 5.9), todos os alunos acertaram a questão 6, enquanto 30% continuaram errando a questão 7. É interessante analisar essas questões (Figuras 5.3 e 5.4), para entender a razão desses resultados.

Tabela 5.7 – Resultado da primeira aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	5 25%	7* 35%	4 20%	5 25%	8* 40%
	b	4 20%	9 45%	8* 40%	9* 45%	7 35%
	c	11* 55%	4 20%	8 40%	6 30%	5 25%
	Total	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%

Tabela 5.8 – Resultado da segunda aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	5 26%	7* 37%	5 26%	6 32%	10* 53%
	b	2 11%	7 37%	10* 53%	8* 42%	1 5%
	c	12* 63%	5 26%	4 21%	5 26%	8 42%
	Total	19 100%	19 100%	19 100%	19 100%	19 100%

Tabela 5.9 – Resultado da terceira aplicação do TCA na turma TST. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	0	14* 70%	2 10%	3 15%	9* 45%
	b	0	5 25%	14* 70%	16* 80%	1 5%
	c	20* 100%	1 5%	4 20%	1 5%	10 50%
	Total	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%

6) No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

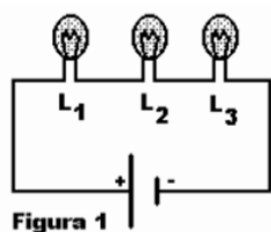


Figura 1

- a) L1 brilha mais do que L2 e esta mais do que L3.
- b) L3 brilha mais do que L2 e esta mais do que L1.
- c) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.

Figura 5.3 - Questão 6 do TCA.

7) No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:

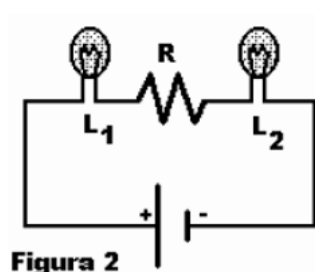


Figura 2

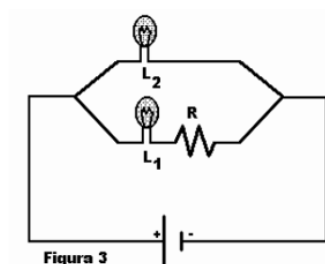
- a) L1 e L2 têm o mesmo brilho.
- b) L1 brilha mais do que L2.
- c) L2 brilha mais do que L1.

Figura 5.4 - Questão 7 do TCA.

Essencialmente, a diferença entre essas questões é que na primeira temos três lâmpadas em série, e na segunda temos uma resistência entre duas lâmpadas, todas em série. Ou seja, ao final da terceira aplicação, 25% dos alunos da turma TST ainda acreditam que a resistência “consome” corrente elétrica. A esses 25%, junta-se o aluno que escolheu a opção (c), totalizando 30% da turma, que faz distinção entre lâmpada resistiva e resistência.

A questão 8 (Figura 5.5) investiga o modelo I e o raciocínio sequencial do aluno. De acordo com Andrade et al. (2018) esse tipo de raciocínio leva o indivíduo a analisar um circuito em termos do “antes” e do “depois”, acreditando que a corrente no circuito é influenciada por um elemento apenas quando ela o atinge. Na primeira aplicação do TCA (Tabela 5.7), 40% dos estudantes do TST essa questão. Na segunda aplicação (Tabela 5.8), 53% acertaram, e na terceira aplicação (Tabela 5.9), 70% tiveram êxito na resposta. A pergunta é: por que 30% da turma continua errando essa questão?

8) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:



a) L1 tem o mesmo brilho que L2.

b) L2 brilha mais do que L1

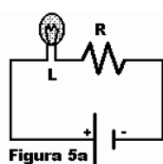
c) L1 brilha mais do que L2.

Figura 5.5 - Questão 8 do TCA.

Na terceira aplicação, dois dos alunos escolheram a opção (a), e quatro escolheram a (c). Esses dois alunos devem trabalhar com o modelo sequencial. Ou seja, como a resistência está depois de L1, ela não deve afetar a luminosidade das lâmpadas. Não conhecemos da literatura um modelo mental associado à opção (c). Para isso, os alunos deveriam ser entrevistados para explicar as razões de suas escolhas.

O objetivo da questão 9 (figura 5.6) é o mesmo da questão 8. Os 55% dos alunos que erraram essa questão na terceira aplicação do TCA, têm a mesma concepção alternativa do “consumo”, mas, provavelmente, têm concepções diferentes quando ao sentido de circulação da corrente. Os alunos que escolheram a alternativa (a) têm a concepção de que a corrente circula do polo positivo para o negativo, passando primeiro pela lâmpada e depois sendo “consumida” pelo resistor e que a ordem dos elementos no circuito e o sentido da corrente elétrica são relevantes, de modo similar pensam os que marcaram o item (c), ou seja, L brilha mais no circuito 5b, porque a corrente circula do polo negativo para o positivo, sendo “consumida” pela resistência no circuito 5a.

9) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:



a) L brilha mais no circuito 5a.

b) L brilha igual em ambos os circuitos.

c) L brilha mais no circuito 5b.

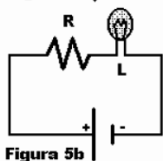
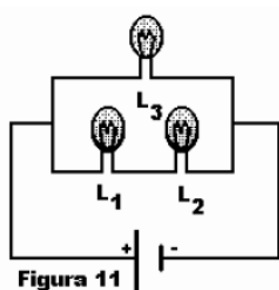


Figura 5.6 - Questão 9 do pré-teste

Na primeira aplicação do TCA, 55% dos alunos erraram a questão. Esse é o grupo que apresenta o modelo do consumo de corrente. Na segunda aplicação, 58% erraram, e na terceira, 20% (quatro alunos) continuaram errando. Três desses alunos escolheu a opção (a), enquanto o outro escolheu a opção (c). Provavelmente esse último imagina que a corrente circula do polo negativo para o positivo.

De acordo com as tabelas 5.7, 5.8 e 5.9, a última questão (Figura 5.7), apresentou notável instabilidade na evolução do percentual de acertos ao longo das três aplicações. Na primeira aplicação (Tabela 5.7) a turma TST obteve 40% de acertos. Na segunda aplicação (Tabela 5.8) esse número cresceu para 53%, e caiu para 45% na terceira aplicação.

10) No circuito da figura 11:



- a) L1 e L2 têm o mesmo brilho que menor do que o de L3.
- b) L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
- c) L1, L2 e L3 brilham igualmente.

Figura 5.7 - Questão 10 do pré-teste

Acreditamos que haja uma série de equívocos nessa questão. Vejamos as respostas na terceira aplicação do teste. Nove alunos acertaram a questão. Um aluno escolheu a opção (b), e dez escolheram a opção (c). Em primeiro lugar, provavelmente os dez alunos que escolheram a opção (c) não sabem a diferença entre associação de resistores, em série e em paralelo. O aluno que escolheu a opção (b) provavelmente tem modelo mental do consumo de corrente, associado com o desconhecimento da diferença entre associação em série e em paralelo.

5.1.2.2 3ª Série do Novo Ensino Médio Potiguar (NEMP)

Os resultados dessa turma estão apresentados nas tabelas 5.10, 5.11 e 5.12. Comparando com as tabelas 5.7, 5.8 e 5.9, observa-se que em termos do número de acertos referentes a circuitos elétricos, a turma TST foi melhor do que a turma NEMP, nas duas primeiras aplicações do TCA, mas na terceira aplicação os rendimentos da turma NEMP foram superiores aos da turma TST.

Tabela 5.10 – Resultado da primeira aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	9 45%	3* 15%	9 45%	10 50%	8* 40%
	b	1 5%	2 10%	5* 25%	6* 30%	4 20%
	c	10 50%*	15 75%	6 30%	4 20%	8 40%
	Total	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%	20 100%

Tabela 5.11 – Resultado da segunda aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	5 23%	7* 32%	11 50%	10 46%	4* 18%
	b	6 27 %	12 54%	5* 23%	4* 18%	6 27 %
	c	11* 50%	3 14%	6 27 %	8 36%	12 54%
	Total	22 100%	22 100%	22 100%	22 100%	22 100%

Tabela 5.12 – Resultado da terceira aplicação do TCA na turma NEMP. Questões sobre circuitos elétricos. A alternativa correta está assinalada com um asterisco (*).

	Alternativas	Questões				
		6	7	8	9	10
Quantidade respostas por alternativas	a	0 0	19* 90%	2 10%	1 5%	13* 62%
	b	2 10%	1 5%	16* 76%	17* 81%	1 5%
	c	19* 90%	1 5%	3 14%	3 14%	7 33%
	Total	21 100%	21 100%	21 100%	21 100%	21 100%

Existem duas possíveis explicações para essa inflexão. Uma explicação pode ser devido ao comportamento da turma NEMP; a outra explicação pode ser devido à metodologia. Os alunos da NEMP eram claramente mais dedicados do que a turma TST. Esses alunos NEMP leram a apostila mais de uma vez, fora da sala de aula. Pode ser que ao longo das aplicações eles internalizaram os conceitos mais significativamente do que os

alunos TST. Quanto à metodologia, a turma TST usou o jogo na versão digital, enquanto a turma NEMP usou na versão cartas. E sempre durante o jogo eles consultavam a apostila. Pode ser que o jogo na versão cartas seja mais eficiente do que na versão digital. Essas questões poderão nortear estudos futuros em experimentos bem controlados, uma vez que nesta dissertação a ideia era fazer um estudo exploratório, sem controle experimental rígido.

5.2 Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC)

Como consta no capítulo 3, os algoritmos de MDS podem gerar uma quantidade enorme de dados. Nas abordagens em grupo, os algoritmos geram um mapa conceitual médio e um mapa com os pesos que cada indivíduo atribui a cada dimensão dos seus critérios para atribuição das medidas de similaridade. Nas abordagens individuais, os algoritmos geram mapas para cada indivíduo respondente. Isso significa que uma análise detalhada desses resultados demanda muito tempo. Faremos aqui uma análise dos aspectos que consideramos os mais relevantes. Uma análise completa deverá ser publicada posteriormente.

Os conceitos utilizados no estudo foram: carga elétrica, campo elétrico, força elétrica, potencial elétrico, corrente elétrica, resistência elétrica, diferença de potencial, lei de Coulomb e lei de Ohm.

5.2.1 3ª Série TST (Técnico em Segurança do Trabalho)

Na aplicação do TANC na turma TST, anterior à aplicação da sequência didática, o algoritmo INDSCAL forneceu o mapa conceitual da turma apresentado na Figura 5.8. Os pesos que cada indivíduo atribui a cada dimensão estão na Figura 5.9. A Figura 5.8 não nos permite atribuir às dimensões 1 e 2 alguma característica conceitual. Em algum momento imaginamos que essas dimensões poderiam estar relacionadas à eletrostática, à eletrodinâmica, às propriedades individuais (carga, campo, potencial) e às propriedades coletivas (corrente elétrica, diferença de potencial, lei de Ohm). Mas a hipótese não se sustentou. O que os dados mostram é que alguns alunos discriminam bem os conceitos de eletrostática e de eletrodinâmica, de modo a exibirem espaços conceituais bem distintos. Outros colocam esses conceitos superpostos. Acreditamos que dada a dispersão das medidas do TANC, para o conjunto da turma, o algoritmo não consegue discriminar os conceitos de modo que possamos fazer uma atribuição precisa de cada dimensão. Depois

de uma detalhada observação de vários resultados, resolvemos fazer uma análise que denominamos de topográfica. Neste cenário, separamos os conceitos em objetos topográficos que façam sentido no contexto da disciplina.

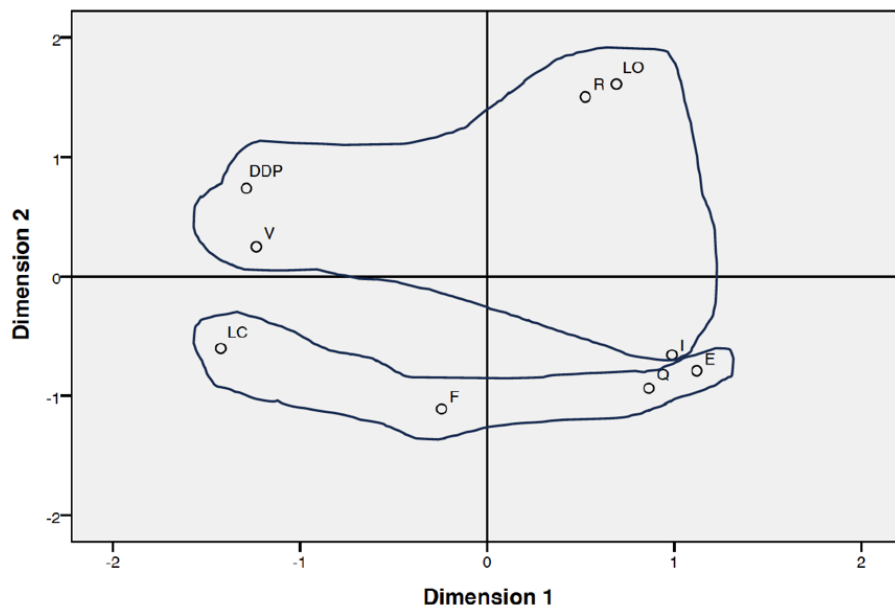


Figura 5.8 – Mapa conceitual da turma TST. Primeira aplicação do TANC.

Embora os conceitos na Figura 5.8 estejam distribuídos em um formato circular, típico de resultados obtidos com matrizes aleatórias, eles podem ser separados em dois espaços: um com conceitos de eletrostática, e outro com conceitos de eletrodinâmica. Ou seja, em dois espaços topológicos distintos.

Apesar da baixa discriminação do algoritmo para caracterização de cada dimensão, o mapa dos pesos individuais (Figura 5.9) nos permite distinguir respondentes em função da posição no mapa dos pesos individuais. Por exemplo, os mapas dos indivíduos indicados com setas na Figura 5.9 podem ser examinados com o objetivo de verificar quais as diferenças em seus mapas conceituais, em função de suas posições no mapa da Figura 5.9. Por exemplo, os alunos 12 e 19 têm mapas conceituais similares? Os alunos 14 e 16 estão relativamente próximos na dim1 e muito afastados na dim2. Qual é a repercussão disso em seus mapas conceituais? Avaliação similar pode ser feita em relação aos alunos 10 e 16, que estão muito afastados na dim1 e muito próximos na dim2. Faremos esse tipo de análise com os resultados obtidos na aplicação após o curso.

Vejamos que informações podemos extrair do mapa da turma (Figura 5.8), tendo em mente o seguinte: os alunos usam dois critérios básicos para associar os conceitos. No

primeiro critério, que denominamos científico, a medida de similaridade depende da relação que os conceitos têm no contexto da disciplina. No segundo critério, que denominamos semântico, a similaridade é atribuída conforme o significado semântico que os respondentes atribuem aos conceitos. A Figura 5.8 sugere que o critério semântico foi preponderante. As proximidades entre campo elétrico, carga elétrica e corrente elétrica aparentemente são semânticas. Assim como potencial e diferença de potencial. Por outro lado, a grande separação entre lei de Ohm, potencial e corrente elétrica resulta do desconhecimento dessa lei. Tudo isso faz sentido, uma vez que ao responder o TANC na primeira aplicação os alunos ainda não tinham iniciado a disciplina.

Os resultados obtidos com a aplicação do TANC após sequência didática estão apresentados nas figuras 5.10 e 5.11. Aparentemente, os alunos da turma TST continuam usando prioritariamente critérios semânticos para associar conceitos de eletricidade, mesmo após a sequência didática, na qual eles leram o texto ausubeliano e jogaram o EBPN na versão digital. Os espaços conceituais da eletrostática e da eletrodinâmica se superpõem. Eles até poderiam se superpor, desde que houvesse alguma lógica científica. No caso da Figura 5.10, não há lógica, por exemplo, na separação dos conceitos ligados à lei de Ohm (R , V , I). Assim como não lógica na separação dos conceitos ligados à lei de Coulomb (F , Q , E).

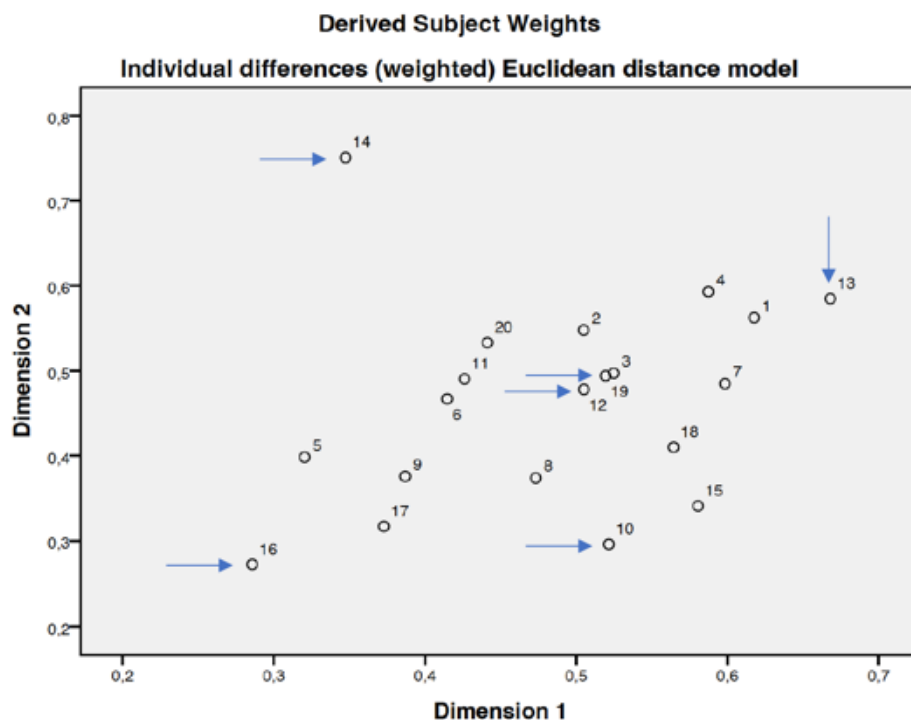


Figura 5.9 – Pesos individuais da turma TST. Primeira aplicação do TANC.

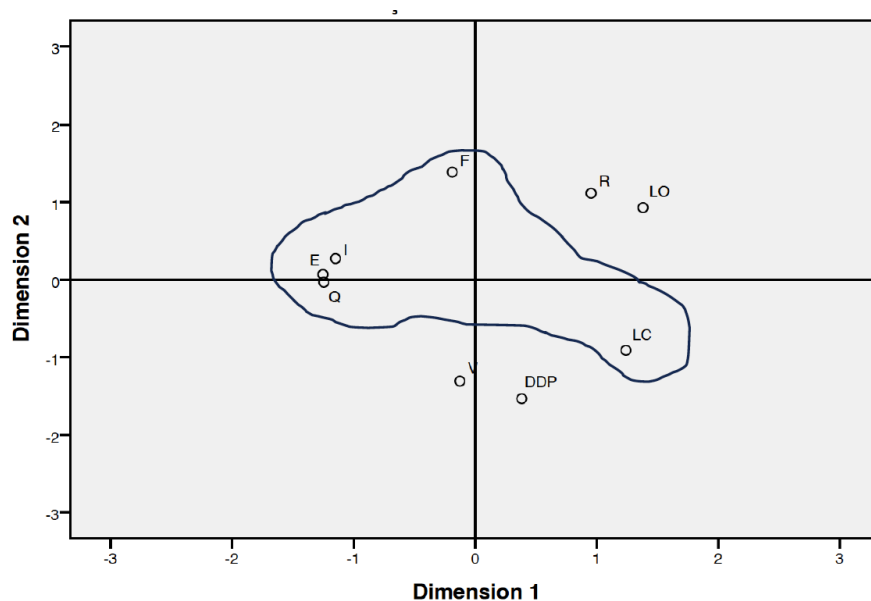


Figura 5.10 – Mapa conceitual da turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.

Da Figura 5.11 consideramos interessante analisar os mapas dos alunos 6 (porque está isolado do resto da turma); 4 e 14 (porque são similares na dim2 e diferentes na dim1); 16 e 18 (porque são similares na dim1 e diferentes na dim2).

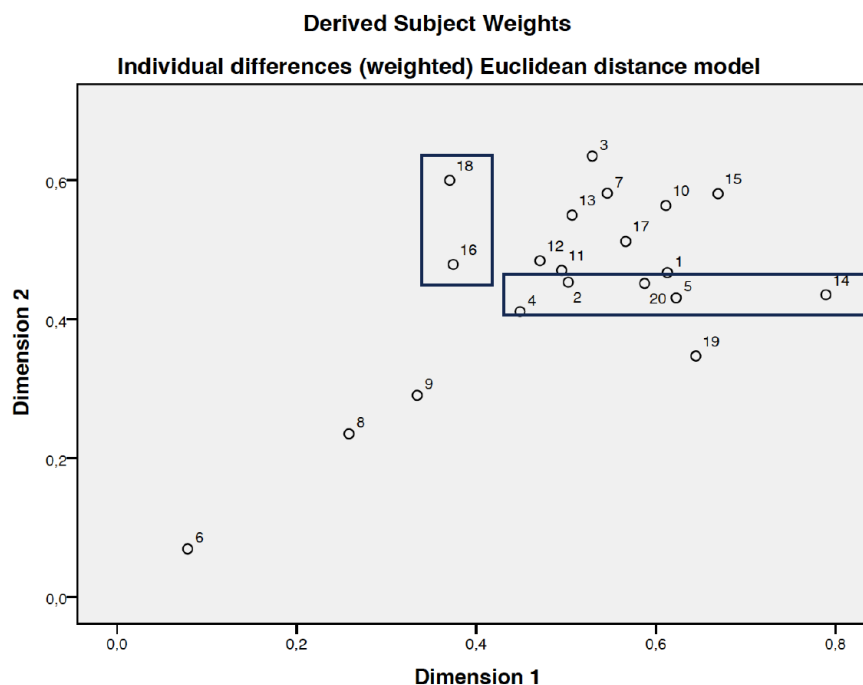


Figura 5.11 – Pesos individuais da turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.

O mapa do Aluno6 é apresentado na Figura 5.12. Os espaços eletrostático e eletrodinâmico estão definidos, com uma sutileza. A carga elétrica está afastada de ambos. É provável que para esse aluno, a carga elétrica é parte importante nas duas áreas da eletricidade, como de fato é.

O mapa seria perfeito se Q estivesse entre os dois espaços. Em um trabalho futuro, deveremos desenvolver uma metodologia para saber se a colocação de Q afastada dos dois espaços vem das medidas de similaridade, ou é um artefato do algoritmo. Neste momento não temos como responder a essa questão.

A figura 5.13 exibe os mapas dos alunos 16 e 18, que se diferenciam pelos pesos na dim2. De acordo com a Figura 5.11, o Aluno18 dá mais importância à dim2 do que o Aluno16. Esses mapas sugerem que a dim2 tem a ver com o critério semântico, enquanto a dim1 está relacionada com critérios científicos. Por exemplo, o Aluno16 distingue bem a lei de Coulomb e a lei de Ohm, ao passo que o Aluno18 não consegue organizar os conceitos em torno dessas leis.

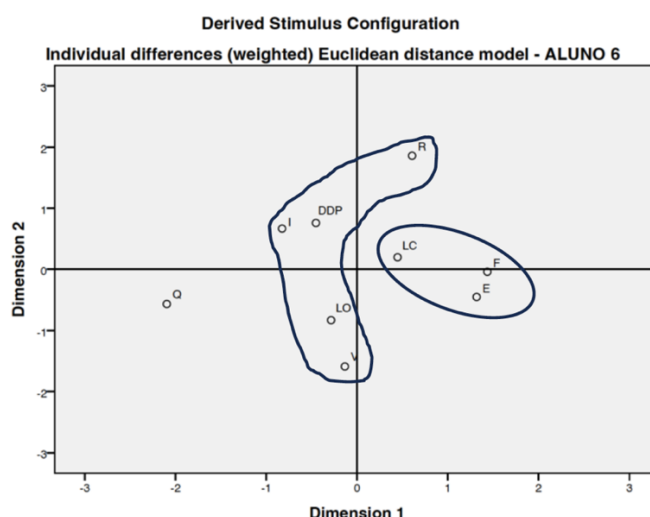


Figura 5.12 – Mapa do Aluno6, turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.

Os mapas dos alunos 4 e 14, os quais se diferenciam pelos pesos na dim1 estão na Figura 5.14. De fato, o Aluno4 também agrupa os conceitos em torno das leis de Coulomb e de Ohm, enquanto o Aluno14, aparentemente agrupa os conceitos de acordo com critérios semânticos.

Desses cinco alunos da TST, o único que não superpõe os espaços eletrostático e eletrodinâmico é o Aluno6, justamente aquele que na Figura 5.11 está bem deslocado em relação aos outros. A partir desses resultados tivemos a curiosidade de observar se os mapas dos alunos 8 e 9 são similares ao do Aluno6. Não são. Esses alunos apresentam

mapas similares ao resto da turma, com a superposição dos espaços eletrostático e eletrodinâmico.

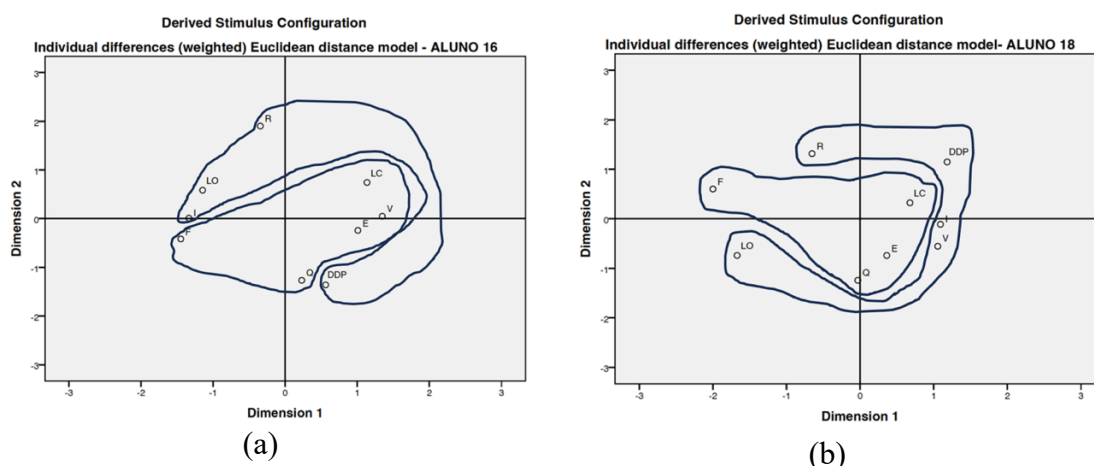


Figura 5.13 – Mapas dos Alunos 16 (a) e 18 (b), turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática

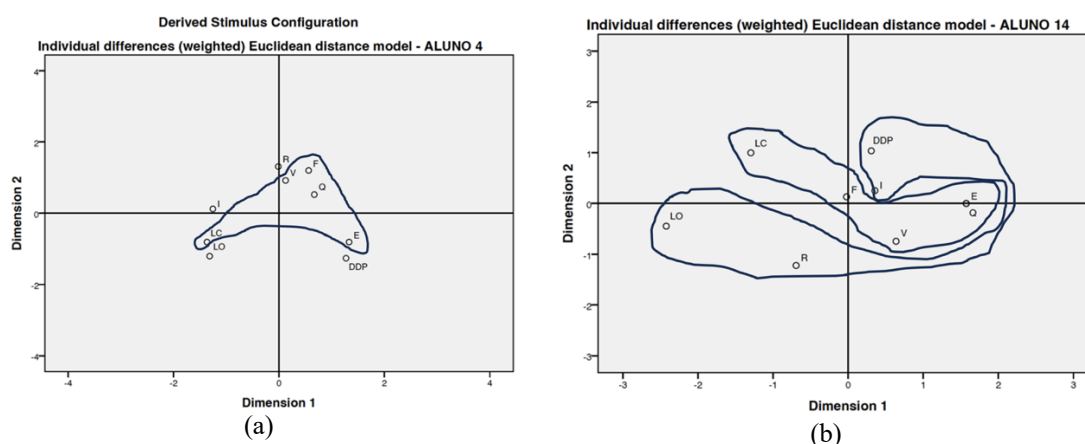


Figura 5.14 – Mapas dos Alunos 4 (a) e 14 (b), turma TST. Aplicação do TANC após a sequência didática.

5.2.2 3ª Série do Novo Ensino Médio Potiguar (NEMP)

O mapa da turma NEMP obtido na primeira aplicação do TANC é apresentado na figura 5.15. De modo similar ao que observamos na turma TST, embora os conceitos estejam distribuídos em uma forma circular, típica de matriz aleatória, por outro lado eles estão agrupados em dois espaços topológicos, um referente à eletrostática, e outro referente à eletrodinâmica. Esse é um resultado curioso, pois as duas turmas não qualquer conhecimento formal sobre eletricidade no momento da primeira aplicação do TANC. Olhando a Figura 5.15 diríamos que se trata de alguém que teve alguma formação em eletricidade.

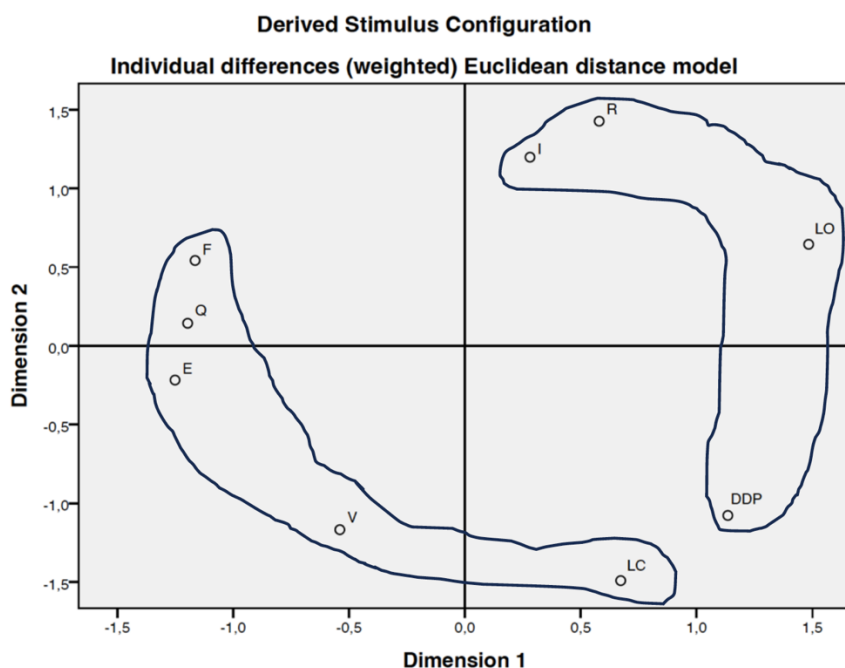


Figura 5.15 – Mapa conceitual da turma NEMP. Primeira aplicação do TANC.

Os resultados obtidos após a aplicação da sequência didática são apresentados nas figuras 5.16 e 5.17.

O mapa da Figura 5.16 é típico de mapa obtido com dados estruturados, ou seja, matriz cujas similaridades apresentam algum tipo de estrutura. Por exemplo, E, F e Q estão mais próximos de LC, quando comparado à Figura 5.15. Do mesmo modo, os conceitos V, DDP, R e I formam um conjunto mais próximo de LO.

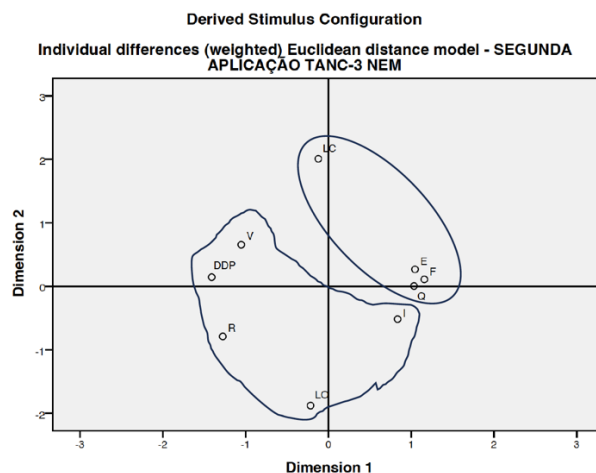


Figura 5.16 – Mapa conceitual da turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.

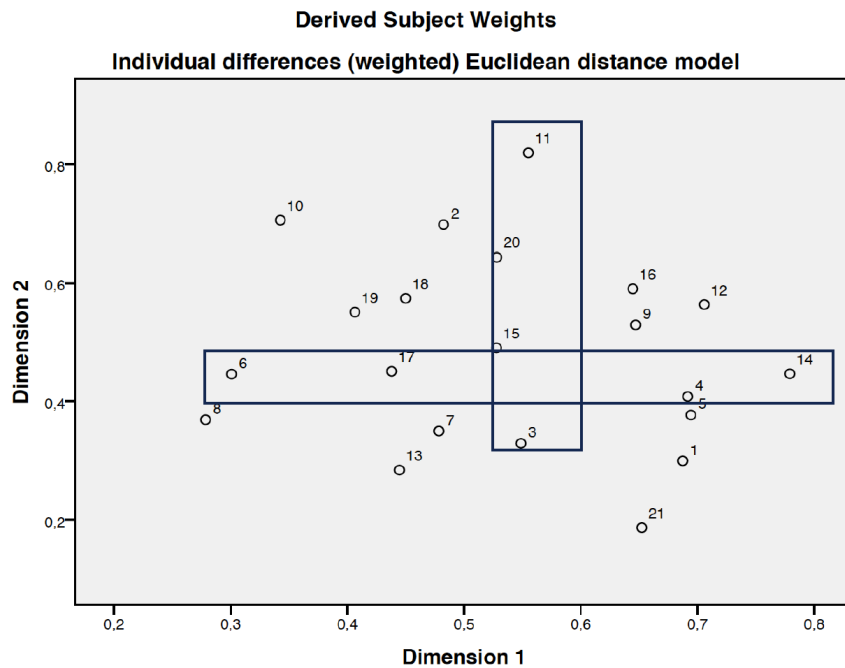
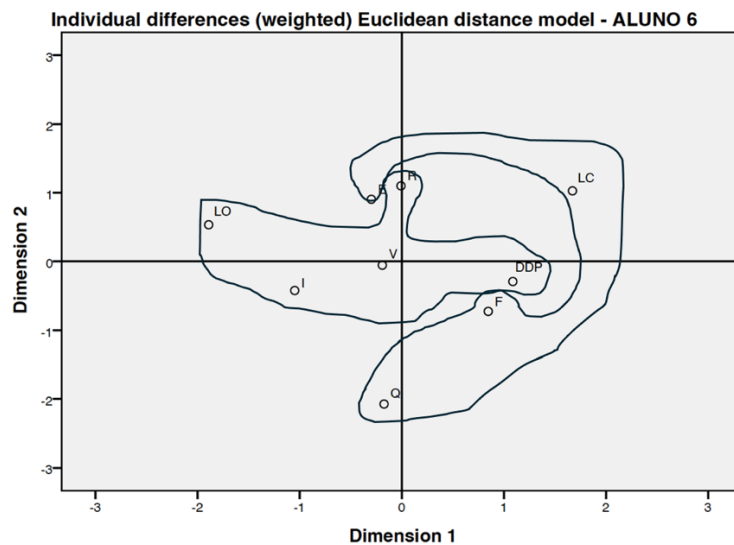
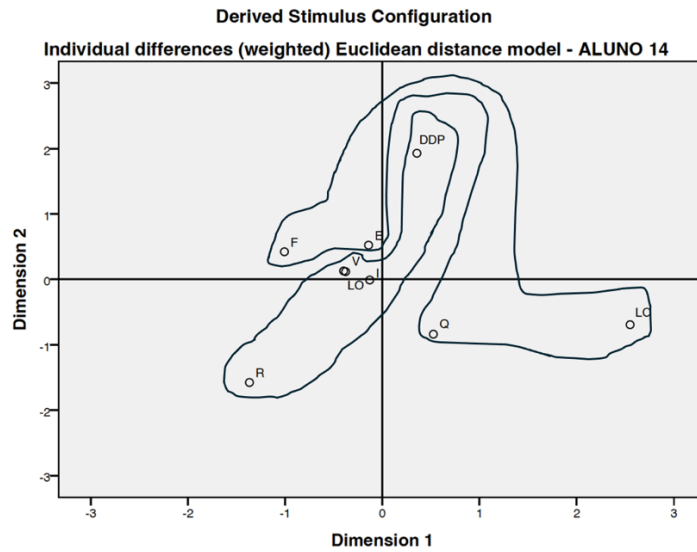


Figura 5.17 – Pesos individuais da turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.

Na Figura 5.17 selecionamos os alunos 6, 17, 15, 4, 5 e 14, que têm valores similares na dim2 e valores variáveis na dim1. De modo similar, selecionamos os alunos 3, 15, 20 e 11, que têm valores similares na dim1 e valores variáveis na dim2. Os mapas dos alunos 6 e 14 são apresentados na Figura 5.18. Percebe-se que os espaços dos conceitos de eletrostática e de eletrodinâmica se superpõem. Por exemplo, para ir do conceito de carga ao de campo em linha reta, deve-se atravessar o espaço eletrodinâmico.



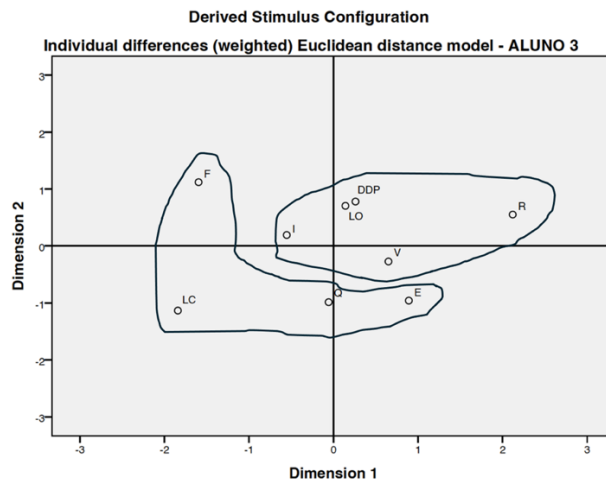
(a)



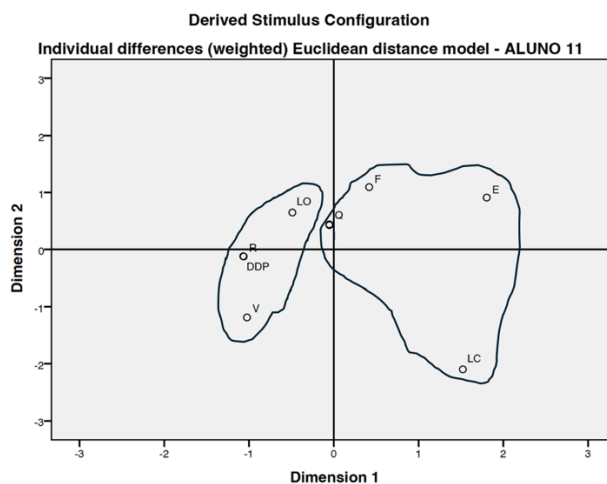
(b)

Figura 5.18 – Mapas dos Alunos 6 (a) e 14 (b), turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.

Por outro lado, os mapas dos alunos 3 e 11 (Figura 5.19) apresentam os espaços eletrostático e eletrodinâmico bem discriminados. Isso também foi observado nos mapas dos alunos 15 e 20. Ou seja, aparentemente todos os alunos que apresentam valores intermediários na dim1 e valores variáveis na dim2 discriminam bem os conceitos de eletrostática dos conceitos de eletrodinâmica.



(a)



(b)

Figura 5.19 – Mapas dos Alunos 3 (a) e 11 (b), turma NEMP. Aplicação do TANC após a sequência didática.

Desses resultados, resta uma questão para a qual ainda não temos resposta: por que os alunos 6 e 14 apresentam espaços eletrostático e eletrodinâmico superpostos, enquanto os alunos 3 e 11 apresentam esses espaços bem discriminados? Uma possível resposta poderia ser obtida por meio de entrevistas clínicas. Outra hipótese, que estamos analisando, mas ainda não temos dados para avaliar, é que em vez de duas dimensões, esses dados necessitem de três dimensões para serem ajustados convenientemente, embora, resultados empíricos tenham mostrado que a relação entre número de conceitos e dimensão para o ajuste é dada por $N=4r+1$ (SUBKOVIK, 1975). Ou seja, para $N=9$ conceitos, a dimensão ótima para o ajuste é 2. Foi por isso que ajustamos nossas matrizes em duas dimensões. No entanto, não está fora de cogitação que uma terceira dimensão possa ser usada. Nesse caso, os conceitos de eletrostática e eletrodinâmica estariam separados por alguma distância na dimensão 3.

5.3 Questionário de Reação ao Jogo

Na Tabela 5.13 constam as respostas dos 16 alunos da turma TST, ao questionário de satisfação com escala Likert de cinco pontos. A pontuação é feita da seguinte forma: para as questões favoráveis, a escala vai de 1 (discordo totalmente), até 5 (concordo totalmente). Nas questões desfavoráveis, a escala é invertida. Vai de 5 (discordo totalmente), até 1 (concordo totalmente). Para cada questão é feita a média ponderada. Desse modo, um valor superior a 3 significa que o jogo é satisfatório. Portanto, a turma TST considera satisfatório o jogo EBPB na versão digital. O resultado dessa turma é muito

homogêneo, com média ponderada um pouco acima de 3, com exceção da questão em relação ao atingimento dos objetivos do jogo, que ficou no nível insatisfatório.

A Tabela 5.14 exibe as respostas dos 21 alunos da turma NEMP, em relação ao jogo EMPN na versão cartas. A média geral é muito semelhante à da turma TST, mas alguns aspectos diferenciam as duas turmas. Em nenhuma das questões a turma NEMP considerou o jogo insatisfatório, e em duas questões essa turma achou o jogo bastante satisfatório. Quanto ao desejo de desistir do jogo, 6/16 dos alunos TST responderam afirmativamente, contra 4/21 alunos NEMP. Quando ao desejo de jogar novamente, 11/16 alunos TST responderam afirmativamente, contra 17/21 da turma NEMP.

Tabela 5.13 – Reação à versão digital do jogo EBPB. Turma TST.

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente	Média Pond.
Eu estou confiante com o aprendizado que obtive no jogo		3	7	5	1	3,25
Depois do jogo, eu consigo compreender conceitos básicos de eletricidade		1	8	4	3	3,56
Houve momentos em que eu queria desistir do jogo	3	5	2	2	4	3,06
Eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo	2	4	5	4	1	2,88
Eu jogaria novamente o EBPB	2	1	2	6	5	3,69
Fiquei torcendo pelo jogo acabar logo	3	2	5	3	3	3,06
O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria	1	2	5	6	2	3,38
O layout do jogo é atraente	1	1	4	7	3	3,63
Média Geral						3,31

Tabela 5.14 – Reação à versão cartas do jogo EBPB. Turma NEMP.

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente	Média Pond.
Eu estou confiante com o aprendizado que obtive no jogo	1	2	2	15	1	3,62
Depois do jogo, eu consigo compreender conceitos básicos de eletricidade		2	7	9	3	3,62
Houve momentos em que eu queria desistir do jogo	7	8	2	2	2	4,14
Eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo	5	3	2	7	4	3,10
Eu jogaria novamente o EBPB	1	1	2	3	14	4,33
Fiquei torcendo pelo jogo acabar logo	6	2	4	6	3	3,10
O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria	3	7	6	2	3	3,24
O desenho das cartas do jogo é atraente	3		3	8	7	3,76
Média Geral						3,61

6 CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Nas primeiras conversas e reuniões com meus orientadores manifestei a minha principal preocupação com relação ao desenvolvimento do produto educacional: as turmas, ambas da terceira série, em que seriam aplicadas o produto. Além de consideravelmente distintas quanto à aprendizagem, elas apresentavam, na opinião de quase todos os professores, uma preocupante similaridade: não demonstravam interesse pelos estudos.

De um lado, a turma TST, na qual seria aplicado o jogo EBPB na versão digital, tinha mais facilidade de aprendizagem do que a turma NEMP, mas o desinteresse pelo estudo era marcante. A falta de motivação era perceptível no dia a dia, refletindo-se no comportamento dos estudantes durante as aulas. Nos dois anos anteriores à nossa intervenção didática, era comum ver alunos dispersos, dormindo sobre as carteiras, entretidos com seus celulares ou envolvidos em conversas paralelas, demonstrando pouco envolvimento com as atividades propostas.

Na primeira parte da aplicação do produto já houve uma alteração no quadro das turmas. Cada aluno tinha que ler em voz alta uma parte do texto da apostila, no início alguns ficavam com vergonha por terem dificuldades com a leitura ou por não gostar de falar em público, mas com o passar dos dias foram se adaptando e se envolvendo. E alunos tímidos começaram a pedir para ler. O Aluno21 do TST, era um estudante introvertido, porém foi um dos que mais se dedicou à leitura e estudo da apostila. Além disso, também ficou bastante entusiasmado com o jogo digital. Tanto com os recursos do sistema: laboratório, mapas e biblioteca, quanto com o jogo em si.

Já a Aluna9 do TST apresentou um comportamento totalmente oposto, demonstrando desinteresse ao longo de todo o ano letivo. Desde o início, ficou evidente sua falta de engajamento com as atividades propostas, independentemente da metodologia utilizada. Nenhuma etapa da aplicação do produto educacional conseguiu prender sua atenção ou motivá-la a participar ativamente do processo de aprendizagem.

Na maioria das vezes, ela se recusava a realizar a leitura do conteúdo, demonstrando pouco esforço para acompanhar as explicações e aprofundar seus conhecimentos. Esse desinteresse refletia-se diretamente em seu desempenho, com notas nas avaliações constantemente abaixo da média. No segundo semestre, quando foi iniciada a aplicação do jogo EBPB, a situação não mudou. Ela foi a única aluna que não realizou as atividades

nos laboratórios e demonstrou extrema resistência à proposta. Além disso, foi a última a concluir o jogo, aparentando fazê-lo apenas por obrigação, sem qualquer envolvimento real com a dinâmica do aprendizado. Esse cenário evidencia os desafios enfrentados na busca por estratégias que consigam alcançar todos os alunos, independentemente de suas motivações e interesses individuais. Consistente com esse comportamento, seu mapa conceitual exibido pelo TANC, ao final da intervenção, não apresentou os conceitos completamente desconectados, sem qualquer estrutura que se assemelhasse ao conteúdo tratado ao longo do ano.

Algo que chamou atenção foi que alguns alunos que tinham rendimento mediano nos dois anos anteriores, melhoraram significativa durante a terceira série. Não temos elementos experimentais para afirmar que isso se deveu à intervenção didática, mas em conversas informais eles atribuíram ao formato das aulas e ao material que segundo eles era bem mais fácil de compreender do que o livro didático. Os conceitos eram mais claros e as fórmulas não eram o foco principal do assunto. E isso pode ser confirmado nos resultados dos TCAs.

Inicialmente, tivemos alguns impasses porque ainda não tínhamos as apostilas impressas, somente no formato digital e os alunos tiveram que usar os celulares porque o laboratório de informática também estava passando por uma manutenção. Isso fez com que alguns alunos usassem como desculpa o tamanho da tela para evitar fazer a leitura, mas esse problema logo foi sanado e todos os alunos, tantos os da turma TST quanto os da turma NEMP receberam o material impresso.

De modo geral, na turma TST houve um grande envolvimento e uma certa empolgação por parte dos alunos durante a aplicação do produto educacional. Desde os primeiros momentos, a proposta despertou interesse, tornando as aulas mais dinâmicas e interativas. A participação ativa dos estudantes foi evidente, com maior engajamento nas atividades e discussões, o que contribuiu para um ambiente de aprendizado mais colaborativo e motivador.

Além do aspecto qualitativo, os resultados quantitativos também refletiram os benefícios dessa abordagem. Ao longo do ano letivo, foi possível observar uma evolução significativa nas médias da turma, sugerindo que a metodologia aplicada teve um impacto positivo na assimilação dos conteúdos. Esse crescimento não apenas valida a eficácia do

produto educacional, mas também reforça a importância de estratégias inovadoras para tornar o ensino mais eficiente e atrativo.

A turma NEMP era uma turma bastante heterogênea. Tínhamos aluno especial, outros que não sabiam ler corretamente (o nível de leitura era praticamente zero), por outro lado, tinha seis alunos que faziam parte do clube de leitura da escola que tinham uma paixão pela leitura e que se deixasse, fariam toda a leitura da apostila sem chances para os demais colegas. Os alunos 4, 12 e 16, por exemplo, além da leitura feita em sala, afirmaram ter lido a apostila em casa mais de duas vezes. E não era raro encontrá-los em horários vagos pelos corredores sentados folheando as apostilhas. Consistentemente, seus mapas conceituais ao final da aplicação do jogo, apresentaram estruturas bem definidas, com as separações dos conceitos de eletrostática daqueles de eletrodinâmica.

Eu diria que a turma do NEMP ficou bem mais empolgada com o jogo de cartas do que a do TST com o jogo digital. O clima de disputa já começou durante o sorteio das equipes. Alguns alunos eram muito competitivos e durante as partidas, em alguns momentos, tive que interromper para acalmar os ânimos. Nos primeiros encontros houve muitas reclamações com relação ao fato de não ter um tempo para a equipe responder à pergunta e isso deixava a equipe que fazia a pergunta um pouco nervosa, principalmente os jogadores que não estavam participando da rodada em determinado nível.

A cada aula a empolgação e disputa aumentavam. O Aluno6 e a Aluna16 eram os mais entusiasmados com as partidas. Eles estavam em equipes opostas, a equipe do Aluno6 foi a primeira a chegar no nível pesquisador e a ganhar o prêmio Nobel. As alunas 6 e 17, eram estudantes que praticamente não falavam durante as aulas, mas se envolveram bastante durante o jogo. Das quatro equipes, uma teve maior facilidade para mudar de nível, duas levaram um pouco mais de tempo e a outra equipe demorou muito no nível de graduação.

Os comentários sobre o jogo rapidamente se espalharam pela escola, despertando a curiosidade dos alunos de outras séries. Muitos vieram perguntar sobre a experiência, demonstrando grande interesse em participar. Eles queriam entender como o jogo funcionava e, principalmente, por que apenas a turma da terceira série tinha acesso a essa atividade, cobrando a oportunidade de também vivenciarem essa experiência inovadora.

Apesar dos desafios enfrentados ao longo do processo, o desenvolvimento e a aplicação do produto educacional proporcionaram uma experiência enriquecedora e

transformadora. Os resultados alcançados foram extremamente satisfatórios, especialmente considerando o contexto em que essa experiência didática foi conduzida. A jornada demandou comprometimento, adaptações constantes e a superação de diversos obstáculos, mas cada etapa foi essencial para o aperfeiçoamento do material, tornando a abordagem pedagógica mais dinâmica, acessível e eficiente.

Depois da preocupação inicial, mencionada no início deste capítulo, senti um alívio imenso ao perceber que teve um impacto positivo no aprendizado dos alunos. E uma profunda satisfação de ver que todo o esforço investido realmente fez a diferença. Isso reforçou minha convicção sobre a importância de inovar no ensino. Essa experiência não apenas validou o potencial do material desenvolvido, mas também abriu portas para futuras melhorias e adaptações, consolidando o produto como uma ferramenta valiosa para a educação.

Este produto será trabalhado com minhas futuras turmas, não se limitando apenas a esta dissertação. Pretendo realizar novas experiências com o jogo digital, explorando diferentes formatos de aplicação na tentativa de maximizar seu potencial pedagógico. Uma das abordagens que considero testar é a implementação do jogo de maneira progressiva, alinhando cada nível ao conteúdo ministrado em sala de aula. Dessa forma, os alunos jogariam apenas o nível correspondente ao tema recém estudado, consolidando o aprendizado antes de avançar para o próximo tópico.

Além disso, essa estratégia poderá permitir um acompanhamento mais detalhado do desenvolvimento dos alunos, possibilitando intervenções pedagógicas quando necessárias. Ao final de cada etapa, os estudantes terão a oportunidade de aplicar os conceitos aprendidos de forma prática e dinâmica, tornando o ensino mais envolvente. Por exemplo, quando os alunos terminassem de estudar carga elétrica, lei de Coulomb e campo elétrico, eles iriam jogar no nível de graduação e só jogariam o mestrado depois de estudarem o conteúdo referente a esse nível, essa metodologia também será aplicada aos demais níveis, garantindo que, ao concluírem a teoria, os alunos possam reforçar seus conhecimentos ao jogar exatamente no nível correspondente. Com isso, espero tornar o processo de ensino e aprendizagem mais interativos, promovendo maior engajamento e compreensão dos conceitos abordados.

O objetivo é aprimorar o produto em sua totalidade, implementando os ajustes necessários e incorporando sugestões valiosas dos alunos. Além disso, a utilização de novas

tecnologias voltadas para a internet permitirá uma experiência mais interativa e eficiente, garantindo que o sistema evolua continuamente para acompanhar as demandas educacionais.

Outro aspecto fundamental desse aprimoramento é a expansão do conteúdo. Atualmente, já contamos com módulos de atomística, ondulatória e eletricidade, mas a intenção é desenvolver novos materiais que abordem outros temas da física. Dessa forma, o sistema se tornará ainda mais flexível, atendendo às diversas necessidades dos professores, especialmente aqueles que atuam na rede pública de ensino, proporcionando um recurso didático mais completo e adaptável.

REFERÊNCIAS

- AUSUBEL, D. P.; ROBBINS, L. C.; BLAKE JR, E. Retroactive inhibition and facilitation in the learning of school materials. **Journal of Educational Psychology**, v. 48, n. 6, p. 334–343, 1957.
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. **Journal of Educational Psychology**, v. 51, n. 5, p. 267–272, 1960.
- AUSUBEL, D. G. Cognitive Structure and the Facilitation of Meaningful Verbal Learning1. **Journal of Teacher Education**, v. 14, n. 2, p. 217–222, jun. 1963a.
- AUSUBEL, D. P. A Subsumption Theory of Meaningful Verbal Learning and Retention. **The Journal of General Psychology**, v. 66, n. 2, p. 213–224, 1962a.
- AUSUBEL, D. P. A cognitive theory of school learning. **Psychology in the Schools**, v. 6, n. 4, p. 217–222, 1969a.
- AUSUBEL, D. P. The Use of Ideational Organizers in Science Teaching. **The Use of Ideational Organizers in Science Teaching.**, p. 22, 1970.
- AUSUBEL, D. P.; FITZGERALD, D. Chapter V: Meaningful Learning and Retention: Intrapersonal Cognitive Variables. **Review of Educational Research**, v. 31, n. 5, p. 500–510, 1961.
- AUSUBEL, D. P.; STAGER, M.; GAITE, A. J. H. Retroactive facilitation in meaningful verbal learning. **Journal of Educational Psychology**, v. 59, n. 4, p. 250–255, 1968.
- BARNES, B. R.; CLAWSON, E. U. Do advance organizers facilitate learning? Recommendations for further research based on an analysis of 32 studies. **Review of Educational Research**, v. 45, n. 4, p. 637–659, 1975.
- BAŞER, M.; GEBAN, Ö. Effect of instruction based on conceptual change activities on students’ understanding of static electricity concepts. **Research in Science & Technological Education**, v. 25, n. 2, p. 243–267, 2007.
- BILAL, E.; EROL, M. Investigating students’ conceptions of some electricity concepts. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 2, p. 193–201, 2009.
- BRICKER, P. D.; PRUZANSKY, S. **Comparison of Sorting and Pairwise Similarity Judgment Techniques for Scaling Auditory Stimuli**. Murray Hill: Bell Telephone Laboratories, 1970.
- BRUNER, J. S. The Act Of Discovery. **The Act Of Discovery**, v. 31, n. Reprinted from Harvard, p. 21–32, 1961.
- BUCUSSI, A. A. **Introdução ao conceito de energia**: Textos de Apoio ao Professor de Física. Porto Alegre - RS: IF - UFRGS, 2006.
- CARROLL, J. D.; CHANG, J.-J. Analysis of individual differences in multidimensional scaling via an n-way generalization of “Eckart-Young” decomposition. **Psychometrika**, v. 35, n. 3, p. 283–319, 1970.
- CHAMBERS, S. K.; ANDRE, T. Gender, Prior Knowledge, Interest, and Experience in Electricity and Conceptual Change Text Manipulations in Learning about Direct Current. **Journal of Research in Science Teaching**, 1997.

- CHYUNG, S. YOUN. et al. Evidence-based survey design: The use of a midpoint on the Likert scale. **Performance Improvement**, v. 56, n. 10, p. 15–23, 2017.
- CODD, J. A. The Clinical Interview: an Holistic Approach to the Evaluation of Learning. **J. Curriculum Studies**, v. 13, n. 2, p. 145–150, 1981.
- CORUHLU, T. S.; CALIK, M.; CEPNI, S. Effect of conceptual change pedagogies on students' alternative conceptions of electricity resistance and electricity current. **Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies**, 2012.
- CRACIUN, D. ROLE – PLAYING AS A CREATIVE METHOD IN SCIENCE EDUCATION. **Journal of Science and Arts Year**, v. 10, n. 112, p. 175–182, 2010.
- DE AQUINO, E. M. et al. EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL: UM JOGO DIGITAL MULTIPLATAFORMA E MULTITEMÁTICO. **REPPE-Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, v. 7, n. 2, p. 413–432, 2023.
- DILBER, R.; DUZGUN, B. Effectiveness of Analogy on Students' Success and Elimination of Misconceptions **Am. J. Phys. Educ.** Disponível em: <<http://www.journal.lapen.org.mx>>.
- DINIZ, F. S. V. **Uso do jogo digital “Em busca do prêmio Nobel” para abordar tópicos de atomística**. [Mossoró] Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.
- DINIZ, F. V. S.; DOS SANTOS, C. A. Ensinando atomística com o jogo digital “Em busca do Prêmio Nobel”. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. e20180268, 2019.
- DISESSA, A. A.; SHERIN, B. L. What changes in conceptual change? **International journal of science education**, v. 20, n. 10, p. 1155–1191, [s.d.].
- DOS SANTOS, C. A. Fundamentos teóricos em ensino e aprendizagem: um experimento pedagógico no MNPEF-UFERSA. **Revista do Professor de Física**, v. 8, n. 1, p. 209–234, 2024.
- DOS SANTOS, C. A. **Aplicação da análise multidimensional e da análise de agrupamentos hierárquicos ao mapeamento cognitivo de conceitos físicos**. [s.l.] UFRGS, 1978.
- DOS SANTOS, C. A.; DE AQUINO, E. M. Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3501-5, 2018.
- DOS SANTOS, C. A. Revista do Professor de Física. **Fundamentos Teóricos em Ensino e Aprendizagem: um experimento pedagógico no MNPEF-UFERSA**, v. 8, n. 1, p. 209–234, 2024.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Instrumentos de Medida para o Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos. **Revista Brasileira de Física**, v. 9, p. 835–848, 1979a.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Aplicação da Análise Multidimensional ao Mapeamento Cognitivo de Conceitos Físicos. **Revista Brasileira de Física**, v. 9, p. 849–858, 1979b.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. Análise multidimensional da associação numérica de conceitos em termodinâmica. **Ciência e Cultura**, v. 32, n. 8, p. 1065–1069, 1980.
- DOS SANTOS, C. A.; MOREIRA, M. A. **Escalonamento multidimensional e análise de agrupamentos hierárquicos**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 1991.

- ENGELHARDT, P. V.; BEICHNER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, 2004.
- EYLON, B. S.; GANIEL, U. Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 1, p. 79–94, 1990.
- FELIX, H. R. T. et al. EFEITOS DE APRENDIZAGEM NA ASSOCIAÇÃO DE CONCEITOS: UM ESTUDO COM ESCALONAMENTO MULTIDIMENSIONAL. **Revista do Professor de Física**, v. 8, n. 1, p. 269–290, 2024.
- FREIRE, P. **Pedagogia do Oprimido**. 17. ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1970.
- GARSKOF, B. E.; HOUSTON, J. P. Measurement of verbal relatedness: an idiographic approach. **Psychological Review**, v. 70, n. 3, p. 277–288, 1963.
- GEESLIN, W. E.; SHAVELSON, R. J. An Exploratory analysis of the representation of a mathematical structure in students' cognitive structures. **American Educational Research Journal**, v. 12, n. 1, p. 21–39, 1975.
- GIGUÈRE, G. Collecting and analyzing data in multidimensional scaling experiments: A guide for psychologists using SPSS. **Tutorials in Quantitative Methods for Psychology**, v. 2, n. 1, p. 26–37, 2006.
- GLINER, G. S. A Note on a Statistical Paradigm for the Evaluation of Cognitive Structure in Physics Instruction. **Applied Psychological Measurement**, v. 5, n. 4, p. 493–502, 1981.
- GRAVINA, M. H.; BUCHWEITZ, B. Mudanças nas Concepções Alternativas de Estudantes Relacionadas a Eletricidade. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, 1-4. v. 16, p. 110–119, 1994.
- GRECA, I. M.; MOREIRA, M. A. O uso da análise multidimensional na pesquisa em ensino de ciências. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 1, n. 3, p. 1–12, 2011.
- GUTTMAN, L. A general nonmetric technique for finding the smallest coordinate space for a configuration of points. **Psychometrika**, v. 3, n. 4, p. 469–506, 1968.
- HAMMER, D. Misconceptions or P-Prims: How May Alternative Perspectives of Cognitive Structure Influence Instructional Perceptions and Intentions. **Journal of the Learning Sciences**, v. 5, n. 2, p. 97–127, 1996.
- HASHISH, A. H.; SEYD-DARWISH, I.; TIT, N. Addressing some physical misconceptions in electrostatics of Freshman Engineering students. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 2, p. 1–7, 2020.
- HILGER, T. R.; MOREIRA, M. A. A study of social representations of quantum physics held by high school students through numerical and written word association tests. **Revista Electrónica de Investigación en Educación en Ciencias**, v. 8, n. 1, p. 52–61, 2013.
- HOUT, M. C.; PAPESH, M. H.; GOLDINGER, S. D. Multidimensional scaling. **Wiley Interdiscip Rev Cogn Sci.**, v. 4, n. 1, p. 93–103, 2013.
- JACOBY, W. G.; CIUK, D. J. Multidimensional scaling: An introduction. Em: **The Wiley Handbook of Psychometric Testing: A Multidisciplinary Reference on Survey, Scale and Test Development**. New York: John Wiley, 2018. p. 375–412.

- KIRKPATRICK, D. **Evaluating training programs: The four levels**. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2006.
- KRUSKAL, J. B. Multidimensional scaling by optimizing goodness of fit to a nonmetric hypothesis. **psychometrika**, v. 9, n. 1, p. 1–27, 1964.
- KÜÇÜKÖZER, H.; KOCAKÜLAH, S. **Secondary School Students' Misconceptions about Simple Electric Circuits**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.tu-sed.org>>.
- LI, M.-C.; TSAI, C.-C. Game-Based Learning in Science Education: A Review of Relevant Research. **Journal of Science Education and Technology**, v. 22, n. 6, p. 877–898, 2013.
- 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.
- MÉTIQUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B. PRESERVICE PRIMARY TEACHERS' REPRESENTATIONS AFTER TEACHING OF THE ELEMENTARY ELECTROSTATIC PHENOMENA. **Science & Technologies**, v. 5, n. 3, p. 115–120, 2015.
- MÉTIQUI, A.; TRUDEL, L. ELEMENTARY PRE-SERVICE TEACHERS CONCEPTUAL REPRESENTATIONS ABOUT THE CHARGE POLARIZATION: ELECTROSTATIC. Em: **University education of future science teachers**. Krakow: [s.n.]. p. 97–108.
- MI, S. et al. Development and validation of a conceptual survey instrument to evaluate senior high school students' understanding of electrostatics. **Physical Review Physics Education Research**, v. 19, n. 1, p. 010114, 2023.
- MOREIRA, M. A. A Teoria de Aprendizagem de David Ausubel como Sistema de Referência para a Organização de Conteúdo de Física. **Revista Brasileira de Física**, v. 9, n. 1, p. 275–292, 1979.
- MOREIRA, M. A. Grandes desafios para o ensino da física na educação contemporânea. **Revista do Professor de Física**, v. 1, n. 1, p. 1–13, 2017.
- MOREIRA, M. A. **An Ausubelian approach to physics instruction: an experiment in an introductory college course in eletromagnetism**. Thesis—Ithaca: Cornell University, 1977.
- MOREIRA, M. A. Concept Maps as Tools for Teaching. **Journal of College Science Teaching**, v. 8, n. 5, p. 283–286, 1979.
- MOREIRA, M. A.; DOS SANTOS, C. A. The Influence Of Content Organization On Student'S Cognitive Structure in Thermodynamics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 18, p. 525–531, 1981.
- MORTIMER, E. F. Conceptual change or conceptual profile change? **Science & Education**, v. 4, p. 267–285, 1995.
- MOYNIHAN, R. et al. Helping lower secondary students develop conceptual understanding of electrostatic forces. **Sch. Sci. Rev**, v. 98, n. 363, p. 101–108, 2016.
- MUTHIRAPARAMPIL, S. T. **Misconceptions in Electrostatics among learners at university entry point: a South African case study**. Tese de Doutorado—Mthatha: Walter Sisulu University, 2012.
- NASCIMENTO, M. M. et al. Métodos Quantitativos Interpretativos na Educação em Ciências: Abordagens para Análise Multivariada de Dados. **Revista Brasileira de**

Pesquisa em Educação em Ciências, v. 19, p. 775–800, 2019.

- NKOPANE, L. et al. **Alternative Conceptions about Simple Electric Circuits amongst High School FET Band Learners**. [s.l.: s.n.].
- NOVAK, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 10, p. 937–949, 1990.
- NOVAK, J. D. Learning Theory Applied to the Biology Classroom. **The American Biology Teacher**, v. 42, n. 5, p. 280–285, 1 maio 1980.
- NOVAK, J. D. **A view on the current status of Ausubel's assimilation theory of learning**. In meetings of the American Educational Research Association. **Anais...** Em: IN MEETINGS OF THE AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH ASSOCIATION. San Francisco, USA: 1992.
- NOVAK, J. D.; GOWIN, D. **Aprender a aprender**. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 1995.
- ONDER-CELIKKANLI, N.; TAN, M. Determining Turkish high school students' misconceptions about electric charge imbalance by using a four-tier misconception test. **Physics Education**, v. 57, n. 5, p. 055010, 2022.
- POSNER, G. et al. Accommodation of scientific conception: Toward a theory of conceptual change. **Science Education**, v. 66, p. 211–227, 1982.
- POSNER, G. J.; GERTZOG, W. A., W. The Clinical Interview and the Measurement of Conceptual Change. **Science Education**, v. 66, n. 2, p. 195–209, 1982.
- PRESTON, C. C.; COLMAN, A. M. Optimal number of response categories in rating scales: reliability, validity, discriminating power, and respondent preferences. **Acta Psychologica**, v. 104, p. 1–15, 2000.
- QIAN, M.; CLARK, K. R. Game-based Learning and 21st century skills: A review of recent research. **Computers in Human Behavior**, v. 63, p. 50–58, 2016.
- SAGARRA, M.; MAR-MOLINERO, C.; AGASISTI, T. Exploring the efficiency of Mexican universities: Integrating data envelopment analysis and multidimensional scaling. **Omega**, v. 67, p. 123–133, 2017.
- 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**, 1992.
- SHAVELSON, R. J. Some aspects of the correspondence between content structure and cognitive structure in physics instruction. **Journal of Educational Psychology**, v. 63, n. 3, p. 225–234, 1972.
- SHAVELSON, R. J. Methods for examining representations of a subject-matter structure in a student's memory. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 11, n. 3, p. 231–249, 1974a.
- SHAVELSON, R. J. Some methods for examining content structure and cognitive structure in instruction. **Educational Psychologist**, v. 11, n. 2, p. 110–122, 1974b.
- SHEPARD, R. N. The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. I. **Psychometrika**, v. 27, n. 2, p. 125–140, 1962a.
- SHEPARD, R. N. The analysis of proximities: multidimensional scaling with an unknown distance function. II. **Psychometrika**, v. 27, n. 3, p. 219–246, 1962b.

- SHIHUSA, H.; KERARO, F. N. Using Advance Organizers to Enhance Students' Motivation in Learning Biology. **Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education**, v. 5, n. 4, p. 413–420, 2009.
- STEFANIDOU, C. G. et al. Conceptual Difficulties Pre-Service Primary Teachers Have with Static Electricity. **Journal of Baltic Science Education**, v. 18, n. 2, p. 300–313, 2019.
- STEFANIDOU, C.; FERENTINOU, A.; TSALAPATI, K. **DRAWING MENTAL MODELS OF STATIC ELECTRICITY: WHAT WE CAN GAIN**. The Beauty and Pleasure of Understanding: Engaging With Contemporary Challenges Through Science Education. **Anais... Em: ESERA 2019 CONFERENCE**. Bologna: 2020.
- SUBKOVIK, M. J. The Use of Multidimensional Scaling in Educational Research. **Review of Educational Research**, v. 45, n. 3, p. 387–423, 1975.
- SUBKOVIK, M. J.; ROECKS, A. L. **A Closer Look at the Accuracy of Alternative Multidimensional Scaling Data Collection Methods**. [s.l.: s.n.].
- SUMA, K.; SADIA, I. W.; PUJANI, N. M. Investigating 12th-grade students' prior knowledge of static electricity concepts. **Int. J. Environ. Sci. Educ.**, v. 13, n. 2, p. 163–172, 2018.
- TAKANE, Y.; YOUNG, F. W.; J. DE LEEUW. Nonmetric individual differences multidimensional scaling: An alternating least squares method with optimal scaling features. **Psychometrika**, v. 42, n. 1, p. 7–67, 1977.
- THRO, M. P. Relationships Between Associative and Content Structure of Physics Concepts. **Journal of Educational Psychology**, v. 70, n. 6, p. 971–978, 1978.
- TORGERSON, W. S. MULTIDIMENSIONAL SCALING: I. THEORY AND METHOD. **psychometrika**, v. 17, n. 4, p. 401–419, 1952.
- VYGOTSKY, L. S. **A formação social da mente**. 4^a ed. São Paulo - SP: Martins Fontes, 1991.
- YIEN, J. M. et al. A game-based learning approach to improving students' learning achievements in a nutrition course. **The Turkish Online Journal of Educational Technology**, v. 10, n. 2, p. 1–10, 2011.
- YOUNG, F. W.; TAKANE, Y.; LEWYCKYJ, R. ALSCAL: A nonmetric multidimensional scaling program with several individual-differences options. **Behavior Research Methods & Instrumentation**, v. 10, n. 3, p. 451–453, 1978.

Apêndice

Produto educacional:

Jogo “Em Busca do Prêmio Nobel”, nas versões digital e cartas



Em Busca do Prêmio Nobel **Jogo para o ensino de eletricidade**

Eliabe Maxsuel de Aquino
Geovani Ferreira Barbosa
Carlos Alberto dos Santos

Crédito da imagem da capa

<https://stockholmskallan.stockholm.se/post/26245>

EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL NAS VERSÕES DIGITAL E CARTAS*

Jogo para o ensino de eletricidade

Eliabe Maxsuel de Aquino

Jogo anexo à Dissertação de Mestrado “Abordagem ausubeliana para o ensino de eletricidade, usando o jogo ‘Em busca do Prêmio Nobel’, nas versões digital e cartas, apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Rural do Semiárido, no Mestrado Profissional em Ensino de Física (MNPEF), polo 9, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador

Prof. Dr. Carlos Alberto dos Santos

Co-Orientador

Prof. Dr. Geovani Ferreira Barbosa

Mossoró
2025

* Trabalho parcialmente financiado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Código de financiamento 001.

SUMÁRIO

1 APRESENTAÇÃO	1
2 VERSÃO DIGITAL	2
2.1 – Interface do administrador	4
2.2 – Interface de aprendizagem	5
2.3 – Interface do jogador	8
3 VERSÃO CARTAS	10
4 TEXTO AUSUBELIANO	13
5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	15
REFERÊNCIAS	18
APÊNDICE A – TESTE DE CONCEPÇÕES ALTERNATIVAS (TCA)	22
APÊNDICE B – TESTE DE ASSOCIAÇÃO NUMÉRICA DE CONCEITOS (TANC)	25
APÊNDICE C – QUESTIONÁRIO DE REAÇÃO AO JOGO	26
APÊNDICE D – QUESTIONÁRIO DE REAÇÃO AO TEXTO AUSUBELIANO	27
APÊNDICE E – TEXTO AUSUBELIANO SOBRE ELETRICIDADE	28

1 APRESENTAÇÃO

O produto que se apresenta aqui consiste em um conjunto de ferramentas educacionais para o ensino de eletricidade, que também podem ser usadas no ensino de quaisquer outras áreas do conhecimento. O elemento central do produto é o jogo *Em Busca do Prêmio Nobel* (EBPN), produzido em duas versões: digital e cartas. O jogo é acompanhado por um texto ausubeliano sobre eletricidade para o ensino médio. Trata-se de um texto didático para apresentar Organizadores Prévios (OP) e contextualizar o conteúdo usado nos livros-textos em um cenário ausubeliano, em um cenário da teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel.

A validação do material é realizada por meio de dois testes de acesso à estrutura cognitiva e de um questionário de reação ao jogo e ao texto ausubeliano. Um dos testes de acesso à estrutura cognitiva, denominado Teste de Concepções Alternativas (TCA), é amplamente reportado na literatura (BAŞER, M.; GEBAN, Ö., 2007; BILAL, E.; EROL, M., 2009; CHAMBERS; ANDRE, 1997; CORUHLU; CALIK; CEPNI, 2012; DILBER; DUZGUN, 2008; ENGELHARDT; BEICHNER, 2004; EYLON, B. S.; GANIEL, U., 1990; HASHISH, A. H.; SEYD-DARWISH, I.; TIT, N., 2020; KÜÇÜKÖZER; KOCAKÜLAH, [s.d.]; MCDERMOTT; SHAFFER, 1992; MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B., 2015; MI, S. et al., 2023; MOYNIHAN, R. et al., 2016; NE, [s.d.]; NKOPANE et al., [s.d.]; ONDER-CELIKKANLI, N.; TAN, M., 2022; SHAFFER; MCDERMOTT, 1992; STEFANIDOU, C. G. et al., 2019). O outro é o Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC), igualmente bem conhecido na literatura (GEESLIN; SHAVELSON, 1975, 1975; GLINER, 1981; DOS SANTOS; MOREIRA, 1979a; MOREIRA; DOS SANTOS, 1981; SUBKOVIAK; ROECKS, 1976; THRO, 1978). O questionário de satisfação foi elaborado a partir do que consta no método Kirkpatrick (KIRKPATRICK, D., 2006).

Os testes e o questionário são apresentados como apêndices ao final desse documento, enquanto os métodos de tratamento desses testes e do questionário estão contidos na dissertação apresentada no MNPEF-UFERSA, polo 9, de autoria de Eliabe Maxsuel de Aquino e intitulada *Abordagem Ausubeliana para o Ensino de Eletricidade, usando o Jogo Em Busca do Prêmio Nobel nas Versões Digital e Cartas*.

Como se verá mais adiante, o jogo EBPN é multiplataforma e multitemático. Ele pode ser adaptado para uso digital e nos formatos de cartas e tabuleiro. Sua estrutura pode ser utilizada para o ensino de qualquer assunto, e ele pode ser usado com base em diferentes referenciais pedagógicos. Portanto, além das fundamentações básicas do jogo, o que será apresentado aqui é apenas a forma como ele foi utilizado no âmbito da supra referida dissertação.

2 VERSÃO DIGITAL*

Boa parte do texto que se segue foi extraído de dois artigos que publicamos. Um sobre a versão beta do EBPN (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018), e outro sobre a versão 1.0 (DE AQUINO, E. M. et al., 2023), ambos disponibilizados como anexos na supra referida dissertação.

O jogo foi inicialmente planejado para rodar na internet, mas logo percebemos a importância de adaptá-lo para cartas e para tabuleiro. O fluxograma original, apresentado na Figura 1, que foi modificado nas diversas versões do código, será exibido aqui como um resgate histórico. No início, a ideia do jogo era centrada nos mapas conceituais, mas resolvemos alterar o foco para o número de questões respondidas pelos jogadores, para ficar mais próximo de uma espécie de treinamento para o ENEM. Apesar das alterações, a ideia central do algoritmo foi mantida.

O jogo se desenvolve em dois ambientes administrados por um código PHP[†], com auxílio do yiiframework na versão 2[‡]. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML, em mapas conceituais confeccionados com a ferramenta Cmap-Tools[§], em experimentos virtuais extraídos do PhET^{**}, e em breves notas biográficas dos principais personagens da história da eletricidade.

O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL^{††}, com questões e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao

* Interessados em instalar um sistema similar podem entrar em contato: emaxsuel@gmail.com

† https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php.

‡ <http://www.yiiframework.com/>.

§ <https://cmap.ihmc.us/>.

** https://phet.colorado.edu/pt_BR/.

†† <https://www.mysql.com/>.

Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Todo o sistema está baseado na arquitetura MVC (Model-view-controller).*

Como ilustrado na Figura 2, a arquitetura MVC opera em três camadas:

1. Camada de modelo responsável pela leitura, escrita e validação dos dados do banco.
2. Camada de visualização, por meio da qual os dados e informações são exibidos ao usuário. É o que de fato o usuário vê, ou seja é a exibição das páginas HTML e das questões.
3. Camada de controle responsável pela comunicação com o usuário. Ela envia notificações e recebe as respostas do usuário.

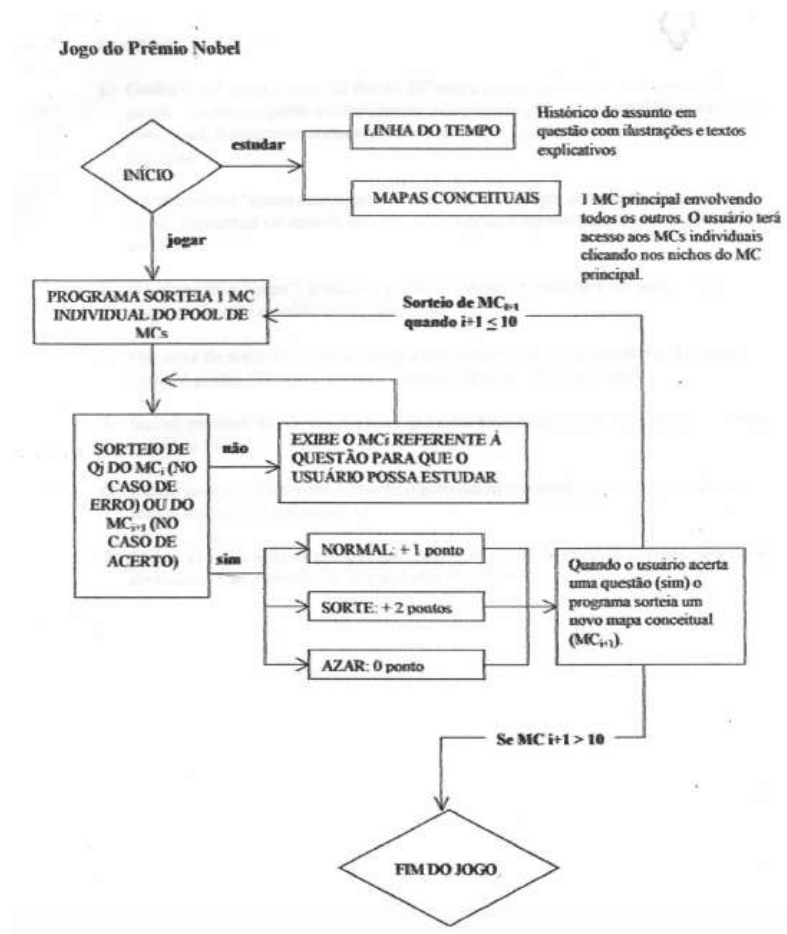


Figura 1 – Fluxograma original do jogo EBP.

* <https://pt.wikipedia.org/wiki/MVC>.

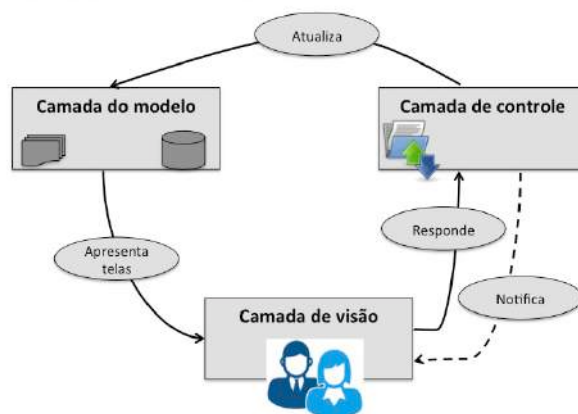


Figura 2 – Esquema operacional da arquitetura MVC (Modelview-controller).

Ao acessar o jogo, o usuário tem duas alternativas: estudar ou jogar. Para jogar ele deverá passar por um teste de admissão, ou seja, acertar três questões sucessivas de nível fácil. Para estudar ele tem o conteúdo apresentado sob a forma de hipertextos e sob a forma de mapas conceituais. Vejamos as interfaces do jogo e suas funcionalidades.

2.1 Interface do administrador

O menu de administração do jogo é apresentado na Figura 3. O administrador pode configurar diversas componentes do jogo, sendo duas dessas componentes de extrema importância: o conteúdo de aprendizagem (hipertextos e mapas conceituais) e os desafios ao jogador (questões de múltipla escolha).

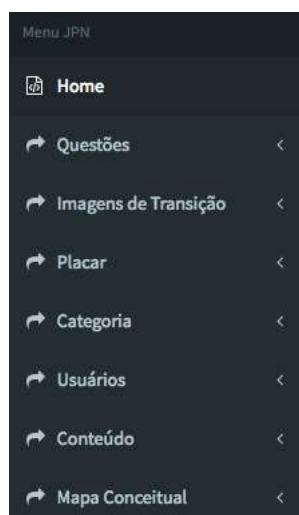


Figura 3 – Menu de administração do jogo.

Vamos concentrarmo-nos nas questões, que podem ser distribuídas por tópicos e por graus de dificuldade. Vamos ilustrar o procedimento com atomística, que foi o conteúdo usado na versão beta (DINIZ; DOS SANTOS, 2019). O conteúdo foi dividido em quatro tópicos: modelo atômico, propriedades atômicas da matéria, tabela periódica e radioatividade. As questões foram elaboradas com três graus de dificuldade: fácil, intermediário e difícil.

A interface para o cadastramento de questões é apresentada na Figura 4. Na parte superior está o campo para inserção do enunciado. Se a questão tiver figura, ela deve ser inserida no campo “Figura”. Cada questão tem uma imagem de entrada e uma de saída, a serem discutidas mais adiante. O administrador deve informar a qual tópico a questão se refere e o seu nível de dificuldade. Depois de informar as alternativas para as respostas, o administrador deve informar qual a alternativa correta.

A interface 'Cadastrar Questão' é composta por vários campos de entrada e botões. No topo, há um campo grande para o 'Enunciado'. Abaixo dele, há um campo para a 'Figura' com um botão 'Selecionar arquivo...' e o texto 'Nenhum arquivo selecionado.'. Seguem-se campos para 'Imagem de Entrada' e 'Imagem de Saída', cada um com um botão 'Selecionar arquivo...' e o texto 'Nenhum arquivo selecionado.'. Abaixo, há um campo para o 'Tópico' com o valor 'Modelo Atômico' selecionado. Segue um campo para o 'Nível' com o valor 'Fácil' selecionado. No final, há um campo rotulado 'a)' para as alternativas de resposta.

Figura 4 – Interface para o cadastramento de questões.

2.2 Interface de aprendizagem

A interface de aprendizagem consiste em hipertextos e mapas conceituais. Os hipertextos consistem em páginas de conteúdo (contidas na biblioteca) e em páginas com

as biografias dos cientistas mais importantes da área na qual o jogo está sendo aplicado. A página de entrada no ambiente de aprendizagem é apresentada na Figura 5.

Bem-vindo ao nosso ambiente de aprendizagem!

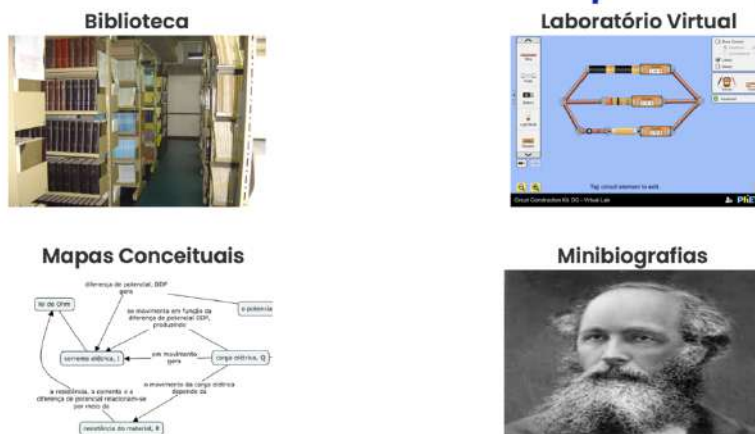


Figura 5 – Página de entrada no ambiente de aprendizagem.

Apenas como ilustração apresentaremos na Figura 6 o menu da biblioteca de atomística.



Figura 6 – Menu da biblioteca de atomística.

Além da importância pedagógica do uso de mapas conceituais, suportada em pesquisas empíricas (MOREIRA, 1979; NOVAK, 1990), foi observado, na aplicação do EBPN com atomística (DINIZ, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019) e nos ensaios preliminares com eletricidade, que os alunos são fortemente atraídos por esses mapas.

Elaboramos os mapas seguindo um roteiro ausubeliano. Ou seja, inicialmente apresentamos um mapa geral, com conceitos e fenômenos de toda a matéria, como ilustra a Figura 7, e ao longo do curso e do jogo, são apresentados os mapas específicos, para: lei de Coulomb; potencial e diferença de potencial; lei de Ohm; circuitos elétricos.

As minibiografias das personalidades citadas no texto usado em sala de aula e no jogo, são apresentadas apenas como um elemento cultural, e não como elemento do jogo em si. Na Figura 8 apresentamos o painel das minibiografias, e na Figura 9 um exemplo de minibiografia.

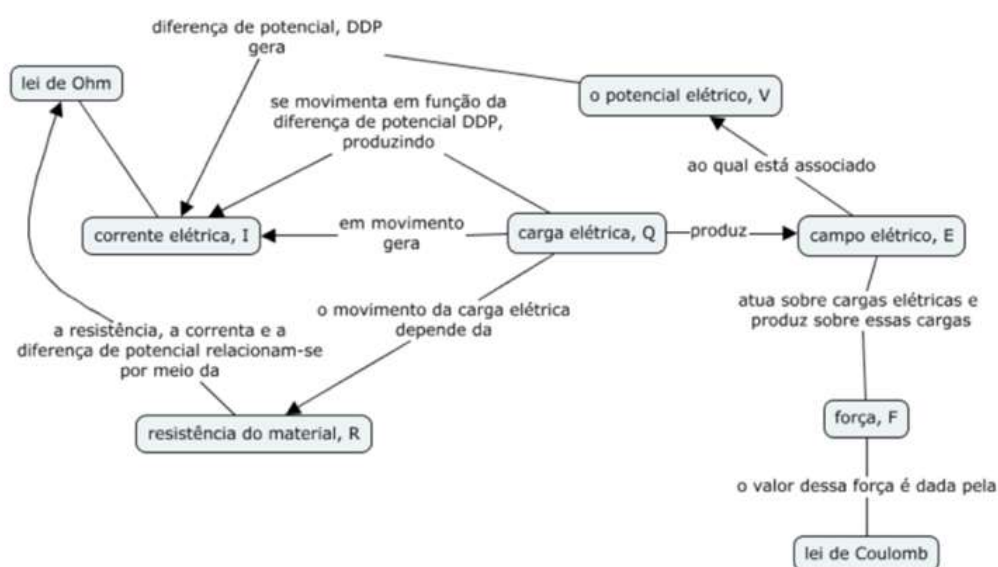


Figura 7 – Mapa conceitual geral sobre eletricidade.



Figura 8 – Painel de minibiografias sobre eletricidade.

Michael Faraday

Michael Faraday nasceu em 1791, em Newington, Inglaterra. Em 1833 assumiu o posto de professor de química na Royal Institution.

Na década de 1820 desenvolve seus estudos sobre a eletrólise, e na década seguinte elabora a lei da indução eletromagnética, também conhecida como Lei de Faraday. Esta é uma importante lei, que faz parte do conjunto de equações conhecidas como Equações de Maxwell.

É também na década de 1830 que ele desenvolve seus estudos sobre descargas elétricas em gases rarefeitos. Com um aparato experimental similar àquele usado por Faraday, Röntgen descobriu, em 1895, os raios-X.

Faleceu em Londres, no ano de 1867.

Figura 9 – Minibiografia de Michael Faraday.

2.3 Interface do jogador

Uma vez aprovado no teste de admissibilidade, ou seja, uma vez tendo acertado sequencialmente três questões fáceis, o jogador ingressa no jogo na categoria Graduação. Ele tem que passar por mais duas categorias antes de se candidatar ao Prêmio Nobel (PN): Mestrado e Doutorado. Depois ele entra na categoria de Pesquisador, quando estará credenciado para concorrer ao Nobel. O jogador passa de uma categoria a outra quando acertar, no mínimo, cinco questões da categoria. Ou seja, para ganhar o PN o jogador tem, como se verá logo abaixo, que acertar no mínimo 20 questões.

As questões na categoria Graduação referem-se exclusivamente a carga e campo elétrico. Na categoria Mestrado o assunto para as questões é potencial elétrico, enquanto na categoria Doutorado o tópico é corrente elétrica, circuitos elétricos e lei de Ohm. As questões dessas três categorias são extraídas do ENEM, com graus de dificuldade baixo ou intermediário. Na categoria Pesquisador, as questões referem-se a todos os tópicos e são selecionadas entre questões difíceis do ENEM.

Por que o ganhador tem que acertar no mínimo 20 questões? Por duas razões. Para colocar no jogo a sorte e o azar, e para simular o que ocorre na vida de qualquer cientista. É muito frequente o cientista perder parte do seu trabalho, quando tenta publicá-lo. Por exemplo, se ele tenta publicar um resultado que foi anteriormente obtido e publicado por outro, sem seu conhecimento, é grande a chance de o trabalho não ser aceito. Mesmo que o trabalho seja aceito, ele pode ficar em desvantagem na corrida pelo PN, porque a paternidade da sua descoberta é atribuída a outro cientista. Para simular essa situação, colocamos um elemento de imprevisibilidade no algoritmo. Quando o jogador responde

corretamente a última questão de cada nível (Graduação, Mestrado e Doutorado), o programa sorteia SORTE ou AZAR. Se der SORTE, ele passa para o nível seguinte ou ganha o PN. Se der AZAR, ele terá que responder nova questão, e só passará para o nível seguinte ou ganhará o PN, se acertar a última questão e tiver SORTE. Qualquer que seja o caso, o programa apresenta uma tela de congratulação ou uma tela explicando o infortúnio, conforme ilustram as Figuras 10A e 10B.

Cada questão tem uma tela de entrada e outra de saída. A tela de entrada é exibida antes da questão. Sua finalidade é alertar o jogador para o tipo de questão que ele vai ter que responder. Ele pode fazer uma autoanálise do seu conhecimento em relação ao tema, e se for o caso decidir estudá-lo antes de responder a questão. Neste caso ele sai da área de jogo e vai para a área de aprendizagem (mapas conceituais ou hipertextos).



Figura 10 – (A) Congratulação pela passagem para o grau de Doutorado; (B) Consolando pelo infortúnio.

A tela de saída é exibida se o jogador errar a questão. Sua finalidade é informar a origem do erro e encaminhá-lo para a área da biblioteca que trata do assunto abordado na questão. A título de ilustração são apresentados o enunciado de uma questão, sua tela de entrada (Figura 11) e sua tela de saída (Figura 12).

Entre os vários modelos atômicos, um dos mais conhecidos é aquele elaborado por Joseph John Thomson, conhecido na literatura como modelo do pudim de ameixa, segundo o qual:

- os elétrons têm caráter corpuscular e de onda, simultaneamente.
- no centro do átomo existe um núcleo muito pequeno e denso, cercado por elétrons.
- os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas elípticas.
- os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas circulares.
- o átomo é constituído por uma mistura homogênea de cargas elétricas positivas e negativas.

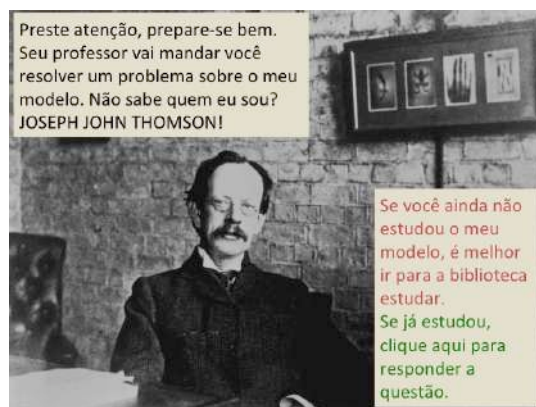


Figura 11 – Antes de ver o enunciado da questão, o jogador sabe qual o tema abordado, por meio de uma tela como esta.



Figura 12 – Quando o jogador erra, ele sabe a razão do erro e é encaminhado para o ponto da biblioteca onde encontra o hipertexto que trata o assunto da questão.

Na versão atual (1.0), depois de credenciado pelo administrador do sistema, o professor pode criar e gerenciar mais de uma turma. Como administrador da turma, o professor pode acompanhar os alunos que estão acessando o sistema incluindo a data do último acesso. Finalmente, o programa publica um painel com todas as informações do sistema: número de alunos cadastrados, quantidade de questões, turmas e pontuações de participantes do jogo.

3 VERSÃO CARTAS

Ao contrário da versão digital, que se assemelha a um tutorial com tarefas a serem vencidas individualmente pelo aluno, ou por um grupo de alunos, nesta versão para cartas o jogo é uma competição entre dois jogadores ou dois grupos de jogadores, cada um com quatro ou cinco componentes. Para facilitar a descrição, vou apresentar as regras para a competição entre grupos de quatro componentes. Os estágios mencionados aqui são os

mesmos usados na versão digital: graduação, mestrado, doutorado e pesquisador em busca do Nobel. As questões na categoria Graduação referem-se exclusivamente a carga elétrica e campo elétrico. Na categoria Mestrado o assunto para as questões é potencial elétrico, enquanto na categoria Doutorado o tópico é corrente elétrica, circuitos elétricos e lei de Ohm. As questões dessas três categorias são extraídas do ENEM, com graus de dificuldade baixo ou intermediário. Na categoria Pesquisador, as questões referem-se a todos os tópicos e são selecionadas entre questões difíceis do ENEM.

As cartas do jogo contêm as questões utilizadas na versão digital, como ilustra a Figura 13 para o nível de graduação. Os jogadores recebem um texto com o conteúdo da matéria. Eles podem estudar individualmente, ou em atividades programadas pelo professor, ou durante o jogo, conforme regras apresentadas a seguir. A disposição das cartas na mesa é apresentada na Figura 14.

G3

Uma menina começa a pentear seus longos cabelos usando um pente de plástico, quando percebe que o pente atrai pequenos pedaços de papel que se encontram sobre a mesa. Esse fenômeno acontece por que (Adaptado de Gualter et al, 2007):

- a) O pente é um bom condutor elétrico.
- b) O papel é um bom condutor elétrico.
- c) Os pedaços de papel já estavam eletrizados.
- d) O pente ficou eletrizado por atrito no cabelo.
- e) Entre o pente e os pedaços de papel ocorre atração gravitacional.

Figura 13 – Carta da questão 3 da graduação.

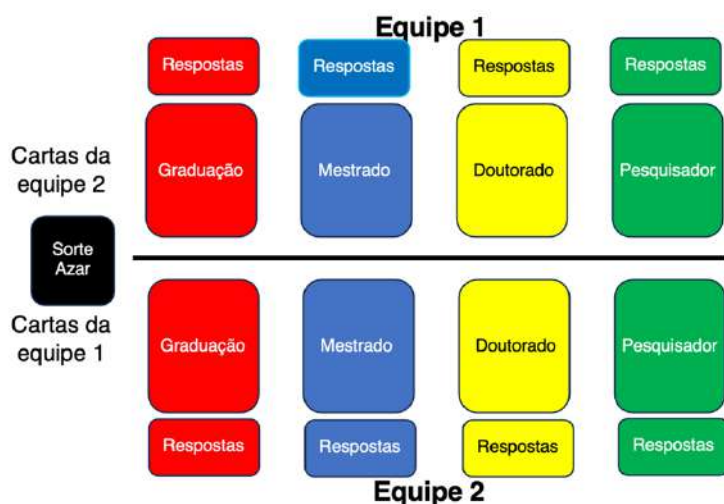


Figura 14 – Disposição das cartas na mesa. Abaixo das cartas de perguntas são colocadas as cartas com as respostas.

O jogo começa com o sorteio dos componentes de cada equipe para ocupar cada um dos estágios. Ou seja, um componente será sorteado para a graduação, outro para o mestrado, e assim por diante. O jogo procede assim:

1. A equipe sorteada para iniciar o jogo (suponhamos, equipe 1) retira a carta de cima do conjunto graduação da equipe 2 e entrega a carta para o adversário ler a questão. Se este acertar, a carta volta para baixo do conjunto, e o jogador da equipe 1 retira outra carta do conjunto graduação e repete o procedimento. Quando o jogador adversário erra a questão, a carta volta para o final do conjunto, e o jogador da equipe 2 retira a carta do conjunto da equipe 1 e prossegue como descrito acima.
2. A equipe passa de estágio quando seus componentes acertam 5 questões. Portanto, a equipe ganha o Nobel quando acerta pelo menos 20 questões.
3. Cada vez que um jogador acerta uma questão, em qualquer estágio, ele retira uma carta do conjunto SORTE/AZAR. Se a carta tiver a palavra SORTE, ele segue o jogo; se a carta tiver a palavra AZAR, o jogador perde a questão que acertou, é como se tivesse errado a questão.
4. Cada jogador pode pedir ajuda da equipe. Se o colega que vai ajudá-lo (jogador-auxiliar) errar a questão, é como se o jogador tivesse errado, e tudo segue como descrito no item 1. Se o jogador-auxiliar acertar a questão, o jogador em ação não poderá mais solicitar ajuda.
5. Os componentes da equipe que está questionando podem consultar o livro de conteúdo, o que é impedido para os componentes da equipe que está respondendo.

4 TEXTO AUSUBELIANO*

Como afirmamos acima, o material elaborado para esta intervenção didática, disponível digitalmente na biblioteca do jogo, foi impresso (ver Apêndice E) e distribuído para leitura durante as aulas. O texto foi escrito seguindo os fundamentos da teoria de aprendizagem significativa de Ausubel. A partir do sumário (Figura 15) é possível fazer um paralelo entre a estrutura do texto e os fundamentos da teoria de Ausubel.

Sumário

Apresentação	1
Organizador Prévio 1 – Carga e Campo Elétrico	3
Capítulo 1 – Carga Elétrica	7
Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico	21
Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia	23
Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm	37
Organizador Prévio 4 - Eletrodinâmica	43
Capítulo 3 – Eletrodinâmica	51
Capítulo 4 – Circuitos Elétricos	63

Figura 15 – Sumário do texto ausubeliano “Eletrostática e Eletrodinâmica.

Um artigo que Ausubel publicou em 1957, com Lillian Cuxier Bobbins e Elias Blake Jr. (AUSUBEL, D. P.; ROBBINS, L. C.; BLAKE JR, E., 1957), talvez seja o primeiro no qual ele enunciou um dos fundamentos da sua teoria de aprendizagem significativa. Pela sua relevância histórica, e pela aderência à nossa proposta de texto ausubeliano, vale a pena apresentar aqui uma tradução livre de parte deste artigo:

Materiais significativos são invariavelmente relacionados a uma estrutura cognitiva existente que é hierarquicamente organizada em termos de grupos conceituais altamente estáveis e inclusivos sob os quais são subsumidos dados ilustrativos menos estáveis e mais específicos. À medida que entram no campo cognitivo, são apropriadamente "catalogados" sob focos conceituais relevantes, uma vez que esta é a maneira mais ordenada e eficiente de organizar grandes quantidades de material para pronta disponibilidade. (...) Como é mais econômico e menos oneroso, no entanto, subsumir o máximo de material sob categorias tão inclusivas quanto possível, a importação de muitos itens ilustrativos específicos é assimilada pelo significado generalizado dos focos subsumidores mais estabelecidos e altamente conceituados.

Essa ideia genérica de subsunções (conceitos altamente estáveis e inclusivos) e subsumidos é o principal elemento de uma abordagem didática ausubeliana, e que por sua complexidade é também o mais negligenciado nas aplicações reportadas na literatura. Não é uma tarefa simples definir quais são os subsunções de determinada área de

* Interessados em usar o texto ausubeliano podem entrar em contato: cas.ufrgs@gmail.com

conhecimento. Para o caso de eletromagnetismo na disciplina de física básica de cursos universitários, Moreira definiu o seguinte cenário (MOREIRA, M. A., 1977):

De acordo com a teoria de Ausubel, as ideias, fenômenos e conceitos mais inclusivos e gerais devem ser apresentados no início da instrução para servir como "âncora" conceitual para o aprendizado subsequente. Seguindo esse princípio, as Equações de Maxwell e conceitos inclusivos como força eletromagnética e campo eletromagnético foram introduzidos, nos grupos experimentais, no início do curso, a fim de servir como base para a apresentação subsequente de fenômenos elétricos e magnéticos.

Se a ideia de Moreira parece válida para cursos universitários, ela não pode ser aplicada em cursos do ensino médio. Neste caso, entendemos que os conceitos mais inclusivos são aqueles a partir dos quais se desenvolve toda a área do conhecimento. Ou seja, em qualquer instância da área do conhecimento vemos suas presenças. É por isso que definimos carga elétrica e campo elétrico como os principais subsunçores da disciplina. Portanto, o primeiro organizador prévio (OP) aborda esses dois conceitos de um modo generalizante, como prescreve Ausubel. Sugerimos a leitura do texto (Apêndice E), para melhor apreciar a apropriação da teoria de aprendizagem significativa.

Ao longo do texto é mostrado que o potencial é um conceito que se aplica no caso gravitacional, no caso eletromagnético, e no caso nuclear. É dito também, de modo qualitativo e genérico, que a energia potencial é uma energia de configuração, e que a energia cinética é uma energia de atividade, ou de movimento. Da mesma forma genérica, o texto faz uma referência a uma concepção equivocada muito comum entre alunos do ensino médio, e mesmo entre calouros dos cursos de engenharia, segundo a qual é necessário ter uma corrente elétrica para ter um potencial em qualquer ponto de um fio condutor. Na verdade, não é a corrente elétrica que produz o potencial, ou a diferença de potencial.

É o contrário. É a diferença de potencial que produz a corrente.

A estrutura didática segundo a teoria de Ausubel, começa com a definição dos subsunçores, geralmente explorada nos organizadores prévios. Depois, o conteúdo se desenvolve a partir do que Ausubel chama de diferenciação progressiva e reconciliação integrativa. A diferenciação progressiva se dá quando as ideias mais gerais e inclusivas são diferenciadas no contexto formal da disciplina. Em seguida a reconciliação integrativa se dá quando os conceitos mais gerais são conectados uns aos outros por meio de fórmulas e definições e ilustrados com exemplos. Todo o texto que elaboramos é permeado por esses fundamentos.

5 APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL

Como já foi dito, o jogo EBPB é do tipo multiplataforma e multitemático. Sua estrutura é tal que ele pode ser usado no formato digital (acessado por qualquer dispositivo eletrônico), no formato de cartas e no formato de tabuleiro. Além disso, ele pode ser usado com qualquer tema, bastando para isso a alteração no banco de questões. Além disso, ele pode ser usado com qualquer referencial pedagógico. O que se descreve a seguir, a título de ilustração, é como ele foi usado no âmbito da dissertação supra referida.

Sequência didática da turma que jogou com a versão digital:

Datas	Aulas	CONTEÚDO
1/3/2023	Aulas 1 e 2	Apresentação da disciplina, metodologia, visão geral do JPN, aplicação do TANC e a primeira aplicação do Teste de Concepções Alternativas
8/3/2023	Aulas 3 e 4	Leitura e discussão do Organizador Prévio Geral - Eletrostática e Eletrodinâmica e do Organizador Prévio 1 - Carga Elétrica e Campo Elétrico
15/3/2023	Aulas 5 e 6	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
22/3/2023	Aulas 7 e 8	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
29/3/2023	Aulas 9 e 10	Experimentos sobre condutividade elétrica e demonstração do gerador de Van de Graaff de acordo com o Capítulo 1.
5/4/2023	Aulas 11 e 12	Avaliação 1 do primeiro do bimestre
12/4/2023	Aulas 13 e 14	Leitura e discussão do Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico e início do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
19/4/2023	Aulas 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
3/5/2023	Aula 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
10/5/2023	Aulas 17 e 18	Avaliação 2 do primeiro do bimestre
17/5/2023	Aulas 19 e 20	Leitura e discussão do Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm
31/5/2023	Aulas 21 e 22	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
7/6/2023	Aulas 22 e 23	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica e início do capítulo 3 - Eletrodinâmica
14/6/2023	Aulas 24 e 25	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
5/7/2023	Aulas 26 e 27	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica

12/7/2023	Aulas 28 e 29	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
19/7/2023	Aulas 30 e 31	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
26/7/2023	Aulas 32 e 33	Avaliação do segundo bimestre
2/8/2023	Aula 34	Segunda aplicação do Teste de Concepções Alternativas
2/8/2023	Aula 35	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
9/8/2023	Aulas 36 e 37	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
16/8/2023	Aulas 38 e 39	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
23/8/2023	Aulas 40 e 41	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
26/8/2023	Aula 42 e 43	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
30/8/2023	Aulas 44 e 45	Avaliação do terceiro bimestre
13/9/2023	Aulas 46 e 47	Apresentação do site https://eletro.jpnnobel.com.br/
20/9/2023	Aulas 48 e 49	Continuação da apresentação do site. Exemplificando alguns experimentos do laboratório virtual e explicando o funcionamento do jogo prêmio Nobel. Demonstrando o ambiente do jogador (aluno). informática para os alunos navegarem pelo site e estudarem pela biblioteca e se familiarizarem com o laboratório virtual.
27/9/2023	Aulas 50 e 51	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 1 - Experimentos sobre cargas e campos
4/10/2023	Aulas 52 e 53	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 2 - Experimentos de eletrostática com balões
11/10/2023	Aulas 54 e 55	Atividade no laboratório de informática - Laboratório 2 - Laboratório 3 - Experimentos circuitos elétricos
18/10/2023	Aulas 56 e 57	Jogo em busca do prêmio Nobel
25/10/2023	Aulas 58 e 59	Jogo em busca do prêmio Nobel
1/11/2023	Aulas 60 e 61	Jogo em busca do prêmio Nobel
8/11/2023	Aulas 62 e 63	Jogo em busca do prêmio Nobel
22/11/2023	Aulas 64 e 65	Jogo em busca do prêmio Nobel
29/11/2023	Aulas 66 e 67	Aplicação do Questionário de reação do jogo e do TANC
6/12/2023	Aulas 68 e 69	Terceira aplicação do Teste de Concepções Alternativas

13/12/2023 Aulas 70 e 71 **Avaliação do quarto bimestre**

Sequência didática da turma que jogou com a versão cartas:

Datas	Aulas	CONTEÚDO
6/3	Aula 1	Apresentação da disciplina, metodologia e da apostila
7/3	Aula 2	Primeira aplicação do TANC e do Teste de Concepções Alternativas
13/3	Aula 3	Leitura e discussão do Organizador Prévio Geral - Eletrostática e Eletrodinâmica;
14/3	Aula 4	Leitura e discussão do Organizador Prévio 1 - Carga Elétrica e Campo Elétrico
20, 21, 27 e 28/3	Aulas 5, 6, 7 e 8	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
3 e 4/4	Aulas 9 e 10	Leitura e discussão do Capítulo 1 Carga Elétrica
10/4	Aula 11	Experimentos sobre condutividade elétrica e demonstração do gerador de Van de Graaff de acordo com o Capítulo 1.
11/4	Aula 12	Avaliação 1 do primeiro do bimestre
18/4	Aula 13	Leitura e discussão do Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico
19, 24 e 25/4	Aulas 14, 15 e 16	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
2, 8, 9 e 15/5	Aulas 17, 18, 19 e 20	Leitura e discussão do Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia
16/5	Aula 21	Avaliação 2 do primeiro do bimestre
23 e 29/5	Aulas 22 e 23	Leitura e discussão do Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm
30/5	Aula 24	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
5 e 6/6	Aulas 25 e 26	Leitura e discussão do Organizador Prévio 4 – Eletrodinâmica
12 e 13/6	Aulas 27 e 28	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
3, 4, 10, 11, 17 e 18/7	Aulas 29, 30, 32, 33 e 34	Leitura e discussão do Capítulo 3 - Eletrodinâmica
24/7	Aula 35	Avaliação do segundo bimestre
25 e 31/7	Aulas 36 e 37	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
1, 7, 8, 14, 15, 21 e 28 /8	Aulas 38, 39, 40, 41, 42, 43 e 44	Leitura e discussão do Capítulo 4 – Circuitos Elétricos
29/8	Aula 45	Segunda aplicação do Teste de Concepções Alternativas
4/9	Aula 46	Avaliação bimestral

5/9	Aula 47	Apresentação do Jogo do Prêmio Nobel – Versão de Cartas Divisão das equipes por meio de sorteio e leitura das regras
12/9	Aula 48	Início do Jogo do Prêmio Nobel
18/9	Aula 49	Jogo do Prêmio Nobel
19/9	Aula 50	Jogo do Prêmio Nobel
25/9	Aula 51	Jogo do Prêmio Nobel (as quatro equipes mudaram da graduação para o mestrado).
26/9	Aula 52	Jogo do Prêmio Nobel
6/10	Aula 53	Jogo do Prêmio Nobel
9/10	Aula 54	Jogo do Prêmio Nobel (duas equipes mudaram para o nível de doutorado).
10/10	Aula 55	Jogo do Prêmio Nobel (uma equipe passou para o nível de pesquisador).
16/10	Aula 55	Jogo do Prêmio Nobel (mais uma equipe passou para o nível de pesquisador).
17/10	Aula 56	Jogo do Prêmio Nobel
24/10	Aula 57	Jogo do Prêmio Nobel
30/10	Aula 58	Jogo do Prêmio Nobel (uma equipe venceu o jogo)
31/10	Aula 59	Jogo do Prêmio Nobel (última equipe a chegar no nível pesquisador).
6/11	Aula 60	Aplicação do Questionário de reação do jogo e do TANC
7/11	Aula 61	Terceira aplicação do Teste de Concepções Alternativas
27 e 28/11	Aulas 62 e 63	Revisão do conteúdo para avaliação
4 e 5/12	Aulas 64 e 64	Revisão do conteúdo para avaliação
11/12	Aula 65	Avaliação do quarto bimestre

As avaliações eram baseadas no conteúdo da apostila. E as discussões das leituras do material também envolviam exercícios como exemplos. Além das avaliações bimestrais, os alunos foram avaliados de acordo com a participação com relação à leitura em sala de aula, aos comentários feitos durante as discussões, às realizações das atividades propostas de laboratórios presentes no JPN e no desempenho no próprio jogo.

REFERÊNCIAS

AUSUBEL, D. P.; ROBBINS, L. C.; BLAKE JR, E. Retroactive inhibition and facilitation in the learning of school materials. **Journal of Educational Psychology**, v. 48, n. 6, p. 334–343, 1957.

BAŞER, M.; GEBAN, Ö. Effect of instruction based on conceptual change activities on students' understanding of static electricity concepts. **Research in Science & Technological Education**, v. 25, n. 2, p. 243–267, 2007.

BILAL, E.; EROL, M. Investigating students' conceptions of some electricity concepts. **Latin-American Journal of Physics Education**, v. 3, n. 2, p. 193–201, 2009.

CHAMBERS, S. K.; ANDRE, T. Gender, Prior Knowledge, Interest, and Experience in Electricity and Conceptual Change Text Manipulations in Learning about Direct Current. **Journal of Research in Science Teaching**, 1997.

CORUHLU, T. S.; CALIK, M.; CEPNI, S. Effect of conceptual change pedagogies on students' alternative conceptions of electricity resistance and electricity current. **Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies**, 2012.

DE AQUINO, E. M. et al. EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL: UM JOGO DIGITAL MULTIPLATAFORMA E MULTITEMÁTICO. **REPPE-Revista de Produtos Educacionais e Pesquisas em Ensino**, v. 7, n. 2, p. 413–432, 2023.

DILBER, R.; DUZGUN, B. **Effectiveness of Analogy on Students' Success and Elimination of Misconceptions** *Am. J. Phys. Educ.* [s.l.: s.n.]. Disponível em: <<http://www.journal.lapen.org.mx>>.

DINIZ, F. V. S.; DOS SANTOS, C. A. Ensinando atomística com o jogo digital “Em busca do Prêmio Nobel”. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. e20180268, 2019.

DOS SANTOS, C. A.; DE AQUINO, E. M. Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3501-5, 2018.

ENGELHARDT, P. V.; BEICHER, R. J. Students' understanding of direct current resistive electrical circuits. **American Journal of Physics**, 2004.

EYLLON, B. S.; GANIEL, U. Macro-micro relationships: the missing link between electrostatics and electrodynamics in students' reasoning. **International Journal of Science Education**, v. 12, n. 1, p. 79–94, 1990.

GEESLIN, W. E.; SHAVELSON, R. J. An Exploratory analysis of the representation of a mathematical structure in students' cognitive structures. **American Educational Research Journal**, v. 12, n. 1, p. 21–39, 1975.

GIGUÈRE, G. Collecting and analyzing data in multidimensional scaling experiments: A guide for psychologists using SPSS. **Tutorials in Quantitative Methods for Psychology**, v. 2, n. 1, p. 26–37, 2006.

GLINER, G. S. A Note on a Statistical Paradigm for the Evaluation of Cognitive Structure in Physics Instruction. **Applied Psychological Measurement**, v. 5, n. 4, p. 493–502, 1981.

HASHISH, A. H.; SEYD-DARWISH, I.; TIT, N. Addressing some physical misconceptions in electrostatics of Freshman Engineering students. **International Journal for Innovation Education and Research**, v. 8, n. 2, p. 1–7, 2020.

KIRKPATRICK, D. **Evaluating training programs: The four levels**. San Francisco: Berrett-Koehler Publishers, 2006.

KÜÇÜKÖZER, H.; KOCAKÜLAH, S. **Secondary School Students' Misconceptions about Simple Electric Circuits**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <<http://www.tused.org>>.

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.

MÉTIOUI, A.; TRUDEL, L.; MACWILLIE, M. B. PRESERVICE PRIMARY TEACHERS' REPRESENTATIONS AFTER TEACHING OF THE ELEMENTARY ELECTROSTATIC PHENOMENA. **Science & Technologies**, v. 5, n. 3, p. 115–120, 2015.

MI, S. et al. Development and validation of a conceptual survey instrument to evaluate senior high school students' understanding of electrostatics. **Physical Review Physics Education Research**, v. 19, n. 1, p. 010114, 2023.

MOREIRA, M. A. **An Ausubelian approach to physics instruction: an experiment in an introductory college course in eletromagnetism**. Thesis—Ithaca: Cornell University, 1977.

MOREIRA, M. A. Concept Maps as Tools for Teaching. **Journal of College Science Teaching**, v. 8, n. 5, p. 283–286, 1979.

MOREIRA, M. A.; DOS SANTOS, C. A. The Influence Of Content Organization On Student'S Cognitive Structurein Thermodynamics. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 18, p. 525–531, 1981.

MOYNIHAN, R. et al. Helping lower secondary students develop conceptual understanding of electrostatic forces. **Sch. Sci. Rev**, v. 98, n. 363, p. 101–108, 2016.

NE. **Students' Conceptual Knowledge about Electricity and Magnetism and Its Implications: An Example of Turkish University**. [s.l: s.n.].

NKOPANE, L. et al. **Alternative Conceptions about Simple Electric Circuits amongst High School FET Band Learners**. [s.l: s.n.].

NOVAK, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 10, p. 937–949, 1990.

ONDER-CELIKKANLI, N.; TAN, M. Determining Turkish high school students' misconceptions about electric charge imbalance by using a four-tier misconception test. **Physics Education**, v. 57, n. 5, p. 055010, 2022.

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**, 1992.

STEFANIDOU, C. G. et al. Conceptual Difficulties Pre-Service Primary Teachers Have with Static Electricity. **Journal of Baltic Science Education**, v. 18, n. 2, p. 300–313, 2019.

SUBKOVIK, M. J. The Use of Multidimensional Scaling in Educational Research. **Review of Educational Research**, v. 45, n. 3, p. 387–423, 1975.

THRO, M. P. Relationships Between Associative and Content Structure of Physics Concepts. **Journal of Educational Psychology**, v. 70, n. 6, p. 971–978, 1978.

Apêndice A

Teste de Concepções Alternativas (TCA)

Eletrostática e circuitos elétricos

1) Quando a humidade do ar é baixa, diz-se que o ambiente se encontra seco. Nessas circunstâncias as pessoas podem sentir pequenos choques elétricos ao tocarem objetos metálicos, com maçanetas de porta. Esse fenômeno é consequência do fato de que o corpo humano pode se comportar com um condutor, ou seja:

- a) oferece resistência nula ao movimento da quantidade líquida de carga através do corpo.
- b) permite que uma quantidade líquida de carga se desloque com facilidade através do corpo.
- c) permite que uma quantidade líquida de carga se desloque com dificuldade através do corpo.
- d) reduz o deslocamento da quantidade líquida de carga em função do aumento da diferença de potencial.
- e) alterna a capacidade de deslocamento da quantidade líquida de carga no corpo, facilitando ou dificultando o fenômeno.

2) Durante uma tempestade, um bom local para se proteger dos raios é o interior de um carro, desde que não seja conversível. A razão para essa proteção é:

- a) Isolamento elétrico dos pneus.
- b) Efeito de para-raios da antena.
- c) Blindagem pela carcaça metálica.
- d) Escoamento da água pela lataria.
- e) Aterramento pelo fio terra da bateria.

3) Por qual motivo ocorre a eletrização ilustrada na tirinha?

- a) Troca de átomos entre a calça e os pelos do gato.
- b) Diminuição do número prótons nos pelos do gato.
- c) Criação de novas partículas eletrizadas nos pelos do gato.
- d) Movimentação de elétrons entre a calça e os pelos do gato.
- e) Repulsão entre partículas elétricas da calça e dos pelos do gato.

4) Um pente plástico é atritado com papel toalha seco. A seguir ele é aproximado de pedaços de papel que são atraídos e acabam grudados ao pente. Essa movimentação dos pedaços de papel até o pente é explicada pelo fato de os papeizinhos



- a) Serem influenciados pela força de atrito que ficou retida no pente.
- b) Serem influenciados pela força de resistência do ar em movimento.
- c) Experimentarem um campo elétrico capaz de exercer forças elétricas.
- d) Experimentarem um campo magnético capaz de exercer forças magnéticas.
- e) Possuírem carga elétrica que permite serem atraídos ou repelidos pelo pente.

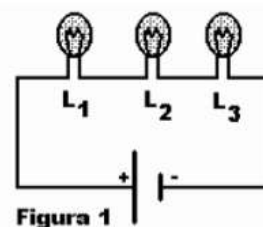
5) Enquanto fazia a limpeza em seu local de trabalho, uma pessoa se surpreendeu com o seguinte fenômeno: depois de limpar um objeto de vidro, esfregando-o vigorosamente com um pedaço de pano de lã, percebeu que o vidro atraiu para si pequenos pedaços de papel que estavam espalhados sobre a mesa. O motivo da surpresa consiste no fato de que:

- a) Quando o vidro é atritado com a lã, prótons do vidro são retirados, tornando-o negativamente eletrizado, possibilitando que atraísse os pedaços de papel.
- b) O atrito entre o vidro e a lã aqueceu o vidro e o calor produzido foi o responsável pela atração dos pedaços de papel.
- c) Ao esfregar a lã no vidro, um campo magnético é criado ao redor do vidro semelhante ao existente ao redor de um ímã.
- d) Quando esfregados um contra o outro, a lã e o vidro, tornam-se eletricamente neutros, impedindo que o vidro repelisse os pedaços de papel.
- e) O atrito entre o vidro e a lã fez um dos dois perder elétrons e o outro ganhar, eletrizando os dois, o que permitiu que o vidro atraísse os pedaços de papel.

Em todas as questões a seguir admite-se que as lâmpadas sejam iguais. Os brilhos das lâmpadas crescem quando a intensidade da corrente elétrica aumenta. A bateria representada tem resistência elétrica desprezível.

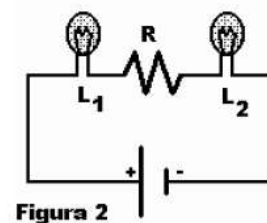
6) No circuito da figura 1 pode-se afirmar que:

- (a) L1 brilha mais do que L2 e esta mais do que L3.
- (b) L3 brilha mais do L2 e esta mais do que L1.
- (c) As três lâmpadas têm o mesmo brilho.



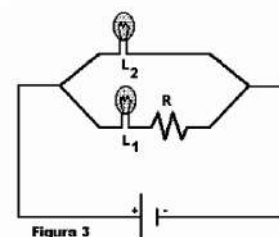
7) No circuito da figura 2, R é um resistor. Neste circuito:

- (a) L1 e L2 têm o mesmo brilho.
- (b) L1 brilha mais do L2.
- (c) L2 brilha mais do L1.



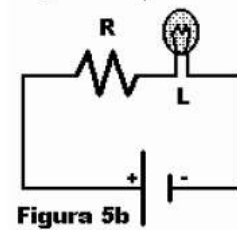
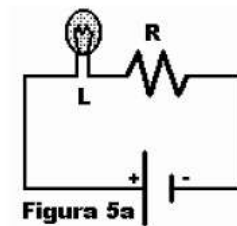
8) No circuito da figura 3, R é um resistor. Neste circuito:

- (a) L1 tem o mesmo brilho que L2.
- (b) L2 brilha mais do que L1
- (c) L1 brilha mais do que L2.



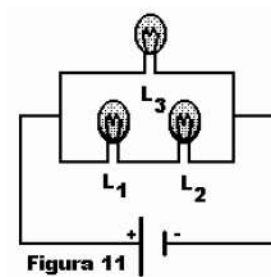
9) Nos circuitos 5a e 5b a lâmpada L, o resistor R e a bateria são exatamente os mesmos. Nestas situações:

- (a) L brilha mas no circuito 5a.
- (b) L brilha igual em ambos circuitos.
- (c) L brilha mais no circuito 5b.



10) No circuito da figura 11:

- (a) L1 e L2 têm o mesmo brilho que menor do que o de L3.
- (b) L1 brilha mais do que L2 e do que L3.
- (c) L1, L2 e L3 brilham igualmente.



Apêndice B

Teste de Associação Numérica de Conceitos (TANC)

Eletricidade

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Lei de Ohm - Força elétrica									
Potencial elétrico - Lei de Coulomb									
Resistência elétrica – Lei de Ohm									
Corrente elétrica - Lei de Ohm									
Força elétrica – Corrente elétrica									
Lei de Ohm - Lei de Coulomb									
Resistência elétrica – Lei de Coulomb									
Corrente elétrica – Potencial elétrico									
Lei de Coulomb - Força elétrica									
Diferença de potencial - Resistência elétrica									
Diferença de potencial - Lei de Coulomb									
Campo elétrico - Resistência elétrica									
Lei de Coulomb – Corrente elétrica									
Corrente elétrica - Diferença de potencial									
Diferença de potencial - Lei de Ohm									
Força elétrica - Diferença de potencial									
Potencial elétrico - Diferença de potencial									
Potencial elétrico - Lei de Ohm									
Carga elétrica – Campo elétrico									
Potencial elétrico – Carga elétrica									
Carga elétrica - Diferença de potencial									
Lei de Coulomb – Carga elétrica									
Resistência elétrica – Potencial elétrico									
Carga elétrica – Corrente elétrica									
Lei de Ohm – Carga elétrica									
Carga elétrica - Força elétrica									
Campo elétrico – Potencial elétrico									
Diferença de potencial – Campo elétrico									
Campo elétrico - Lei de Coulomb									
Corrente elétrica – Campo elétrico									
Força elétrica – Campo elétrico									
Resistência elétrica – Força elétrica									
Campo elétrico - Lei de Ohm									
Corrente elétrica - Resistência elétrica									
Carga elétrica - Resistência elétrica									
Potencial elétrico - Força elétrica									

Apêndice C

Questionário de reação ao jogo EBPN

C1 – Versão digital

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
Eu estou confiante com o aprendizado que obtive no jogo					
Depois do jogo, eu consigo compreender conceitos básicos de eletricidade					
Houve momentos em que eu queria desistir do jogo					
Eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo					
Eu jogaria novamente o EBPN					
Fiquei torcendo pelo jogo acabar logo					
O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria					
O layout do jogo é atraente					

C2 – Versão cartas

	Discordo totalmente	Discordo parcialmente	Não concordo nem discordo	Concordo parcialmente	Concordo totalmente
Eu estou confiante com o aprendizado que obtive no jogo					
Depois do jogo, eu consigo compreender conceitos básicos de eletricidade					
Houve momentos em que eu queria desistir do jogo					
Eu alcancei rapidamente os objetivos do jogo					
Eu jogaria novamente o EBPN					
Fiquei torcendo pelo jogo acabar logo					
O jogo foi mais difícil de entender do que eu gostaria					
O desenho das cartas do jogo é atraente					

Apêndice D

Questionário de reação ao texto ausubeliano

	1 Discordo totalmente	2 Discordo parcial- mente	3 Não con- cordo nem discordo	4 Concordo parcial- mente	5 Concordo totalmente
1 – O aspecto visual da apostila é agradável					
2 – As imagens são agradáveis e ilustram bem o texto					
3 – A redação é clara					
4 – O estilo da redação é agradável					
5 – Eu gostaria de usar a apostila em meus estudos futuros					
6 – Eu tive prazer em ler a apostila					
7 – O conceito de carga elétrica ficou claro depois da leitura da apostila					
8 – O conceito de força elétrica ficou claro depois da leitura da apostila					
9 – O conceito de campo elétrico ficou claro depois da leitura da apostila					
10 – O conceito de potencial elétrico ficou claro depois da leitura da apostila					
11 – O conceito de corrente elétrica ficou claro depois da leitura da apostila					
12 – O conceito de resistência elétrica ficou claro depois da leitura da apostila					
13 – O conceito de diferença de potencial ficou claro depois da leitura da apostila					
14 – O conceito de força eletromotriz ficou claro depois da leitura da apostila					

Apêndice E

Texto ausubeliano sobre eletricidade

Polo 09

MNPEF

Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

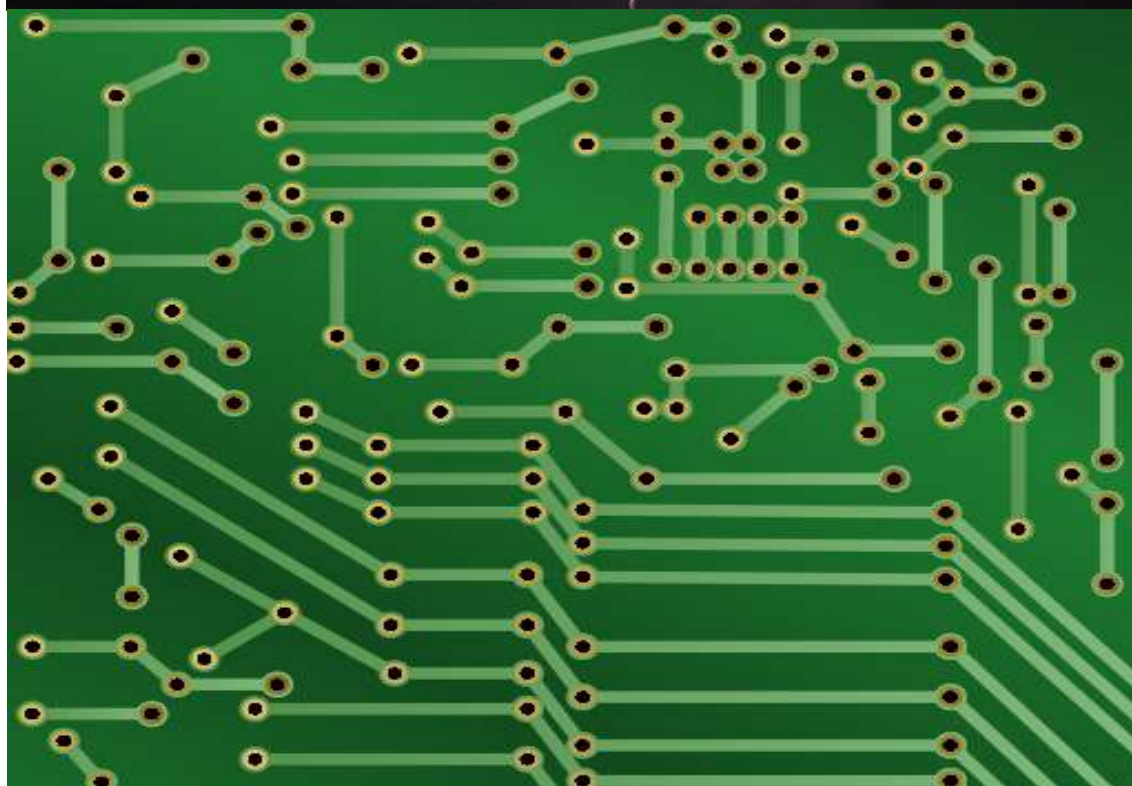
UFERSA

Universidade
Federal Rural
do Semi-Árido



Eletrostática e Eletrodinâmica

Texto ausubeliano para o ensino médio



Eliabe Maxsuel de Aquino, Geovani Ferreira Barbosa,
Carlos Alberto dos Santos

Sumário

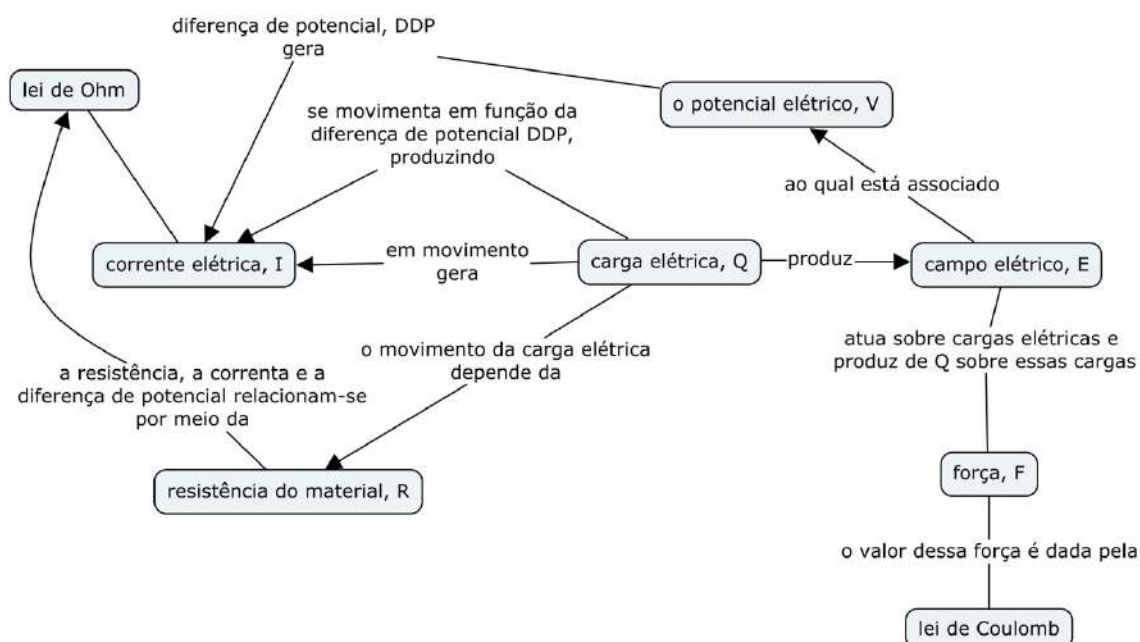
Apresentação	1
Organizador Prévio 1 – Carga e Campo Elétrico	3
Capítulo 1 – Carga Elétrica	7
Organizador Prévio 2 – Potencial Elétrico	21
Capítulo 2 – Campo, Potencial, Força e Energia	23
Organizador Prévio 3 – Corrente Elétrica, Circuitos Elétricos e Lei de Ohm	37
Organizador Prévio 4 - Eletrodinâmica	43
Capítulo 3 – Eletrodinâmica	51
Capítulo 4 – Circuitos Elétricos	63

Organizador Prévio Geral

Eletrostática e Eletrodinâmica

Abordaremos os conceitos de eletrostática e eletrodinâmica de acordo com a teoria de aprendizagem de David Ausubel, segundo a qual, textos introdutórios, denominados Organizadores Prévios, deverão ser apresentados antes de cada capítulo, com uma visão geral e qualitativa do que será tratado. E antes de todos os capítulos, ou seja, no início do curso, um Organizador Prévio Geral deverá ser apresentado com uma visão geral da disciplina.

Esse mapa conceitual contém todos os conceitos a serem abordados na disciplina. Nele, a carga elétrica tem uma posição central, porque é o conceito mais fundamental do eletromagnetismo em geral, e da eletricidade em particular.



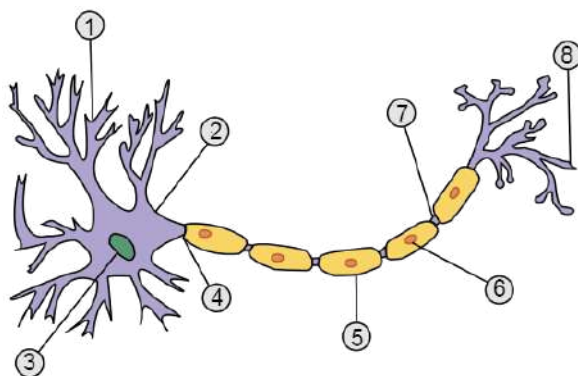
A carga elétrica produz um campo elétrico, e a este está associado um potencial elétrico. Desses três conceitos decorrem todos os fenômenos observados em experimentos de eletricidade:

- ⇒ É por meio do campo elétrico que uma carga exerce força elétrica sobre outra. O valor dessa força é dado pela lei de Coulomb.
- ⇒ É por meio da diferença de potencial que surgem correntes elétricas nos condutores. Estes apresentam certa resistência à passagem da corrente elétrica por meio da sua resistência elétrica. A relação entre diferença de potencial, resistência e corrente elétrica é dada pela lei de Ohm.

Organizador Prévio 1

Carga Elétrica e Campo Elétrico

São poucos os recursos tecnológicos contemporâneos que não fazem uso da eletricidade, que também desempenha papel importantíssimo na medicina, quer seja quanto aos fenômenos biológicos ou quanto aos equipamentos contemporâneos. Para citar apenas alguns exemplos: raios-X, tomografia computadorizada, ressonância magnética nuclear, *pet scan*, ultrassonografia, eletroencefalograma, eletrocardiograma, entre outros. Além disso, praticamente todas as funções e atividades dos corpos dos seres vivos de algum modo envolvem eletricidade. A ação cerebral é basicamente de natureza elétrica. Por exemplo, o neurônio¹, principal componente do nosso tecido nervoso, é uma célula especializada na recepção, interpretação e transmissão de sinais elétricos.



Estrutura básica de um neurônio. (1) Dendrito; (2) Corpo celular; (3) Núcleo; (4) Axônio; (5) Bainha de mielina; (6) Célula de Schwann; (7) Nó de Ranvier; (8) Terminal do axônio. Fonte: Adaptado de "Anatomy and Physiology" by the US National Cancer Institute's Surveillance, Epidemiology and End Results (SEER) Program.

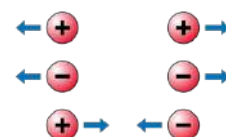
Outro caso biológico interessante, curioso e que continua desafiando os cientistas é o dos peixes elétricos, como esse peixe elétrico azul Cichlid, exposto no aquário de Houston (EUA). A pergunta que ainda não tem resposta consensual é: como eles desenvolvem a habilidade de produzir descargas elétricas? Em um artigo científico publicado recentemente por pesquisadores da Universidade do Texas e da Universidade Estadual de Michigan (EUA), os autores concluíram que o fenômeno tem a ver com mutação genética e com variação de potencial elétrico nos neurônios.



¹ A menos que seja dito o contrário, todas as ilustrações usadas aqui são de domínio público e disponíveis em https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page.

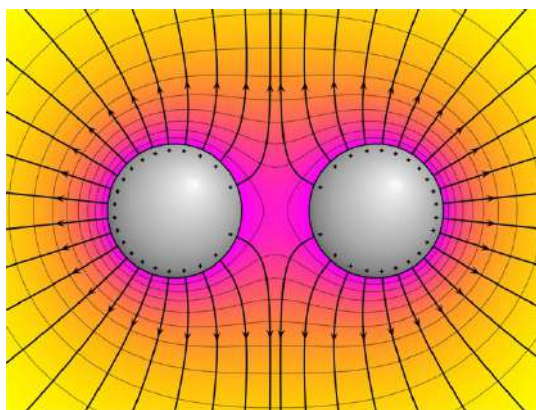
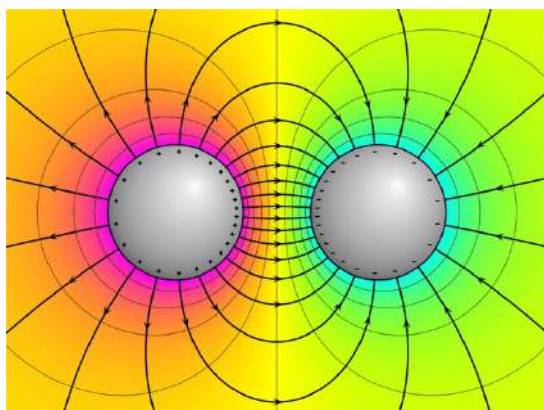
Resumindo tudo isso, podemos dizer que não importa onde ocorra o fenômeno elétrico, ele sempre tem sua origem na existência de cargas elétricas. Isso é assim nos dispositivos eletrônicos, nos equipamentos médicos ou nos fenômenos biológicos em seres vivos. Essencialmente, a carga elétrica existente na natureza vem dos elétrons e dos prótons, componentes básicos dos átomos. Eu disse essencialmente porque na prática é assim, mas na verdade a carga elétrica na natureza também é conduzida por outras partículas elementares. No entanto, essa discussão está além do que vamos estudar nessa disciplina. É certo dizer que tudo que tem a ver com eletricidade termina chegando aos elétrons e prótons. Os elétrons possuem carga negativa e os prótons possuem carga positiva. Essas cargas têm sinais diferentes, mas o valor é o mesmo. Ao longo do curso você vai saber qual é o valor da carga do elétron e do próton.

Cargas de mesmo sinal se repelem, enquanto cargas de sinais contrários se atraem. Como elas se repelem ou se atraem? Por meio da força elétrica.



Você vai aprender que essa força tem um nome: força coulombiana, porque foi Charles Augustin de Coulomb quem descobriu, em 1783, a lei que resulta na fórmula dessa força. Ou seja, a força elétrica entre duas cargas é dada pela lei de Coulomb.

No dia a dia estamos acostumados com força de contato: podemos empurrar ou puxar alguma coisa. No caso da Lei de Coulomb, diz-se que se trata de uma ação à distância, porque as cargas não se tocam. Mas, essa ideia de ação à distância desagradou muita gente, até que na década de 1830 Michael Faraday introduziu a ideia de campo elétrico, que estabelece o contato entre as cargas. Ou seja, uma carga cria um campo elétrico, e esse age na outra carga, produzindo a força de atração ou repulsão.



A atração entre as cargas se manifesta na continuidade das linhas do campo entre elas, enquanto na repulsão as linhas de campo se repelem no espaço entre as cargas.

Então, vou refazer a frase que coloquei acima: Tudo que tem a ver com eletricidade termina chegando na carga e no campo elétrico.

Capítulo 1

Carga Elétrica

Você viu nos Organizadores Prévios, que os dois conceitos mais importantes da eletricidade são a carga elétrica e o campo elétrico. A carga elétrica gera um campo e a partir daí seguem-se todos os fenômenos da eletricidade. Vamos tratar neste capítulo especificamente da carga elétrica. De onde ela surge e como os corpos podem ser eletricamente carregados.

De acordo com os conhecimentos da física contemporânea, a carga elétrica na natureza é transportada por diferentes tipos de partículas elementares, sendo, nesse contexto, o elétron a principal delas. Embora muito importantes para a física das partículas elementares, os léptons e os quarks não precisam ser considerados em uma abordagem elementar da eletricidade. Ou seja, vamos nos concentrar aqui tão somente no elétron e no próton, que não é uma partícula elementar, mas é constituída de quarks que lhe conferem uma carga elétrica igual em valor e oposta em sinal à carga do elétron.

Se elétrons e prótons são os principais portadores de carga elétrica na natureza, onde eles se encontram?



Sabemos hoje que essas partículas, juntamente com os nêutrons são os componentes básicos do átomo. Embora a humanidade tenha mais de 130 mil anos de existência, desde o surgimento do homo sapiens, ou mais de 5 mil anos desde os egípcios, ou mais de 4 mil anos desde os gregos, essa ideia de que o átomo é constituído de prótons, nêutrons e elétrons só foi consolidada entre 1897 e 1932.

Em 1897, Joseph John Thomson descobriu que a carga negativa que se observava em diversos experimentos da física era transportada por uma partícula que George Francis Fitzgerald sugeriu ser denominada elétron, porque em 1891, George Johnstone Stoney tinha usado esse termo para designar a unidade de carga em experimentos nos quais ele passava corrente elétrica através de produtos químicos.



Entre 1908 e 1911, Ernest Rutherford, realizou experimentos que o levaram a propor o modelo atômico que foi desenvolvido por Niels Bohr. Neste modelo, o átomo seria constituído de um núcleo muito pequeno e pesado, em torno do qual orbitariam os elétrons.

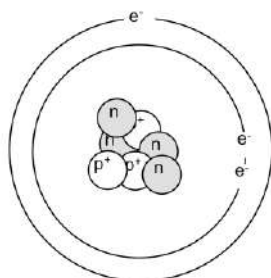


Em 1919, Rutherford descobriu que o núcleo continha uma partícula que ele denominou próton, com carga elétrica positiva e muito mais pesada que o elétron, mas que poderia conter outra partícula, neutra, com massa similar à do próton.



Em 1932, seu colaborador James Chadwick descobriu essa partícula, que foi denominada nêutron.

Mas, para chegar a esta fase gloriosa de 35 anos (1897–1932), filósofos e cientistas, desde os gregos, como Tales de Mileto (625–547 a.C.) e Aristóteles (384–322 a.C.), até John Dalton (1766–1844), desenvolveram vários modelos atômicos. Esses modelos fazem parte da história, e não é objetivo nesta disciplina estudá-los. Eles são apresentados nas disciplinas de química. Aqui usaremos apenas o modelo de Bohr, sugerido por Rutherford.



Resumindo tudo isso, podemos dizer que a matéria é constituída de átomos, e que esses são constituídos de um núcleo muito pequeno, contendo prótons e nêutrons, em torno do qual, em grandes distâncias, orbitam os elétrons. Do ponto de vista atômico, podemos dizer que a matéria é um grande vazio. Mas, o que interessa para a nossa disciplina, é que a carga positiva se concentra no núcleo, e a carga negativa fica zigzagueando em torno dele. Em condições normais, o átomo é eletricamente neutro, porque o número de prótons é igual ao de elétrons.

Podemos imaginar que nesse modelo a força de atração entre prótons e elétrons é a força coulombiana que você vai estudar no próximo capítulo, e vai ver que os elétrons mais afastados do núcleo são fracamente atraídos por ele, de modo que podem facilmente sair do átomo. Esses elétrons livres são os responsáveis pela corrente elétrica nos condutores.

Quando um elétron sai do átomo, ele o deixa com um próton a mais do que o número de elétrons, de modo que agora o átomo é



positivo. Os átomos que perdem elétrons são denominados íons. Eles estão ionizados.

Se esses elétrons menos ligados ao núcleo podem se liberar do átomo, eles também podem passar de um corpo a outro? Podem. Essa passagem dá origem ao que denominamos de processos de eletrização e condutividade. Os relâmpagos que vemos nas nuvens resultam de processos de transferência de cargas elétricas entre elas. O funcionamento dos diversos motores e equipamentos eletrônicos decorre da condutividade elétrica, ou seja, do movimento de elétrons no interior dos condutores e dos semicondutores.



Condutores e isolantes

Como os elétrons se movimentam nos materiais?



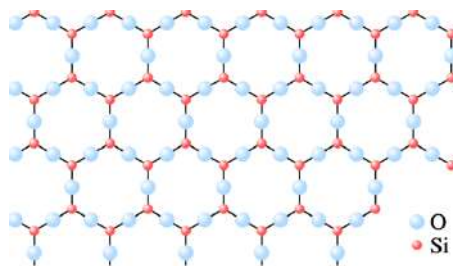
Essa é a questão básica que alimenta toda a ciência e a tecnologia da eletricidade. Para discuti-la temos que reconhecer os diferentes tipos de materiais. Mas, são tantos os tipos de materiais na natureza, que para simplificar nossa abordagem didática temos que fazer algumas restrições. Começaremos restringindo o estado da matéria.

Entre sólido, líquido e gasoso, vamos ficar com os materiais sólidos. Entre orgânicos e inorgânicos, vamos ficar com os materiais inorgânicos. Com isso serão excluídos os materiais biológicos. Entre os materiais sólidos conhecidos, condutores, isolantes, semicondutores e supercondutores, vamos ficar com os condutores e isolantes, ou dielétricos. Você vai perceber que essas duas denominações serão usadas aqui. Isolante é a mesma coisa que dielétrico, mas usaremos as duas palavras indistintamente para você se acostumar com elas.

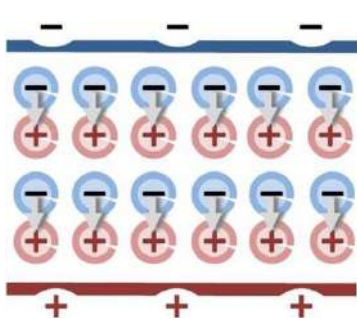
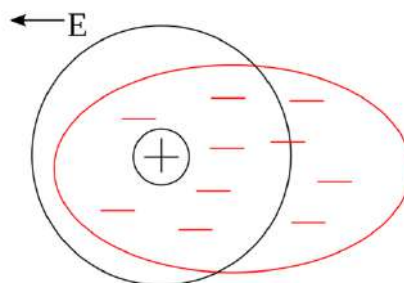
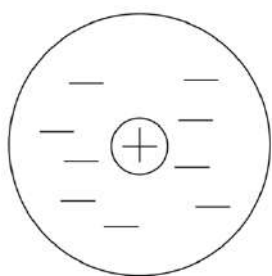
A forma mais elementar de definirmos um material condutor, é dizer que ele tem facilidade de conduzir corrente elétrica. De modo análogo, dielétrico é um material que não conduz corrente elétrica.

Essas duas definições são simples demais, e não nos ajudam a entender os fenômenos mais elementares da eletrostática e da eletrodinâmica. Então, vamos melhorar as definições.

Nessa estrutura do quartzo (SiO_2), que é um material isolante, os núcleos atômicos permanecem praticamente imóveis nas posições indicadas para os átomos de silício (Si) e oxigênio (O).



Em condições normais, os elétrons distribuem-se homogeneamente em torno de cada núcleo. Mas, se um campo elétrico for aplicado, a distribuição de elétrons fica distorcida. Como o quartzo é um dielétrico, essa distribuição distorcida fica localizada em alguns pontos na superfície e no interior do material. Como essas cargas estão localizadas, ou quase estáticas, diz-se que estamos em uma situação eletrostática. Se o quartzo fosse um material condutor, os elétrons se espalhariam por toda a superfície.



Portanto, no caso dos dielétricos, diz-se que as moléculas ficam polarizadas quando se aplica um campo elétrico. As cargas positivas ficam em um lado, e as negativas no lado oposto, em relação ao centro da molécula. É essa imagem de moléculas polarizadas que pode ser usada para explicar alguns fenômenos da eletrostática, discutidos ao final deste capítulo, e também no capítulo 3.



Nos materiais dielétricos, os elétrons praticamente não se afastam dos núcleos atômicos.

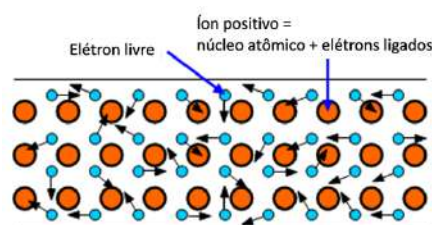
A situação é completamente diferente no caso dos materiais condutores. O que sabemos hoje sobre a condutividade elétrica em materiais metálicos, como ferro, níquel, entre outros, resulta de estudos realizados a partir do século 19. Como qualquer material, os condutores são constituídos de átomos, e estes são constituídos de prótons, nêutrons e elétrons. Prótons e elétrons têm cargas

elétricas iguais em valor e de sinais contrários. O próton é positivo, e o elétron é negativo. Em condições normais, o número de prótons é igual ao de elétrons em cada átomo. Portanto, em condições normais a matéria é eletricamente neutra.



Tudo o que foi dito no parágrafo anterior, vale para todos os materiais. Agora vamos começar a distinguir os condutores.

Ao contrário dos dielétricos, nos condutores os elétrons têm liberdade para se locomoverem para longe dos núcleos aos quais estavam ligados. Bem, nem todos os elétrons têm essa liberdade, mas os que têm já são suficientes para produzirem os fenômenos da eletrodinâmica, sendo o surgimento da corrente elétrica o principal deles.



Esses elétrons que têm liberdade de se locomoverem para longe do núcleo são denominados elétrons livres. Há outra expressão referente a eles: mar de elétrons de Fermi. Enrico Fermi, físico italiano foi quem desenvolveu esse modelo. Praticamente todos os fenômenos da eletrodinâmica estão relacionados com esse mar de elétrons.



Não esqueça. A eletrodinâmica tem tudo a ver com o movimento dos elétrons livres.

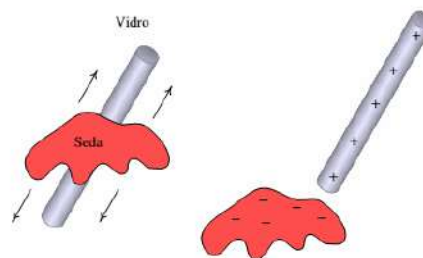
Eletrização por atrito ou contato em dielétricos

Tudo indica que a eletrização por atrito foi o primeiro processo descoberto pelo homem, e é por isso considerado como o início da história da eletricidade. Trata-se de um fenômeno muito mais complexo do que a ideia que os livros didáticos costumam apresentar. Portanto, convém que se tenha em mente que a

abordagem que aqui será apresentada é uma simplificação do conhecimento científico disponível.

Os relatos históricos indicam que foi em Mileto, antiga Grécia, onde hoje situa-se a Turquia, que o fenômeno da eletricidade estática, ou eletrostática, foi observado em um experimento de eletrização por atrito. Isso ocorreu 600 anos antes da era cristã, e o experimento foi realizado por Tales, que ficou conhecido como Tales de Mileto. O experimento foi feito com âmbar, uma resina de árvore fossilizada. Depois que esfregou um pedaço de âmbar com peles de animais, Tales percebeu que o âmbar atraía pequenos objetos, como penas. Como a palavra âmber significa elétron em grego, aquele fenômeno deu origem ao que passou a se chamar eletricidade. Mais de dois mil anos depois a palavra foi usada para denominar a partícula elementar que transporta a menor carga elétrica na natureza, o elétron.

Nas aulas de física, o experimento é geralmente realizado com um bastão de vidro ou plástico, atritado com um pano de seda. Nesse caso, elétrons são transferidos do bastão, que fica positivo, para o pano, que fica negativo.



Você pode fazer outro experimento, de modo mais simples. Coloque pequenos pedaços de papel sobre uma mesa. Depois use um rolo de filmes de PVC, desses usados para embalar comida. Puxe uma ponta do filme e aproxime dos pedaços de papel. Alguns desses papéis serão atraídos e grudarão no filme.

De um modo geral, os livros didáticos do ensino médio apenas relatam o que acontece, como foi feito acima, sem qualquer explicação de como o fenômeno ocorre. Essa posição dos autores de livros didáticos é compreensível porque o fenômeno é realmente muito complexo. Mesmo depois de mais de 2600 anos de sua descoberta, ainda não há consenso na comunidade científica sobre sua explicação, embora seja um fenômeno bastante presente na tecnologia contemporânea. Antes de apresentarmos qualquer explicação para o processo de carga por atrito, devemos abordar o modelo atômico da matéria.

Você já sabe, a matéria é constituída de átomos, cujo modelo adotado aqui é o de Bohr. Quando os átomos são colocados juntos para formar determinado material, seus núcleos ficam praticamente imóveis, enquanto alguns elétrons têm uma certa liberdade para se deslocarem no material, e até mesmo podem sair do material. Esses elétrons são conhecidos como elétrons quase livres. Eles são os responsáveis pela corrente elétrica.



Mas, exatamente como os elétrons passam de um corpo a outro?

No caso de materiais condutores a explicação não é tão difícil. Veremos isso mais adiante. A explicação difícil é para o caso de materiais dielétricos.

De um modo geral, os livros didáticos apresentam essa questão referindo-se ao atrito entre dois materiais isolantes diferentes. Na verdade, isso também acontece com materiais idênticos, e eventualmente nem é necessário o atrito. Basta o contato. Um exemplo fácil de se comprovar foi citado acima. É o caso de um rolo de filme de PVC. Quando separamos uma folha do rolo, ela fica carregada. Basta aproximarmos do nosso braço para observarmos o efeito da carga elétrica sobre os cabelos.



Mais acima você viu uma ilustração do processo de eletrização por atrito com um pedaço de seda, que ficou negativa, e um bastão de vidro que ficou positivo. Elétrons foram transferidos do vidro para a seda.



Por que alguns materiais ficam positivos e outros negativos?

Isso tem a ver com uma propriedade que se aprende na química: a eletronegatividade, que é a tendência que um átomo possui para atrair elétrons. Quanto maior a eletronegatividade, maior a possibilidade de um material ficar negativo quando atritado contra outro com menor negatividade. Materiais vêm sendo investigados a esse respeito desde o início do século 20, cujos resultados permitiram a elaboração do que se chama de série triboelétrica. Triboeletricidade é o termo



usado para se referir a todos os fenômenos da eletricidade por atrito.

É por isso que o vidro fica positivo no atrito com a seda, como se vê na ilustração acima.

Se o vidro fosse atritado com o couro ou com a pele humana seca, ele ficaria negativo.



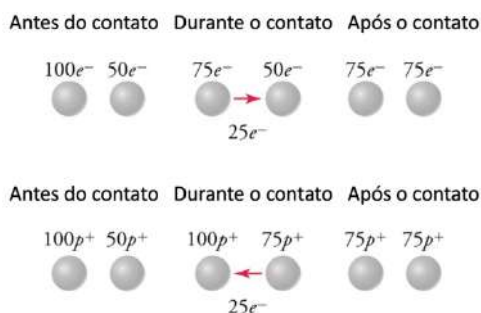
Por que a pele deve estar seca?

Porque a humidade facilita o escoamento de elétrons para o meio ambiente, de modo que dificilmente os corpos ficam carregados. É por isso que os experimentos de eletrostática devem ser realizados em ambientes secos.

Eletrização por contato em condutores

Você já sabe que diferentemente dos isolantes, nos condutores existem muitos elétrons que podem se mover livremente. Além disso, em condições normais os materiais são eletricamente neutros. Ou seja, a quantidade total de prótons e elétrons é a mesma. O que acontece quando duas peças condutoras são colocadas em contato? Elas passam a formar uma única peça condutora. Se uma das peças estiver carregada, ou as duas, o que vai ocorrer é a redistribuição de cargas entre as peças, de modo que a quantidade total de carga permaneça a mesma. Isso é o que se chama de conservação da carga.

Essa ilustração, adaptada da Texas Gateway¹, é ótima para explicar o fenômeno. A transferência de carga depende das dimensões dos materiais, mas, para simplificar, vamos considerar que as esferas têm as mesmas dimensões.



¹<https://www.texasgateway.org/resource/181-electrical-charges-conservation-charge-and-transfer-charge>.

No primeiro caso, uma esfera tem 100 elétrons, enquanto a outra tem 50 elétrons. Portanto, no final do processo as duas esferas deverão conter no total 150 elétrons. Durante o contato, a primeira esfera fornece 25 elétrons para segunda. Quando todos os elétrons se distribuírem nas duas esferas, teremos o equilíbrio eletrostático, com os elétrons ocupando as duas superfícies. Quando as esferas forem separadas, cada uma ficará com 75 elétrons.

No segundo caso, as esferas estão com cargas positivas. A segunda esfera transfere 25 elétrons para a primeira. No final do processo, quando elas forem separadas, ambas ficarão com 75 prótons.

Se as esferas tiverem cargas de sinais contrários, o procedimento é similar. Soma-se algebricamente as duas e divide-se o total em duas partes.



Atenção! Esses cálculos só valem para o caso de duas esferas com as mesmas dimensões

Para calcular as cargas elétricas dos exemplos acima, basta multiplicar o número de elétrons ou de prótons, pelo valor da carga elementar, que é a carga do elétron ou do próton: $1,6 \times 10^{-19}$ C. Essa unidade de carga elétrica é Coulomb.

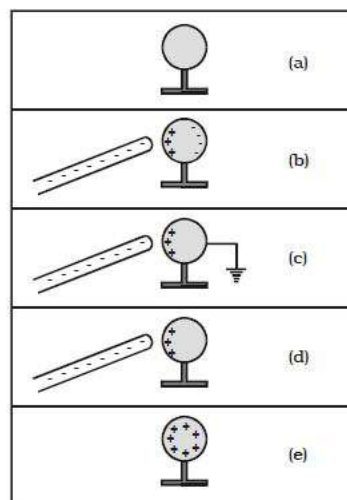
Uma pergunta natural a essa altura: por que os elétrons migram para a superfície e distribuem-se homogeneamente em toda a esfera? Tem uma única finalidade: deixar o condutor em equilíbrio eletrostático. Ou seja, sem grandes movimentos de cargas. Isso só será possível se o campo elétrico no interior do condutor for nulo. Veremos no capítulo 2 como isso funciona.



O campo elétrico no interior de uma esfera condutora carregada será nulo se a carga for distribuída homogeneamente na superfície.

Eletrização por indução em condutores

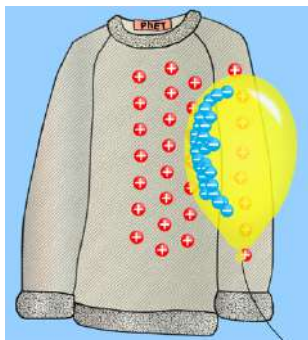
Você já sabe que nos condutores existem muitos elétrons livres, e que eles se movimentam facilmente. Qualquer campo elétrico, por pequeno que seja, leva-os a se deslocarem ao longo do condutor. Está aí a fonte da eletrização por indução em condutores. Nessa imagem, um bastão negativamente carregado aproxima-se de uma esfera eletricamente neutra. O bastão pode ser condutor ou isolante, mas a esfera tem que ser condutora. Elétrons livres da esfera deslocam-se para o lado mais afastado do bastão. Se a esfera for ligada à terra, os elétrons livres escoarão e deixarão um excesso de carga positiva na esfera. Se o bastão for afastado para muito longe, elétrons livres ainda existentes na esfera se redistribuirão na superfície da esfera, de modo que o excesso de carga positiva fique homogeneamente distribuída na superfície.



Alguns experimentos didáticos de eletrostática

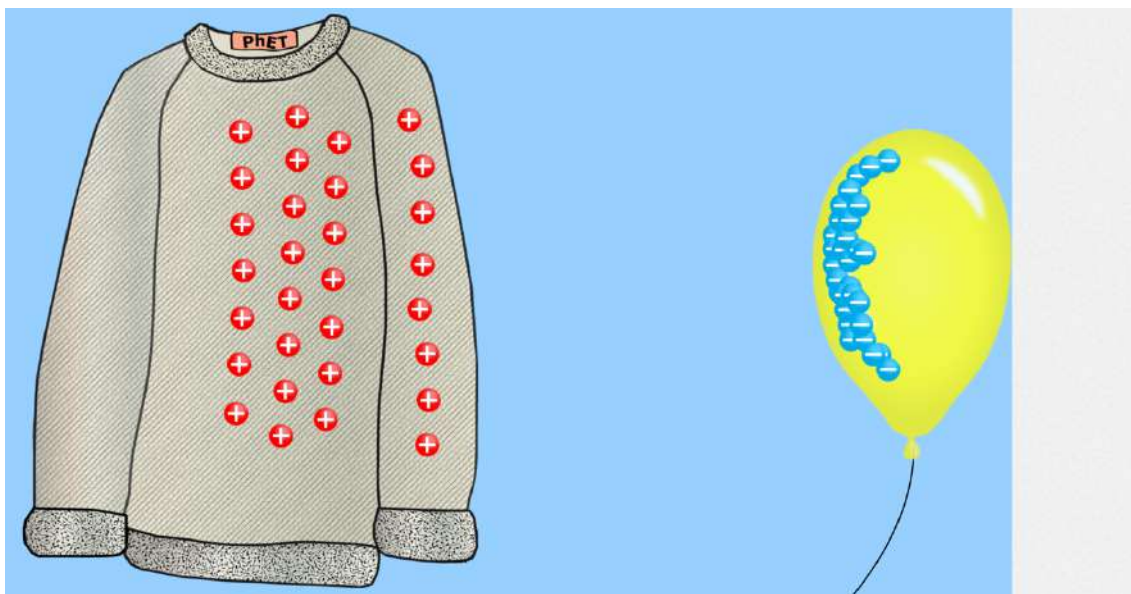
Experimentos de eletrostática devem ser realizados em ambiente seco, porque a humidade permite o escoamento de elétrons do material carregado para o ar, e vice-versa. Mas, é possível apreciar esses experimentos com a utilização de simulações computacionais. Um dos melhores repositórios de simulações de física é o PhET (<https://phet.colorado.edu>), da Universidade do Colorado.

Vamos ver o que acontece quando um balão de plástico é atritado contra um casaco de lã. Tanto um quanto um quanto o outro estão eletricamente neutros.

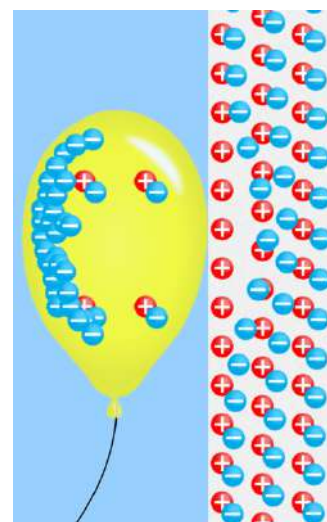


Depois do atrito, elétrons migram do casaco para o balão. Esse é o sentido da migração porque a eletronegatividade da borracha é maior do que a da lã. É por isso também que na série triboelétrica, a lã fica mais perto do lado positivo, enquanto a borracha fica mais perto do lado negativo.

Se depois de carregado, o balão for afastado do casaco e colocado nas proximidades de um muro, ele fica grudado. Por quê?



A explicação tem a ver com o processo de polarização mencionado acima. O muro é isolante, de modo que é pequeno o deslocamento de seus elétrons. O resultado é que as moléculas ficam polarizadas. A polarização é tanto maior, quanto mais próxima estiver a molécula do material carregado. Isso está bem ilustrado na figura. As cargas negativas do balão são atraídas pelas cargas positivas do muro que estão mais próximas da superfície e repelidas pelas cargas negativas que estão um pouco mais afastadas da superfície do muro. No capítulo 3 você vai descobrir que a força de atração é maior do que a de repulsão. É por isso que o balão fica grudado no muro.



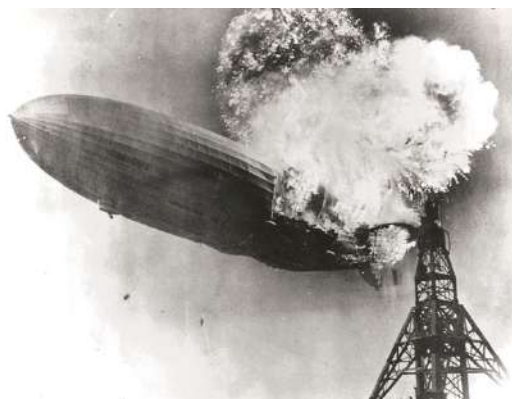
Eletrostática no dia a dia

Para você ter ideia da importância da eletrostática, vamos apresentar algumas situações do dia a dia, bem como algumas aplicações tecnológicas contemporâneas. No início do capítulo você viu que os relâmpagos que vemos em dias de tempestade resultam de processos de descargas elétricas entre nuvens.

No início do século 20, o Conde alemão Ferdinand Von Zeppelin começou a construir os dirigíveis que ele inventou por volta de 1874. Esses dirigíveis eram popularmente conhecidos como Zepelins, e voavam graças ao seu tanque cheio de gás hidrogênio. Foram fabricados vários modelos, sendo esse da foto, o LZ



129 Hindenburg, o mais famoso, que teve um fim trágico. Depois do acidente com esse modelo, em 1937, o hidrogênio foi substituído pelo gás hélio.



Hindenburg.

A principal hipótese do incêndio durante a manobra de pouso, em Nova Jersey, nos EUA, é de que o dirigível ficou eletricamente carregado depois de atravessar uma tempestade. Durante o pouso, houve uma descarga elétrica e por coincidência houve também uma falha em uma das válvulas de hidrogênio. Rapidamente a faísca provocou o incêndio que destruiu o

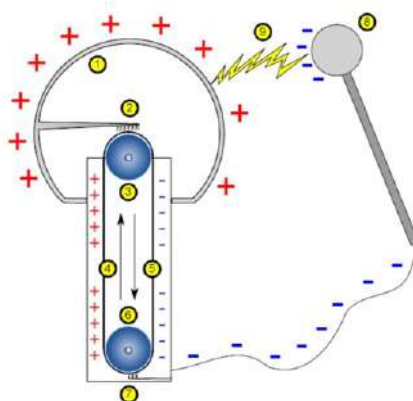
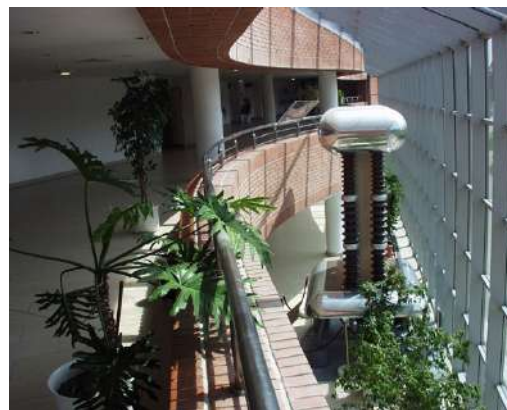
Assim como esse acidente com o dirigível Hindenburg, descargas eletrostáticas podem provocar acidentes em ambientes onde materiais combustíveis estão presentes, por exemplo vazamento de gás pode resultar em explosão se houver alguma faísca elétrica no ambiente.

A mais importante aplicação comercial baseada na triboeletricidade talvez seja a máquina Xerox, inventada por Chester Carlson em 1938, que originou todas as copiadoras a laser. Na figura, o primeiro equipamento, construído em 1942. Seu funcionamento é muito complexo para ser apresentado aqui.



Outra importante aplicação é o gerador Van de Graaff, bastante usado em demonstrações didáticas, mas que foi inventado em 1929 como fonte de alta tensão para aceleradores de partículas.

Na fotografia, o Van de Graaff do primeiro acelerador de partículas da Hungria, construído em 1951. Na fotografia abaixo, um Van de Graaff para uso didático, e ao lado o esquema de funcionamento.



1. Esfera metálica oca (com cargas positivas);
2. Eletrodo conectado à esfera. Uma escova garante o contato entre o eletrodo e a correia de borracha (4 e 5);
3. Rolo superior (acrílico);
4. Lado da correia com cargas positivas;
5. Lado oposto da correia, com cargas negativas;
6. Rolo inferior (metal);
7. Eletrodo inferior, ligado à terra;
8. Esfera com cargas negativas, usada para descarregar a esfera principal;
9. Centelha produzida pela diferença de potencial entre a esfera principal e esfera pequena.

A correia de borracha (4,5) desliza, por meio de um motor, entre dois rolos (3,6), um de acrílico (3) e outro de metal (6). O atrito entre a correia e os rolos provoca a transferência de elétrons de um para o outro. Como a borracha é mais eletronegativa do que o acrílico, ela fica negativa depois do atrito, enquanto o rolo de acrílico fica positivo. Quando a correia passa sobre o eletrodo inferior (7), essas cargas negativas escoam para a terra. A correia fica positiva. Quando ela passa pelo eletrodo superior (2), ela captura elétrons da esfera oca (1), que fica positiva. A partir daí o processo se repete.

Com o tempo, a carga acumulada na esfera superior é tão grande que produz enorme potencial elétrico, acima de 30 mil volt (no próximo capítulo você

vai saber o que é um potencial elétrico). Esse enorme potencial gera faíscas entre a esfera superior e objetos nas suas proximidades, carregados, como a esfera menor, que está negativamente carregada ou mesmo entre a esfera e uma parte do corpo humano.



Organizador Prévio 2

Potencial Elétrico

Depois da carga elétrica e do campo elétrico, o conceito mais importante da eletricidade é o de potencial elétrico. É tão importante quanto conceitualmente difícil de entender. Os livros didáticos geralmente o apresentam a partir de relações matemáticas com a carga elétrica e com a energia elétrica. Talvez a falta de uma abordagem qualitativa justifique os inúmeros equívocos apresentados por alunos de todos os níveis, do ensino médio aos cursos de engenharia. Nesse texto introdutório, que denominamos de organizador prévio, vamos tratar o conceito de potencial elétrico a partir de uma abordagem qualitativa antes de introduzir sua conexão formal com a carga e a energia elétrica.

Na linguagem coloquial, o termo potencial é frequentemente usado para se referir à capacidade que uma pessoa tem para realizar algo, para atingir determinada meta. Sobre um bom aluno no colégio diz-se que tem potencial para ter sucesso na vida profissional. Podemos dizer que essa capacidade de realizar algo na linguagem cotidiana, tem a ver com a ideia da energia potencial como a capacidade de realizar trabalho.

Antes desse curso você estudou as leis de Newton e aprendeu que a força gravitacional entre duas massas é diretamente proporcional ao produto das massas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Na unidade anterior da nossa disciplina você aprendeu que a força coulombiana entre duas cargas tem a mesma forma da força gravitacional. Ou seja, a força eletrostática entre duas cargas elétricas é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas. Você já sabe que esta força será de atração se as cargas tiverem sinais diferentes, e de repulsão quando os sinais forem iguais.

Você aprendeu que a forma da força gravitacional leva ao teorema da conservação da energia mecânica (energia cinética + energia potencial). E tudo isso tem a ver com o potencial gravitacional. Então, tudo que aprendemos com o potencial gravitacional pode ser inteiramente transposto para o caso do potencial elétrico. Mais do que isso, toda a energia no universo é essencialmente consequência das interações fundamentais:

1. Interação gravitacional;
2. Interação eletromagnética;
3. Interação nuclear.

No estado latente, quando recebe a denominação de energia potencial, a energia depende unicamente da configuração da matéria envolvida. Ou seja, da

distribuição de massas no caso gravitacional, de cargas elétricas no caso eletromagnético e de partículas elementares, prótons e nêutrons no caso nuclear. Em suma, como bem definiu Rankine em 1867:

1. Energia potencial é uma energia de configuração;
2. Energia cinética é uma energia de atividade, ou de movimento.

Muita gente pensa que o potencial elétrico depende das propriedades dos componentes de um circuito elétrico. Não depende. O potencial só depende da existência de cargas elétricas. Havendo carga elétrica em algum ponto do espaço, haverá potencial em sua volta. Mais adiante você vai ter a oportunidade de analisar melhor essa questão.

Por exemplo, você vai aprender que não é necessário ter uma corrente elétrica para ter um potencial em qualquer ponto de um fio condutor. Ou seja, não é a corrente elétrica que produz o potencial, ou a diferença de potencial. É o contrário. É a diferença de potencial que produz a corrente. Então, se o potencial em dois pontos de um circuito for o mesmo, não haverá corrente entre esses dois pontos. Só quando há diferença de potencial, o que também denominamos como voltagem, é que haverá corrente. Podemos dizer isso de outro modo: a diferença de potencial, ou a voltagem, produz o movimento das cargas elétricas, e esse movimento dá origem à corrente elétrica.

Muitos livros didáticos levam seus leitores a pensarem que na eletricidade a corrente elétrica é um conceito primário. Não é! O conceito primário é a carga elétrica. Depois vem o campo elétrico que ela produz. A partir do campo elétrico tem-se o potencial elétrico, e só então surge a corrente elétrica. A corrente elétrica surge apenas quando há diferença de potencial, ou voltagem, entre dois pontos de um circuito elétrico. Ou seja, é a diferença de potencial que faz surgir a corrente em um circuito elétrico.

Capítulo 2

Campo, Potencial, Força e Energia

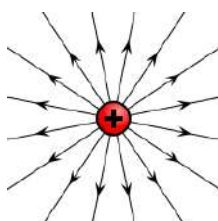
O conceito de campo elétrico

No capítulo anterior você trabalhou com o conceito mais fundamental da eletricidade, a carga elétrica. Você aprendeu que a carga elétrica elementar é transportada pelo elétron (carga negativa) e pelo próton (carga positiva), e que essas duas partículas formam o átomo. O próton fica no núcleo atômico, e o elétron fica se movimentando em volta do núcleo. Em seu estado natural, o átomo é eletricamente neutro. Ou seja, tem no interior do núcleo o mesmo número de prótons que o de elétrons em volta dele. Cada átomo tem um número de prótons bem determinado. Esse número de prótons é denominado de número atômico. Assim, o número atômico do hidrogênio é 1, porque só há um próton no núcleo do hidrogênio. O número atômico do cobre é 29, porque ele tem 29 prótons e 29 elétrons. É de cobre que são feitos muito dos condutores usados em circuitos elétricos.

Para facilitar o tratamento matemático desses conceitos de campo e potencial, é conveniente fazer cálculos com cargas pontuais, em vez de trabalhar com materiais reais, macroscópicos, como um pedaço de fio. E também para exercitar, convém trabalhar com cargas pontuais de diferentes valores, não exatamente um múltiplo da carga do elétron, que é $1,6 \times 10^{-19}$ C, embora na natureza todas as cargas elétricas sejam iguais a um múltiplo da carga do elétron. Mais importante do que isso, podemos fazer cálculos algébricos, com letras em lugar de números.



Em quase todos os livros didáticos, a interação entre cargas elétricas é representada pela força entre elas, matematicamente expressa pela lei de Coulomb. Trata-se do que se chama de ação à distância. Mas, nos anos 1830 Michael Faraday criou a ideia de campo elétrico e campo magnético, ou campo eletromagnético, e a ideia de ação à distância foi substituída pela ideia de ação por intermédio do campo.



O processo é assim. Primeiro a carga cria em volta de si seu campo elétrico. Se ela estiver em movimento também cria seu campo magnético, mas isso é outra história. Vamos ficar apenas com o campo elétrico. O campo elétrico é visualmente representado pelas suas linhas de força. Se a carga for positiva (negativa), as linhas de força apontam para fora (dentro) da carga. Se houver outra carga nas proximidades da primeira, o campo desta atua sobre a segunda, exercendo uma força dada pela lei de Coulomb. É claro que por simetria, a segunda

carga também cria seu campo, que exercerá uma força igual e de sentido contrário sobre a primeira carga.



Faraday criou a ideia de campo elétrico e campo magnético. Einstein usou a ideia na sua teoria da gravitação para substituir o conceito de interação à distância pelo de interação via campo.

A Figura 2.1 ilustra bem a situação para o caso de duas esferas metálicas. A maior, carregada positivamente, tem suas linhas de campo apontando para fora, enquanto a menor, com carga negativa tem as linhas de campo apontando para o centro da carga. Essas linhas são denominadas linhas de campo ou linhas de força. A razão dessa segunda denominação, é que se uma pequena carga, também conhecida como carga de prova, for colocada em algum ponto da linha, a força sobre ela a fará se deslocar ao longo da linha. Essa carga de prova deve ser tão pequena, que seu campo, igualmente pequeno não interfira no campo da carga maior. Neste sentido, a esfera pequena na Figura 2.1 não é uma carga de prova.

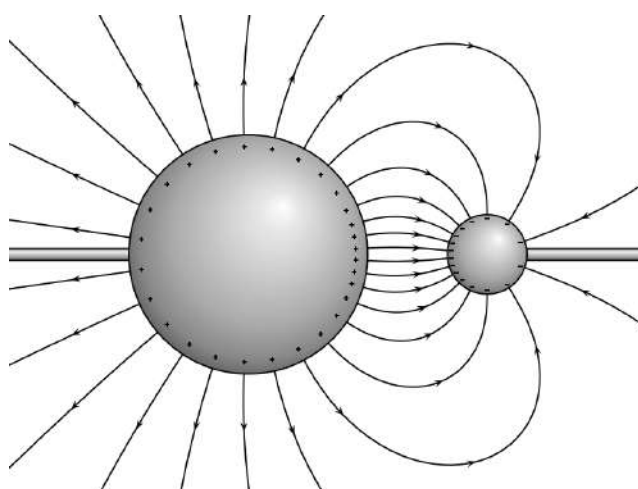
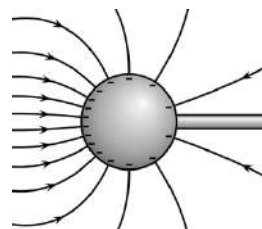


Figura 2.1 – Linhas de campo elétrico de duas esferas metálicas carregadas. As linhas da carga positiva apontam para fora de carga, enquanto as da negativa apontam para a carga (https://commons.wikimedia.org/wiki/File:VFPT_metal_balls_largesmall.svg).



Observe que as cargas se distribuem uniformemente nas duas esferas metálicas da figura 2.1.

Vejamos agora como quantificar a ideia de campo elétrico. Graficamente, o valor do campo elétrico é dado pela densidade de linhas de força. Nessa ilustração, o campo à esquerda da esfera negativa é muito maior do que à direita, porque tem mais linhas de força na mesma unidade de área da esfera. Mas, exatamente quanto vale o campo em determinado ponto? Ou seja, quanto vale o campo a uma distância r de uma carga Q ?



É possível mostrar experimentalmente que o valor do campo é dado por:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}. \quad (2.1)$$

Nesta fórmula usamos a definição da constante dielétrica, $k = 1/4\pi\epsilon_0$, que será usada em todas as fórmulas daqui em diante. Seu valor é, aproximadamente, $k=9 \times 10^9 \text{ Nm}^2\text{C}^{-2}$.

Assim como a força (qualquer que seja sua natureza) e o campo gravitacional, o campo elétrico tem uma direção e um sentido bem determinados. Ou seja, além do valor calculado pela equação (2.1), que representa o módulo do campo, este tem uma direção e um sentido. As grandezas físicas que além de um valor escalar, ou módulo precisam de uma direção e um sentido para serem totalmente caracterizadas são denominadas de grandezas vetoriais. Portanto, assim como a força, o campo elétrico é uma grandeza vetorial, ou simplesmente um vetor. A direção e o sentido do vetor campo elétrico são os mesmos da força elétrica. Ou seja, para uma carga puntiforme positiva (negativa), ele aponta para fora (dentro) da carga, como ilustrado na Figura 2.1.

O conceito de potencial é muito complexo, razão pela qual os livros didáticos do ensino médio tentam abordar a eletricidade explorando a corrente

elétrica como se ela fosse um efeito primário. Não é. A corrente é consequência da existência do potencial, ou, mais precisamente, da diferença de potencial. A propriedade elétrica primária é a carga elétrica, que produz o campo elétrico e o potencial elétrico.

O conceito de potencial elétrico

Você aprendeu, no Organizador Prévio 2, que depois da carga elétrica e do campo elétrico, o conceito mais importante da eletricidade é o de potencial elétrico. Aprendeu também que se trata de um conceito tão importante quanto conceitualmente difícil de entender.

Na linguagem coloquial, o termo potencial é frequentemente usado para se referir à capacidade que uma pessoa tem para realizar algo, para atingir determinada meta. Sobre um bom aluno no colégio diz-se que tem potencial para ter sucesso na vida profissional. Essa capacidade de realizar algo na linguagem cotidiana, de fato tem a ver com a ideia da energia potencial como a capacidade de realizar trabalho. E praticamente todos os livros didáticos abordam o potencial elétrico a partir da sua relação com a energia potencial, o que está correto. Foi assim que a ideia do potencial elétrico surgiu, mas do ponto de vista conceitual mais fundamental, o potencial tem a ver com o campo elétrico. A partir da relação do potencial com o campo, chega-se à energia potencial.

É assim: carga gera campo. Existindo um campo, existirá um potencial. Se existir uma diferença de potencial, haverá movimento de cargas. É a origem da corrente elétrica.



O conceito de potencial elétrico é muito importante em várias áreas da medicina. É por isso que devemos dominar seu conhecimento. Por causa da dificuldade matemática para estudar este conceito detalhadamente, podemos definir, sem provar, o potencial a uma distância, r , de uma carga Q :

$$V = k \frac{Q}{r} \quad (2.2)$$

Substituindo a equação (2.2) em (2.1), obtém-se a relação entre campo e potencial:

$$V = Er \quad (2.3)$$

Antes de abordarmos as relações matemáticas do conceito de potencial envolvendo força e energia, convém aprofundarmos qualitativamente este importante conceito da eletricidade. Essa discussão qualitativa vai lhe ajudar a compreender melhor muitos dos exercícios que terá que fazer nessa disciplina, no exame do ENEM e também em vestibulares.

No capítulo 3 você vai estudar circuitos elétricos simples. Vai aprender que a corrente elétrica em um circuito resulta da ação de uma *força eletromotriz* produzida por uma fonte de voltagem, por exemplo, uma pilha dessas que usamos nos rádios portáteis. Em praticamente todos os livros didáticos, os termos ou expressões: *força eletromotriz*, ou *fem*, *voltagem*, *queda de potencial* ou *diferença de potencial*, são usados indistintamente, como se fossem a mesma coisa. Mas, isso não é bem assim.

Para entender isso direitinho, precisamos ter em mente que todos os fenômenos elétricos decorrem das cargas elétricas. Se elas estão imóveis, temos fenômenos eletrostáticos. Se elas se movem, teremos a eletrodinâmica. Vamos fazer uns cálculos simples com uma carga positiva, $+q$, em repouso.

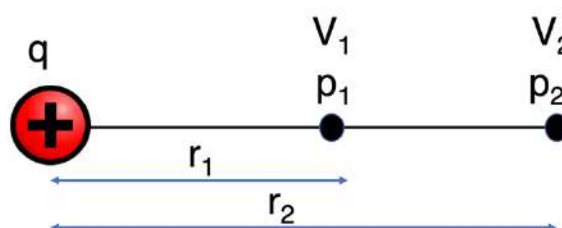


Figura 2.2 – Potencial elétrico de uma carga puntiforme.

Usando a equação 2.2, obtém-se:

$$V_1 = k \frac{q}{r_1}$$

$$V_2 = k \frac{q}{r_2}$$

Como r_2 é maior do que r_1 , o potencial V_2 é menor do que V_1 . Portanto, se uma carga positiva for colocada em P_1 , ela se deslocará em direção a P_2 . O inverso ocorre com uma carga negativa. Se ela for colocada em P_2 , se deslocará em direção a P_1 .



Resultado muito importante para circuitos elétricos. Os elétrons sempre se deslocam do potencial menor para o maior.

Vejamos agora o caso de um dipolo elétrico, formado por uma carga positiva e outra negativa, separadas por uma distância d . Essa estrutura é muito importante no estudo do eletromagnetismo. Veremos mais adiante alguns exercícios sobre isso.

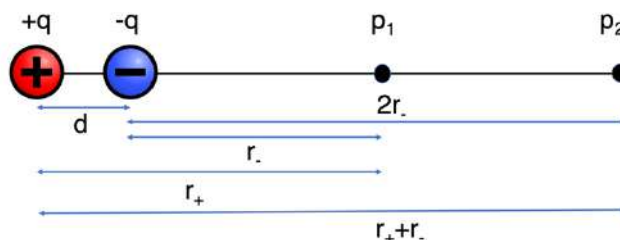


Figura 2.3 – Diferença de potencial devida a um dipolo em dois pontos.

O potencial de um conjunto de cargas é igual à soma dos potenciais das cargas individuais. Portanto, o potencial no ponto p_1 será

$$V(p_1) = V_+(p_1) + V_-(p_1) = kq \left(\frac{1}{r_+} - \frac{1}{r_-} \right) = kq \frac{r_- - r_+}{r_- r_+} < 0 \quad (2.5)$$

$$V(p_2) = V_+(p_2) + V_-(p_2) = kq \left(\frac{1}{r_+ + r_-} - \frac{1}{2r_-} \right) = kq \frac{r_- - r_+}{2r_- r_+ + 2r_-^2} < 0 \quad (2.6)$$

Para facilitar a interpretação, vamos supor que $r_- = 5$ m e $r_+ = 6$ m. Substituindo esses valores em (2.5) e (2.6), obtém-se:

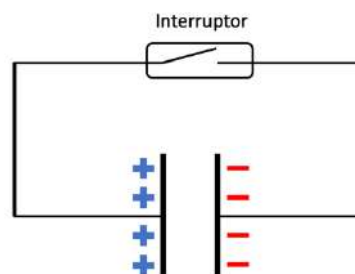
$$V(p_1) = -\frac{kq}{30}$$

$$V(p_2) = -\frac{kq}{110}$$

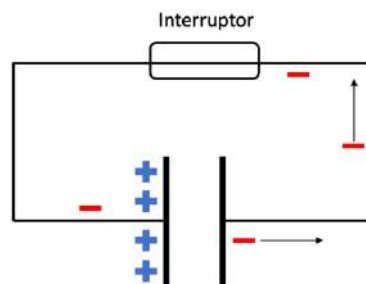
Portanto, $V(p_2) > V(p_1)$, confirmando que o elétron vai do potencial menor para o maior.

Outro resultado importante é que a separação de cargas provoca diferença de potencial ao longo de uma linha que une as cargas. Para ilustrar essa afirmação, suponha duas placas metálicas paralelas. Por meio de algum processo, que não interessa definir agora, elétrons são extraídos de uma placa, que ficará positiva, e colocados na outra, que ficará negativa. Agora vamos conectar as

duas placas usando um interruptor. Enquanto o interruptor estiver aberto, a situação é essa da figura. As cargas continuarão imóveis nas placas e haverá uma diferença de potencial entre quaisquer dois pontos do circuito.



Quando o interruptor for fechado, cargas negativas saem da placa em direção à placa positiva. Haverá uma corrente elétrica até que todo o excesso de cargas negativas se junte ao de cargas positivas. Nesse momento não haverá mais excesso de carga livre. Não haverá mais diferença de potencial, e a corrente cessa. Esse conjunto de placas paralelas é denominado capacitor. Trata-se de um dispositivo muitíssimo importante para qualquer equipamento eletrônico. Você vai ler sobre ele no Organizador Prévio 4.



Atenção, a existência da corrente não significa que a carga negativa saia da placa e vá até a placa oposta. Na verdade, a carga negativa tende a fazer isso, mas assim que ela se movimenta outra carga negativa à sua frente segue a rota, que por sua vez é substituída por outra carga mais adiante, até que uma carga negativa próxima da placa positiva seja absorvida pela placa e neutralize uma carga positiva.

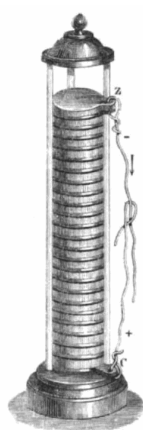


Força eletromotriz e pilha voltaica

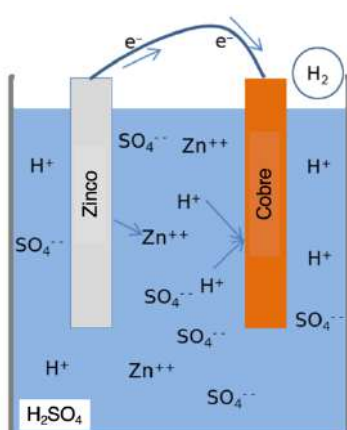
Tudo o que foi visto acima é fruto da eletrostática: cargas de sinais contrários se atraem, e cargas de sinais iguais se repelem. No capacitor, isolado, as cargas não se atraem porque há um meio dielétrico entre elas. Basta colocar um fio entre as placas do capacitor, para as cargas negativas se moverem na direção da placa positiva. Agora, uma situação bastante diferente ocorre no caso das pilhas, cujo funcionamento foi descoberto por Alessandro Volta no final do século 18. Em todas essas pilhas, reações químicas no seu interior provocam a separação de cargas. Num dos polos se concentram cargas negativas, e no outro polo se concentram cargas positivas. Uma situação muito parecida com essas do capacitor carregado. Todavia, no



caso das pilhas há uma substância no seu interior que continua produzindo a separação de cargas. Quando essa substância for totalmente consumida, a pilha deixará de funcionar. Neste caso, as cargas não obedecem ao princípio da eletrostática. Elas continuam separadas, mesmo que sua união seja possível. Volta denominou *força eletromotriz* a ação que faz as cargas ficarem separadas. Portanto, o potencial que resulta dessa situação não é um potencial eletrostático como o que vimos até agora, é uma espécie de potencial químico, algo que converte energia química em energia elétrica.



(a)



(b)



(c)

Figura 2.4 – (a) Desenho original de Alessandro Volta. (b) Modelo atômico de uma pilha de Volta, com dois eletrodos (zinco e cobre) e ácido sulfúrico, H_2SO_4 como solução eletrolítica. (c) Modelos de pilhas modernas.

A pilha voltaica exibida na figura 2.4 funciona assim. O ácido sulfúrico, H_2SO_4 , retira íons de zinco do anodo (eletrodo negativo), que ficam na solução, deixando dois elétrons no eletrodo. Esses elétrons se deslocam pelo fio condutor externo, até que um elétron nas proximidades do eletrodo de cobre é absorvido por este. Esse elétron no cobre vai atrair íons de hidrogênio presentes na solução eletrolítica. Esse processo se repete até que todo o eletrólito seja consumido.

Então, em um circuito elétrico temos potenciais vindos da eletrostática e potenciais vindo de reações eletroquímicas. Mas, daqui em diante vamos nos fixar apenas nos potenciais eletrostáticos. Quando trabalhamos com a eletrodinâmica, para a qual precisamos de uma bateria, podemos simplesmente considerá-la como uma *caixa preta*, que fornece uma voltagem fixa. No caso das pilhas comerciais, usualmente essa voltagem é de 1,5 volt. Na prática, para estudar fenômenos eletrodinâmicos não há necessidade de saber como a bateria fornece energia para produzir o movimento de elétrons nos circuitos.

Campo, potencial, força e energia

A essa altura precisamos incluir os conceitos de força e energia, pois você deve ter lido, um pouco mais acima, que *a partir da relação do potencial com o campo, chega-se à energia potencial*. Mas, para isso é necessário introduzirmos o conceito de força elétrica. Cinquenta anos antes de Faraday criar o conceito de campo elétrico, Charles Augustin de Coulomb descobriu a lei que ficou conhecida como lei de Coulomb, que fornece a força entre duas cargas elétricas, q e Q , a uma distância r entre elas.



$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{qQ}{r^2} = k \frac{qQ}{r^2} \quad (2.4)$$

Substituindo (2.1) em (2.4), obtém-se

$$F = qE \quad (2.5)$$

A equação (2.5) expressa o conceito de força por intermédio do campo. Ou seja, a carga Q cria um campo elétrico E , que exerce a força qE sobre a carga q .

Se há uma força sobre uma partícula carregada, essa força vai realizar um trabalho sobre a partícula, ou seja, vai lhe fornecer energia. Embora estejamos falando de carga elétrica, força elétrica e energia elétrica, tudo isso pode ser tratado do mesmo modo como aprendemos com o campo gravitacional e as leis de Newton. É muito instrutivo estabelecermos a relação entre força elétrica, campo elétrico e energia elétrica partindo do que aprendemos na mecânica newtoniana.



Pela lei da gravitação universal de Newton, dois corpos, m e M , separados por uma distância r , atraem-se com uma força dada por:

$$F = G \frac{mM}{r^2}, \quad (2.6)$$

onde G é a constante gravitacional. Veja que esta fórmula fica igual à (2.4) se substituirmos G por k , m por q e M por Q . Podemos dizer que elas são formalmente iguais. Mais importante do que essa semelhança, é o fato de que as principais propriedades físicas resultantes de (2.6) podem ser estendidas para a lei de Coulomb. Essas forças são conhecidas como forças conservativas porque levam ao teorema da conservação da energia (energia cinética + energia potencial) e ao teorema do trabalho-energia.

Para um sistema conservativo, regido pelas equações (2.4) e (2.6), a energia total é sempre conservada. Ou seja, a soma da variação da energia cinética, ΔE_c , com a variação da energia potencial, ΔE_p , é zero:

$$\Delta E_c + \Delta E_p = 0 \rightarrow \Delta E_c = -\Delta E_p.$$

Por outro lado, o trabalho, T , realizado sobre uma partícula num sistema conservativo é sempre igual à variação da energia cinética da partícula:

$$T = \Delta E_c = -\Delta E_p. \quad (2.7)$$

Precisamos agora resolver um problema que você deve ter resolvido quando estudou mecânica. O problema é calcular o trabalho para levar um objeto de massa m , de um ponto i até um ponto f , como ilustrado na figura 2.5. Isso pode ser feito levando o objeto pelo caminho iof , ou pelo caminho d , ou pelo caminho c , ou por qualquer caminho que comece em i e termine em f . Para resolver o problema precisamos saber como calcular o trabalho de uma força, ao longo de uma trajetória paralela à direção da força. Você aprendeu na mecânica que o trabalho é o produto da força pela distância percorrida.

O trabalho para levar a partícula de i até o ponto o é:

$$T_x = Fx. \quad (2.8)$$

O trabalho para levar a partícula de o até o ponto f é nulo, porque o caminho é perpendicular à direção da força. Portanto, o trabalho para levar a partícula pelo caminho iof é dado por (2.8).

Pelo caminho d , o trabalho será:

$$T_d = (F \cos \theta) d = \left(F \frac{x}{d} \right) d = Fx. \quad (2.9)$$

Como (2.8) é igual a (2.9), conclui-se que o trabalho pelo caminho iof é igual ao trabalho pelo caminho d .

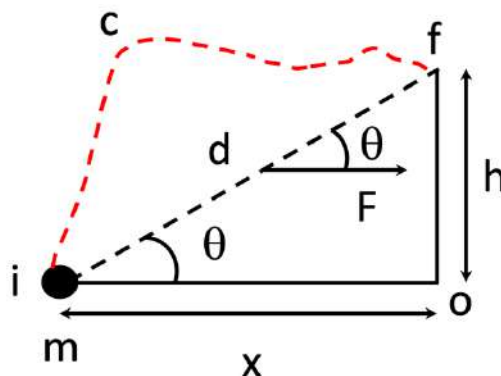


Figura 2.5 – O trabalho realizado pela força F para levar um objeto do ponto i até o ponto f independe do caminho utilizado.

Para calcular o trabalho por um caminho qualquer, c , precisamos de cálculo integral, que só é ensinado em cursos universitários. Mas, podemos enunciar o resultado geral: em sistemas conservativos, o trabalho para levar uma partícula de um ponto a outro independe do caminho entre esses dois pontos.



Agora temos tudo para relacionar campo elétrico, potencial elétrico e energia potencial. Para evitar confusão, vamos denominar energia potencial pela letra U , em vez de E_p . Vamos reescrever a equação (2.7):

$$U_p(f) - U_p(i) = -T_{if}, \quad (2.10)$$

onde, $U_p(i)$ é a energia potencial no ponto i , $U_p(f)$ é a energia potencial no ponto f , e T_{if} é o trabalho necessário para levar uma carga elétrica do ponto i até o ponto f . É importante chamar a atenção para o seguinte fato: o trabalho é sempre a diferença das energias nos dois pontos do trajeto, o inicial e o final. Isso significa que é possível definir arbitrariamente o valor da energia potencial em algum ponto como referência. No caso gravitacional costuma-se definir a energia potencial na superfície da Terra como sendo nula. No caso eletrostático é costume usar um ponto no infinito como tendo energia potencial eletrostática nula. Ou seja,

$$U_p(f) - U_p(\infty) = -T_{if} \rightarrow U_p(f) = -T_{\infty}.$$

Portanto, dada uma configuração de cargas e uma carga de prova, q_0 , a energia potencial dessa configuração é o negativo do trabalho realizado pelo campo da configuração para trazer a carga de prova do infinito até o ponto em que ela se encontra.

A situação que discutimos até agora é assim: uma carga elétrica cria um campo elétrico. A intensidade desse campo decresce com o aumento da distância à carga, conforme a equação (2.1). Se uma carga, q , for colocada no campo de ação do campo, ela será submetida a uma força dada pela fórmula (2.5). Essa força realizará trabalho sobre a carga levando-a de um ponto a outro, conforme a fórmula (2.10).

Mas, em vez de trabalhar com energia potencial, é melhor trabalhar com potencial, assim definido:

$$V = \frac{U}{q_0} = -\frac{T}{q_0} \rightarrow V_f - V_i = -\frac{T_{if}}{q_0}. \quad (2.11)$$

O trabalho realizado por uma força F , do ponto i ao ponto f , ao longo de um percurso x é dado por (2.8):

$$T_{if} = Fx = q_0 Ex \quad (2.12)$$

Substituindo (2.12) em (2.11), obtém-se a expressão para a diferença de potencial (ddp) entre dois pontos, i e f , em função do campo elétrico:

$$V_f - V_i = -Ex \quad (2.13)$$

Diferença de potencial

Embora o conceito de potencial seja muito importante, é a diferença de potencial que interessa na prática, porque é a ddp que gera energia que resulta em movimento de cargas. As correntes elétricas surgem por causa da ddp. Na linguagem usual, a ddp também é denominada simplesmente de voltagem. Ou seja, nos circuitos elétricos a voltagem é uma diferença de potencial. Podemos considerar a ddp, ou a voltagem, como o conceito primário, ou conceito fundamental no estudo dos circuitos elétricos.

Embora tudo se origine nas cargas e nos campos elétricos, na prática é a ddp o conceito fundamental no estudo dos circuitos elétricos.



Unidades de carga elétrica, campo elétrico e voltagem

Praticamente todas as grandezas físicas são dimensionais, ou seja, necessitam de uma unidade de medida. Por exemplo, usamos o centímetro para medir pequenos comprimentos e metro para medir comprimentos maiores. Já nas rodovias, usamos o quilômetro. Com relação ao peso, usamos grama para massas pequenas, e quilograma para massas maiores. Já para objetos muito mais pesados, usamos a tonelada. Os britânicos e estadunidenses costumam usar libra para o peso e milha para o comprimento, mas esse critério não é mais usado pela comunidade científica.

Antigamente tinha dois sistemas de unidades, o CGS e o MKS. O primeiro tinha como unidades básicas o centímetro para o comprimento, o grama para massa e o segundo para tempo. No segundo sistema as unidades básicas eram metro, quilograma e segundo.

A partir de 1960, a comunidade científica internacional decidiu adotar um único sistema, a partir do MKS, que ficou conhecido como *Sistema Internacional de Unidades*, ou SI. Nesse sistema, a unidade de carga elétrica é Coulomb, C. A unidade de campo elétrico é Newton/Coulomb, N/C. É fácil entender por que esta é a unidade de campo elétrico. Basta examinar a equação (2.5):

$$F = qE \rightarrow E = \frac{F}{q}.$$

Com a unidade de força é Newton, e a de carga é Coulomb, resulta que a unidade de campo elétrico é N/C.

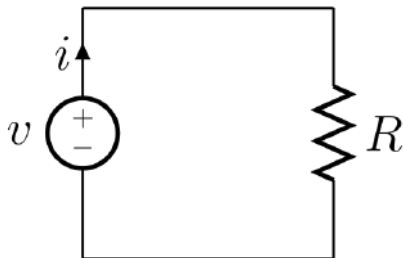
Potencial, diferença de potencial, força eletromotriz e voltagem, todas têm a mesma unidade: Volt.

Organizador Prévio 3

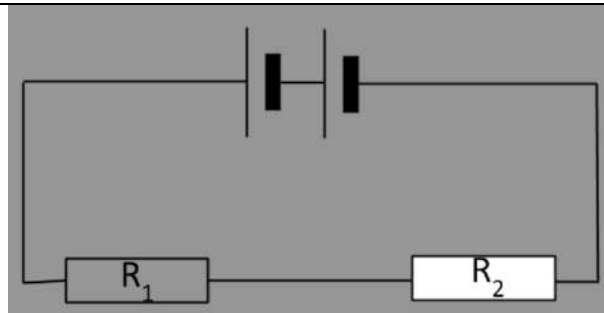
Corrente Elétrica, Circuitos Resistivos e Lei de Ohm

Nas duas unidades anteriores, você aprendeu que carga elétrica, campo elétrico e potencial elétrico são os conceitos mais importantes da eletrostática. Veremos aqui que eles são também os mais importantes da eletrodinâmica, porque deles decorrem os fenômenos eletrodinâmicos. A corrente elétrica, que talvez seja o conceito eletrodinâmico mais presente em nossa memória é consequência do movimento de cargas elétricas. E esse movimento é provocado pela ação de campos elétricos e pela existência de diferenças de potenciais ao longo do circuito elétrico. Esse será o tema dessa terceira unidade.

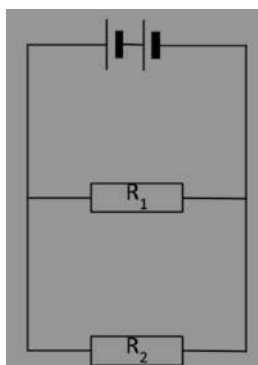
Mas, antes de abordarmos os detalhes matemáticos envolvendo os conceitos da eletrodinâmica, será conveniente abordarmos o tema sob um ponto de vista mais geral e qualitativo. Entendemos que essa abordagem facilitará a aprendizagem conceitual no que se refere ao tratamento matemático de circuitos simples, contendo uma pilha ou uma fonte de tensão, ligada a um ou mais resistores, ligados em série ou em paralelo, como ilustram as figuras abaixo.



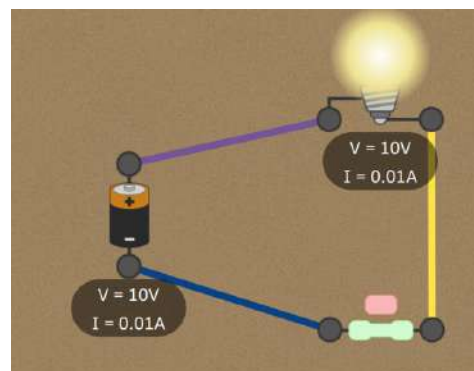
O circuito mais simples: uma fonte de tensão, ou bateria, e uma resistência.



Circuito em série com duas resistências.



Circuito em paralelo com duas resistências.



Circuito simples com uma lâmpada.

Como se vê, tanto a bateria, ou fonte de voltagem, como os resistores são graficamente representados de diferentes formas. Também é importante entender que uma lâmpada incandescente é essencialmente um resistor. Ou seja, a luz emitida por uma lâmpada incandescente é na verdade emitida pelo resistor, ou filamento que há no interior da lâmpada. A luz é emitida porque a corrente que circula no filamento o aquece ao ponto de fazê-lo emitir luz. Veremos isso mais adiante.



Mas, o que é mesmo a corrente elétrica? Já temos a primeira resposta: é o movimento de cargas elétricas. Mas, que cargas elétricas? Nos resistores que vamos abordar aqui, as cargas elétricas são transportadas pelos elétrons. Em soluções líquidas, pode haver corrente de elétrons, bem como de íons positivos, mas isso não será abordado aqui.

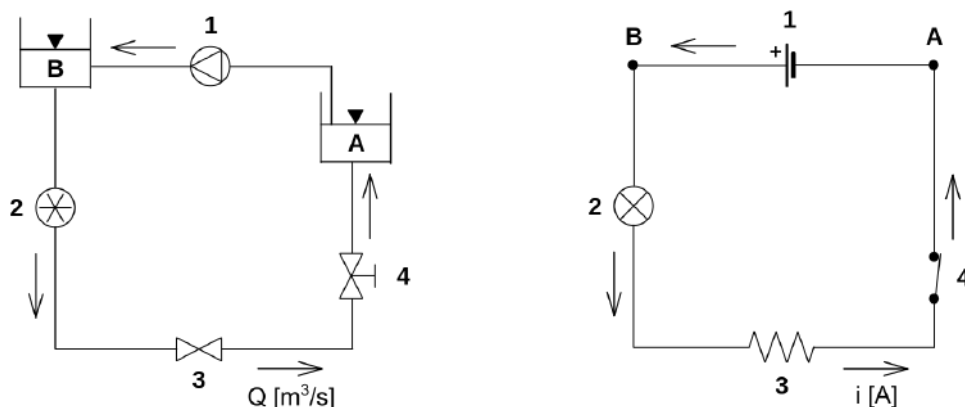
Mas, como se dá o processo que resulta na corrente elétrica? Bem, essa não é uma questão fácil de responder. Se você já leu algum livro didático sobre isso, talvez tenha em mente as seguintes hipóteses:

1. O estabelecimento de um campo elétrico em um fio metálico provoca um fluxo de elétrons neste condutor, fluxo este denominado corrente elétrica.
2. Quando um fio é ligado entre aos terminais de uma bateria, um campo elétrico é estabelecido no interior do fio, orientado do potencial maior para o menor. Como a carga elétrica dos elétrons é negativa, surgem neles forças elétricas de sentido oposto ao do campo. Dessa forma, os elétrons livres passam a se deslocar de um terminal a outro, criando-se, então, a corrente elétrica no fio.
3. A corrente elétrica é como o fluxo da água em um circuito hidráulico, onde a bateria funciona como a bomba.

As duas primeiras hipóteses têm algum fundo de verdade, mas não descrevem tudo o que está por trás do fenômeno da passagem de uma corrente elétrica através de um fio condutor. A terceira hipótese, muito frequente em livros didáticos, está absolutamente equivocada. Os processos de fluxo eletrônico e de fluxo d'água são completamente diferentes. Essa analogia entre os dois circuitos leva os alunos a uma concepção errada da corrente elétrica. Na ilustração a seguir, o circuito hidráulico da esquerda é comparado com o circuito elétrico à direita, com os seguintes símbolos representando dispositivos análogos:

- (1) bomba hidráulica e fonte de voltagem;
- (2) turbina e lâmpada;

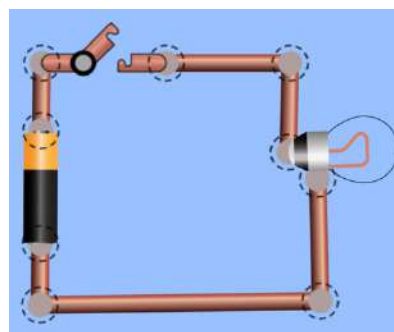
- (3) válvula de estrangulamento e resistor;
- (4) válvula de corte de fluxo e chave.



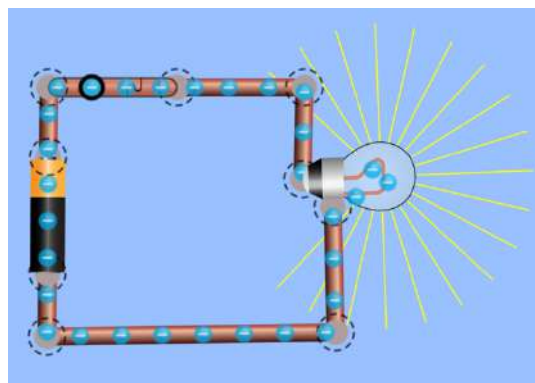
Quais são as dificuldades impostas por essa analogia? A analogia enfatiza o que se chama de corrente convencional, que tem o sentido contrário ao da corrente real. Isso dificulta a compreensão do que seja o fluxo de elétrons. Na imagem, a corrente que sai do polo positivo entra no polo negativo. Isso sugere que no caso da corrente real, o elétron que sai do polo negativo chega ao polo positivo. Isso não é verdade. Ou seja, enquanto no circuito hidráulico uma molécula de água que sai de B realmente chega em A, no circuito elétrico, um elétron que sai do polo negativo jamais chegará ao polo positivo.

A ideia equivocada que surge dessa analogia, é que a corrente elétrica é um fluxo contínuo de elétrons, como se eles saíssem de um polo da bateria e chegassem ao outro polo. No processo de corrente elétrica os elétrons movem-se em um curto espaço no interior do condutor. Mais adiante você vai estudar os detalhes do processo da corrente elétrica, mas é interessante adiantarmos alguns aspectos qualitativos. Por exemplo, há uma questão básica que precisa ser bem entendida: exatamente o que faz a corrente elétrica fluir? Uma resposta a essa questão tem a ver com o papel desempenhado pelas cargas superficiais nos condutores, que servem de guia para a corrente elétrica. Essa abordagem não é apresentada em nenhum dos livros didáticos que conhecemos. Ela é apresentada em alguns artigos científicos, que usaremos ao longo desta unidade.

Como funciona um circuito elétrico? Bem, vejamos o circuito mais simples. Uma bateria ligada a uma chave e a uma resistência, como uma lâmpada incandescente. A corrente surge quando a chave é ligada.



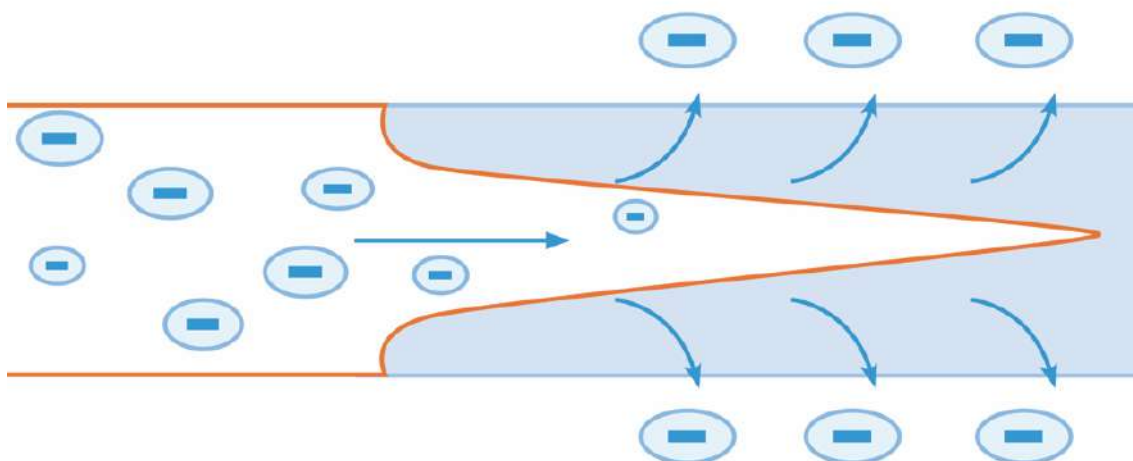
O que ocorre quando a chave é ligada? Para responder essa questão, precisamos saber como funciona uma bateria. Na verdade, não precisamos saber os detalhes do funcionamento, até porque existem diferentes tipos de baterias, com diferentes mecanismos. Basta sabermos que qualquer que seja o mecanismo, a função sempre será a acumulação de cargas positivas em um terminal, a acumulação de cargas negativas no terminal oposto.



Nesse tipo de bateria, o terminal positivo é o amarelo.

Essas cargas geram campos elétricos, mas se a bateria estiver desligada, esses campos não apresentam efeitos visíveis. Ao fechar a chave, a bateria será ligada ao circuito, e nesse momento, os campos elétricos começam a atuar nas cargas do fio condutor próximas aos terminais. Como nos condutores apenas os elétrons estão livres para se mover sob a ação dos campos elétricos.

Nas unidades anteriores você aprendeu que o campo elétrico de uma carga varia com o quadrado da distância. Ou seja, quanto mais distante, menor o valor do campo elétrico. Portanto, esse efeito do campo elétrico das cargas varia inversamente ao quadrado da distância. Depois de um curto intervalo de tempo após a bateria ser ligada ao circuito, os elétrons livres migram para as superfícies dos condutores metálicos, formando uma estrutura de cargas superficiais. Mais adiante veremos detalhadamente como os campos eletrostáticos gerados por essas cargas superficiais são responsáveis pela circulação de corrente elétrica no interior dos condutores.



O que acontece é que o campo de um elétron mexe com os elétrons vizinhos, e esses vizinhos mexem com os elétrons mais adiante, até que esse mexe-

mexe passa por todo o circuito e chega ao polo positivo. Quando esse movimento eletrônico ocorre no filamento da lâmpada, ele o aquece tanto ao ponto de emitir luz.

Portanto, os elétrons que no início estavam perto do polo negativo, ficam por lá. Eles apenas iniciam o mexe-mexe. O sinal que provoca esse mexe-mexe é transmitido à velocidade da luz. Atenção: o sinal é que é transmitido à velocidade da luz. Os elétrons se mexem com baixíssima velocidade.

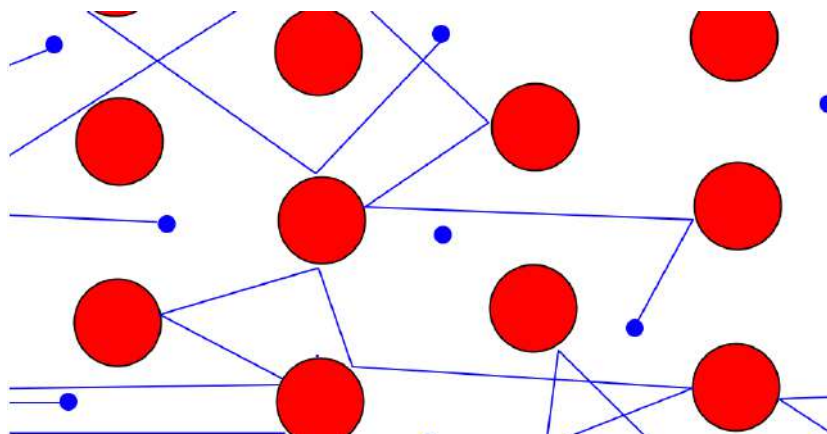
Em suma, não é o elétron que sai do polo negativo e eventualmente chega ao polo positivo o responsável pela corrente elétrica. A corrente elétrica é consequência de campos elétricos criados pelas cargas superficiais e pela transmissão quase instantânea das variações de campos elétricos no interior do condutor.

A corrente elétrica faz os elétrons se movimentarem ao longo do circuito, mesmo que cada um percorra um espaço pequeno, milhares de elétrons estão em constante movimento no interior dos condutores.

Então, o que ocorre no interior dos condutores quando os elétrons se movimentam? Você sabe qualquer material é composto de átomos, e que estes são constituídos de um núcleo com carga positiva, em volta do qual orbitam elétrons. Então, tem-se uma carga positiva blindada por uma esfera de carga negativa.

-	+	-	+
+	e	e	-
-	+	e	+
+	-	+	-

Quando um elétron em movimento se aproxima de um átomo, ele é repellido pela carga negativa ligada ao núcleo. O resultado da repulsão é o espalhamento do elétron, em direções aleatórias, de modo que muitos são jogados para trás. Mas, o campo elétrico volta a impulsioná-lo para a frente e ele vai novamente sofrer outros espalhamentos.



Esses choques entre os elétrons e a camada de cargas negativas (que também são elétrons) aquece o condutor. Quando o condutor atinge alta temperatura, ele emite luz. É fácil observar um metal emitindo luz, basta colocá-lo num braseiro. Ele primeiro fica vermelho, ou seja, emite luz vermelha, e termina ficando branco, emitindo todas as faixas da luz visível.



Esse processo de espalhamento depende de cada metal, e o resultado é medido por uma propriedade conhecida como resistência elétrica. Então, tem-se a corrente elétrica que depende da bateria, ou seja, da voltagem fornecida pela bateria, e também depende da resistência do material do qual é feito o condutor. A voltagem, a corrente elétrica e a resistência estão relacionadas pela lei de Ohm, que você vai estudar nesta unidade.

Organizador Prévio 4

Eletrodinâmica

No Organizador Prévio 3 você tomou conhecimento dos conceitos básicos fundamentais para o estudo da eletrodinâmica, que tem a ver com o movimento de elétrons em um circuito composto por diversos componentes, tais como fonte de tensão, ou de voltagem, resistores, capacitores, indutores, diodos, transistores e circuitos integrados. Nesta disciplina vamos tratar apenas dos circuitos simples, compostos tão somente de uma fonte de voltagem e alguns poucos resistores, mas para que você tenha uma ideia mais geral do assunto vamos apresentar neste Organizador Prévio uma abordagem qualitativa mais ampliada. Você vai notar que alguns conceitos apresentados no Organizador Prévio 3 serão retomados aqui com uma linguagem um pouco diferente. Isso é proposital, para facilitar a internalização dos conceitos mais importantes na sua memória, ou estrutura cognitiva.

Componentes básicos de um circuito elétrico

Diodos, transistores e circuitos integrados são os componentes da tecnologia moderna, mas não serão aqui tratados porque exigem um nível de conhecimento acima do que se exige no ensino médio.

Em princípio, todos os outros componentes podem ser tratados no ensino médio, mas na prática o que se observa é que dificilmente há tempo hábil para tratar capacitores e indutores. Repetindo o que foi escrito acima, os circuitos tratados aqui consistirão apenas em uma bateria e uma associação de resistores. Esses circuitos são geralmente denominados de circuitos elétricos simples, ou simplesmente circuitos simples. Mesmo assim, apresentaremos no final da disciplina uma breve discussão de capacitores e indutores.

Fonte de tensão

A fonte de tensão, ou bateria, ou pilha, ou gerador, é o elemento ativo de um circuito simples. Ou seja, o circuito funciona pela ação dessa fonte. A principal fonte de tensão em nosso cotidiano está presente em cada tomada de nossa casa. É uma fonte fornecida pela companhia de energia elétrica. Outra fonte muito conhecida são as pilhas usadas em aparelhos eletrodomésticos. E há também as baterias que usamos em relógios, celulares e computadores. Para os experimentos que iremos discutir aqui, vamos trabalhar com as pilhas de rádio, que serão ora denominadas pilhas, ora baterias. Ou seja, para o nosso contexto, pilhas de rádio e baterias de relógio e celulares são uma única coisa: bateria.

A fonte de tensão fornecida pela companhia de energia elétrica é de corrente alternada, ao passo que as baterias são fontes de corrente contínua. Essa denominação popular, fonte de corrente contínua, ou alternada, gera uma confusão muito grande nas pessoas que têm pouco conhecimento sobre o assunto. Muita gente imagina que as baterias são uma fonte de corrente constante. Ou seja, que elas fornecem a mesma corrente, qualquer que seja o circuito a elas conectado. Na verdade, o que uma bateria fornece de modo constante é a voltagem, ou diferença de potencial. Por exemplo, nas lojas temos pilhas de 1,5 volts ou baterias de 9 volts. A corrente que sairá dessas baterias vai depender do circuito que for a elas conectado.

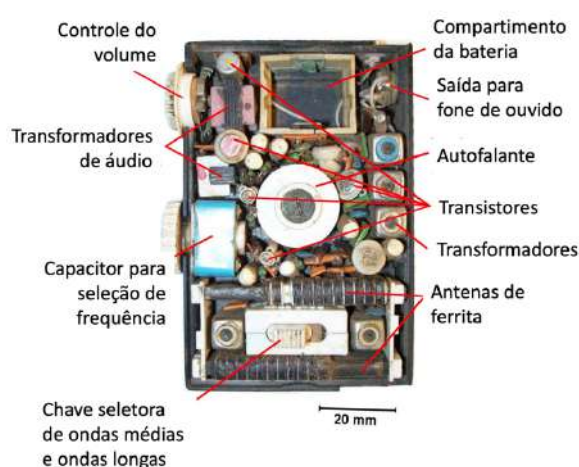
Condutores, isolantes, semicondutores e supercondutores

Nós estamos falando de eletrodinâmica, de movimento de elétrons, ou de corrente elétrica. Isso só é possível porque existem alguns materiais, denominados condutores, nos quais os elétrons podem se deslocar facilmente. O contrário, os materiais nos quais os elétrons têm muita dificuldade para se deslocarem são os isolantes. O termo técnico moderno é dielétrico, mas os textos didáticos continuam usando a denominação isolante porque tem um significado mais intuitivo.

Além de condutores e isolantes, existem na natureza os semicondutores e os supercondutores. Os semicondutores, por exemplo, germânio, silício, selênio e arsênio, são usados na fabricação dos dispositivos semicondutores, por exemplo, os chips de nossos celulares e computadores. Os supercondutores são usados na fabricação de bobinas para a produção de campos magnéticos intensos, como por exemplo nos equipamentos para ressonância magnética.

Nessa fotografia temos um circuito complexo, com todos os elementos mencionados acima. Trata-se de um antigo rádio transistorizado.

Observe o espaço para se colocar a bateria, um grande capacitor para fazer a sintonia da estação de rádio, um indutor com núcleo de ferrita e vários transistores. Para entender circuitos com essa complexidade, é preciso entender os circuitos simples, com apenas uma bateria e alguns resistores, capacitores e indutores.



Corrente e Resistência

Nos circuitos simples que vamos tratar aqui, os materiais usados são metais condutores. Os metais condutores de eletricidade são também condutores de calor. Se você colocar uma colher metálica na água quente, logo perceberá que o calor é conduzido através do cabo da colher. É por isso que os cozinheiros preferem colheres com cabo de madeira, ou, mais modernamente, colheres de teflon.

A razão pela qual esses metais são bons condutores de eletricidade e de calor é a mesma: eles têm muitos elétrons livres. E tanto o calor, quanto a corrente elétrica são conduzidos basicamente pelos elétrons livres. Todos os materiais são constituídos de átomos, e estes são constituídos de um núcleo (com prótons e nêutrons) e de elétrons que ficam orbitando em volta do núcleo. Como os elétrons são negativos, e o núcleo é positivo, eles se atraem. É por isso que os elétrons ficam orbitando em torno do núcleo. Todavia, nos metais condutores, alguns desses elétrons são fracamente ligados ao núcleo, de modo que eles podem facilmente saltar de um átomo para outro. Esses são os elétrons livres, os responsáveis pela condução do calor e da eletricidade.

Vejam o caso da colher metálica na água fervente. As moléculas da água estão agitadas, com altos valores de energia cinética, por causa da alta temperatura. Quando entram em contato com a colher, as moléculas da água transferem parte da energia cinética para a colher. Os elétrons livres na parte da colher em contato com a água ficam mais agitados que os do cabo, mas rapidamente transferem energia para os elétrons próximos, até que os elétrons do cabo também ganham energia cinética, e, portanto, ficam com temperatura mais alta.

No caso da corrente elétrica o fenômeno é muito parecido. Em vez da água fervente, temos uma bateria, que cria um campo elétrico quando ligamos um material condutor entre seus terminais. Esse campo elétrico se espalha pelos condutores e fornece energia cinética a todos os elétrons livres. É essa transmissão de energia que medimos como corrente elétrica. De modo similar ao caso da colher metálica, que fica aquecida por causa da energia cinética dos elétrons, quando uma corrente elétrica passa por um resistor, a energia cinética dos elétrons aumenta, e o resistor é aquecido. Voltaremos a discutir esse fenômeno nos próximos capítulos.

O que importa aqui é definir o que são resistores. Como foi dito acima, os materiais usados nos circuitos que aqui estudaremos, são feitos de metais condutores. Alguns metais conduzem mais do que outros. Cada material tem uma propriedade, chamada condutividade elétrica, que define sua capacidade de conduzir corrente elétrica. Conhecendo essa propriedade e as dimensões de um fio (área da seção reta e comprimento), é possível calcular a resistência elétrica do fio. Quanto maior a resistência, menor a corrente que passa pelo fio, para

uma dada voltagem aplicada. Voltaremos a essa questão quando formos discutir a lei de Ohm.

A unidade de resistência elétrica é o Ohm, cujo símbolo é Ω . Nas aplicações comerciais, os valores típicos são na faixa de mil Ohms, ou $k\Omega$. O valor da resistência vem marcado no resistor por meio de um código de cores. Por exemplo, na figura abaixo, a resistência à esquerda (fig. a) é de $1,5 k\Omega$, enquanto a outra (fig. b) é de $10 k\Omega$.

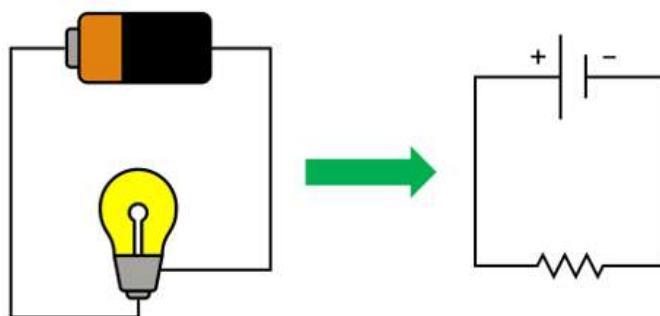


(a)



(b)

Mais adiante vamos discutir detalhadamente a corrente elétrica em circuitos simples, mas para apresentar o capacitor e o indutor é necessário termos alguma ideia da corrente produzida por uma bateria. O circuito mais simples que podemos montar consiste em uma bateria conectada a uma lâmpada incandescente. Ao lado o mesmo circuito representado pelos símbolos de bateria e de resistência. Uma lâmpada incandescente é simplesmente um conjunto de resistências, que pode ser representada por uma única resistência.



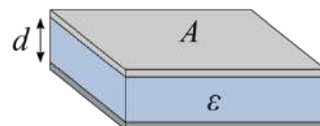
A bateria fornece uma voltagem, que faz circular uma corrente ao longo do circuito. Podemos dizer a mesma coisa com outras palavras. A bateria cria um campo elétrico que faz circular uma corrente elétrica. Ainda há outra forma de dizer isso. A bateria cria um campo elétrico que provoca o movimento de elétrons que resulta na corrente elétrica. Quando esse tipo de circuito foi estudado pela primeira vez, no início do século 19, o elétron ainda não havia sido descoberto, de modo que ninguém sabia ao certo quem transportava a corrente

elétrica. Foi então que convencionaram definir a corrente elétrica como um fluxo que sai do polo positivo para o negativo. Ou seja, trata-se de uma corrente como se os portadores fossem cargas positivas. Mas, desde a descoberta do elétron, em 1897, é sabido que os portadores de corrente são elétrons. Portanto, o movimento da corrente real, ou corrente eletrônica é do polo negativo para o positivo.

O processo da corrente elétrica se dá mais ou menos assim: quando a bateria é ligada à resistência, ela tende a empurrar os elétrons que estão próximos. Esses elétrons tendem a empurrar os outros que estão à sua frente, e esse empurra-empurra resulta na corrente elétrica, que termina chegando no polo positivo. O que acontece quando os elétrons chegam no polo positivo? Deixaremos para discutir essa questão mais adiante.

Capacitores

Vejamos agora o que acontece se em vez de uma resistência, tivermos um capacitor ligado à bateria. Duas placas metálicas separadas por uma pequena distância constitui um capacitor, definido por sua capacitância.

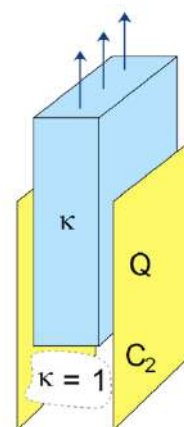


Nos desenhos dos circuitos elétricos, o capacitor é representado por este símbolo.



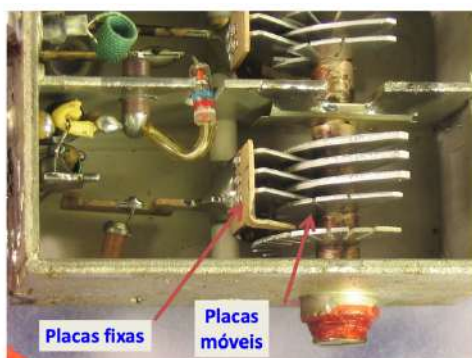
Existem duas propriedades geométricas e uma propriedade química que definem a funcionalidade de um capacitor. As propriedades geométricas são a área das placas e a distância entre elas. A propriedade química é o tipo de material que está entre as placas. Esse material tem que ser um isolante, ou como se diz atualmente, um dielétrico, e é caracterizado pela sua constante dielétrica, k . No vácuo, $k=1$.

Para um capacitor funcionar bem, a distância entre as placas tem que ser muito menor do que as dimensões lineares das placas. É por isso que no início desta seção foi dito que um capacitor é constituído por *duas placas metálicas separadas por uma pequena distância*.



Portanto, a mudança do material entre as placas altera o funcionamento do capacitor. A mesma coisa acontece com a variação da área das placas.

Em muitas aplicações, como no caso dos antigos rádios, a sintonia pode ser feita com a construção de capacitores nos quais a capacitância pode ser variada pela variação das áreas de suas placas.



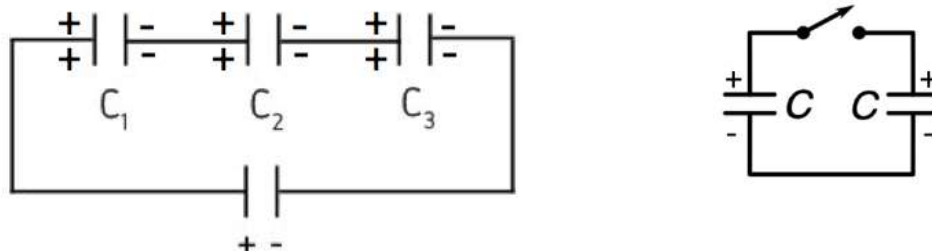
Nos capacitores variáveis, uma das placas é fixa, enquanto as outras são móveis. Alterando a posição dessas placas móveis, obtém-se capacitores com propriedades diferentes.

Temos aqui diferentes modelos de capacitores modernos.



É importante chamar a atenção para o fato de que na tecnologia contemporânea, onde predominam os circuitos integrados, os capacitores são invisíveis a olho nu.

Em muitos circuitos elétricos temos necessidade de ligar capacitores em série e em paralelo, como no caso dos resistores. Na figura à esquerda temos três capacitores ligados em série a uma bateria, enquanto à direita temos dois capacitores ligados em paralelo. A figura sugere que algumas placas ficam com cargas negativas, enquanto outras ficam com cargas positivas. Essa é uma das finalidades dos capacitores: acumular cargas em suas placas. Vejamos como isso ocorre.



Podemos analisar esta situação, no caso da associação em série, a partir do polo negativo ou do polo positivo da bateria. O resultado é o mesmo. Vamos analisar a partir do polo negativo. Quando a bateria é ligada, o polo negativo tende a expulsar os elétrons que estão próximos, do mesmo modo como discutimos acima, para o surgimento da corrente elétrica. Esta mensagem de expulsão é transferida de elétron a elétron, até que chega à primeira placa do capacitor C_3 . Os elétrons que chegam àquela placa não podem ir adiante, porque logo depois existe o dielétrico, ou seja um material isolante que não permite o movimento de elétrons em seu interior. É por isso que há o acúmulo de elétrons nessa primeira placa. No entanto, esses elétrons criam um campo elétrico que produz a expulsão dos elétrons na placa seguinte. Esses elétrons acumulam-se na placa do capacitor C_2 , e o processo se repete até chegar no capacitor C_1 . Os elétrons expulsos da segunda placa de C_1 expulsam os elétrons seguintes até que a mesma quantidade de elétrons expulsos do polo negativo da bateria chega ao polo positivo.

Preste atenção: eu disse que a mesma quantidade de elétrons expulsos pelo polo negativo chega ao polo positivo. Ou seja, os elétrons que chegam ao polo positivo não são os mesmos que saem do polo negativo. Apenas a quantidade é a mesma. Isto significa que a quantidade de carga em um circuito elétrico se conserva.

Capítulo 3

Eletrodinâmica

Para uma abordagem no ensino médio, podemos dividir a eletricidade em três áreas: eletrostática, eletrodinâmica e eletromagnetismo. Nesta disciplina não estudaremos o eletromagnetismo, mas é importante termos conhecimento da sua relação com a eletrostática e a eletrodinâmica. Todos os fenômenos da eletricidade têm relação com os conceitos estudados na eletrostática, sendo a carga elétrica o conceito fundamental. Já falamos sobre isso, mas não custa repetir: carga elétrica cria campo elétrico, que exerce força sobre outras cargas colocadas em suas proximidades. Essa força realiza trabalho, aumentando a energia cinética da carga. O movimento das cargas também pode ser visto a partir do efeito do potencial elétrico, associado ao campo elétrico.

Se essas cargas em movimento estiverem no interior de materiais condutores, podemos observar a existência de uma corrente elétrica, que é o principal fenômeno da eletrodinâmica. No Organizador Prévio 4 você teve uma visão geral de tudo isso. Vamos agora estudar os detalhes e os processos de medida. Mas, antes disso, convém termos em mente a linha do tempo das principais descobertas da eletricidade, até chegarmos ao que sabemos hoje. Uma parte dessa história você estudou nos capítulos anteriores; outra parte vai estudar neste capítulo, mas, a parte mais moderna, que inclui o eletromagnetismo será estudada em outra oportunidade.

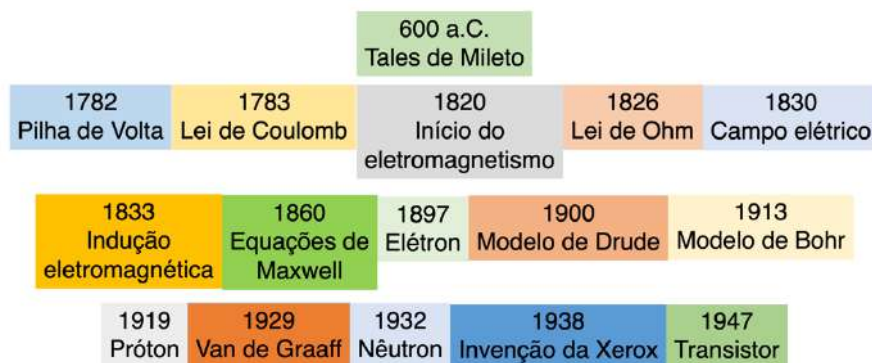


Figura 3.1 – Principais eventos da eletricidade.

Observe a escala do tempo. Entre as primeiras observações sistemáticas da eletrostática, feitas por Tales de Mileto, e a formulação da primeira lei, feita por Coulomb, decorreram mais de dois mil anos. A primeira observação referente ao eletromagnetismo se deu ao mesmo tempo em que ocorreu a descoberta da principal lei da eletrodinâmica, a lei de Ohm, mas foram necessários 40 anos

para que as leis do eletromagnetismo fossem concluídas. Isso se deu com a formulação das equações de Maxwell. Mas, a história do eletromagnetismo moderno começa mesmo é com a descoberta do elétron, em 1897. Até então, ninguém sabia ao certo quem eram os responsáveis pelos fenômenos da eletrodinâmica, sobretudo qual era exatamente a origem da corrente elétrica. Isso só começou a ficar mais claro com a descoberta do elétron. Três anos depois dessa descoberta, Paul Drude elaborou sua teoria dos metais, que se constituiu no grande salto para os estudos modernos da condutividade elétrica. É o modelo microscópico de Drude que usaremos para explicar os fenômenos da eletrodinâmica.



O eletromagnetismo contemporâneo se inicia com a junção do modelo de Drude, com o modelo atômico de Rutherford e Bohr e com as descobertas do elétron e do próton. É a existência de prótons no núcleo atômico e de elétrons à sua volta que dá consistência ao modelo de Drude.

O modelo de Drude só vale para a parte central da tabela periódica, que você deve ter estudado nas disciplinas de química. É nessa parte, marcada em azul, que se encontram os metais, sendo cobre (Cu) um dos mais importantes para os estudos de condutividade elétrica.

Group	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Period	↓																	
1	1 H																	2 He
2	3 Li	4 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
3	11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
4	19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
5	37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
6	55 Cs	56 Ba	* 71 Lu	72 Hf	73 Ta	74 W	75 Re	76 Os	77 Ir	78 Pt	79 Au	80 Hg	81 Tl	82 Pb	83 Bi	84 Po	85 At	86 Rn
7	87 Fr	88 Ra	* 103 Lr	104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds	111 Rg	112 Cn	113 Nh	114 Fl	115 Mc	116 Lv	117 Ts	118 Og
			* 57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb		
			* 89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No		

Figura 3.2 – Tabela periódica. Os metais estão marcados em azul.

Depois do surgimento do modelo de Drude, o estudo da física teve muitos avanços, começando pela teoria da relatividade, as pesquisas sobre fenômenos radioativos, a descoberta do próton, do nêutron e da fissão nuclear, a elaboração da teoria quântica, entre outros, até que, em 1947, o transistor foi inventado,

dando início à tecnologia eletrônica que alimenta todos os dispositivos digitais atuais.

Modelo Microscópico de Drude

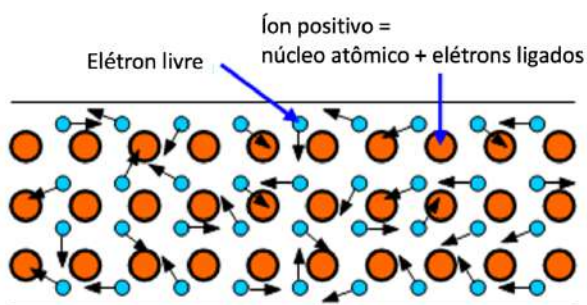
O modelo de Drude parte do princípio de que em um metal existe uma grande quantidade de elétrons livres. Na visão de Drude esses elétrons livres formam o que ele chamou de gás de elétrons. A partir dessa imagem ele usou os estudos da termodinâmica, especificamente da teoria cinética dos gases para obter os resultados da condutividade elétrica. A matemática envolvida nesses estudos está muito acima do ensino médio. Mas, podemos fazer uma descrição qualitativa dos resultados obtidos por Drude.



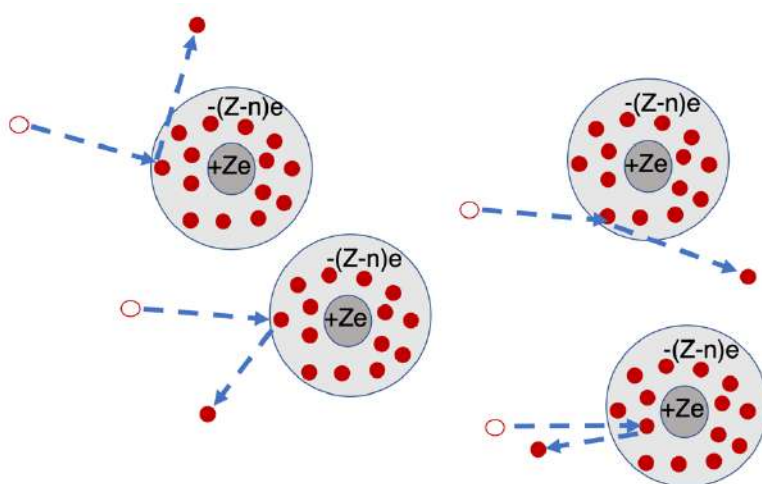
A matemática do modelo de Drude é muito difícil, mas a descrição qualitativa do que acontece no interior de um metal condutor é simples.

Microscopicamente, o que acontece é o seguinte. Cargas elétricas podem movimentar-se sob a ação de campos elétricos e magnéticos, e em diversos ambientes, mas vamos nos concentrar em materiais metálicos condutores, como cobre, níquel, ferro, entre outros. Geralmente os condutores usados em circuitos elétricos são confeccionados com cobre. Então, vamos tratar de elétrons movendo-se em resistores, sob a ação de um campo elétrico provido por uma bateria.

Geralmente o modelo microscópico de Drude é ilustrado em livros didáticos com essa imagem. Na ausência de campo elétrico, os elétrons movimentam-se aleatoriamente, exatamente como uma molécula de gás. Quando se aproximam do íon positivo, formado pela carga nuclear (positiva) e os elétrons fortemente ligados ao núcleo, os elétrons livres são espalhados em todas as direções. É por isso que o movimento é aleatório. Mas, tem um problema com essa imagem. Como é que os elétrons livres são espalhados por um íon positivo? De acordo com a lei de Coulomb eles deveriam ser atraídos, e não repelidos pelo íon positivo. Para resolver esse enigma é preciso olhar o modelo de Drude mais detalhadamente.



A imagem abaixo é uma visão mais realista do modelo de Drude. Você aprendeu na química que, no estado normal, o átomo tem no núcleo um certo número de prótons, e em volta desse núcleo orbita o mesmo número de elétrons. Esse número de prótons, igual ao de elétrons, é internacionalmente representado pela letra Z , e é denominado *número atômico*. Ou seja, a carga nuclear é positiva e igual a Ze , sendo e o módulo da carga do elétron, $e=1,6 \times 10^{19}$ C. Desse Z elétrons em volta do núcleo, n podem ser considerados livres, e $Z-n$ são os mais ligados ao núcleo. Os prótons e os elétrons ligados formam um íon positivo, com carga igual a ne . Então, por que o íon positivo espalha o elétron livre? Não deveria atraí-lo?



Para responder essa intrigante questão, precisamos de mais um conhecimento aprendido na química. Comparado com o tamanho total do átomo, o núcleo é minúsculo. Por exemplo, se ele fosse do tamanho de uma bola de futebol e colocado no centro do Maracanã, os elétrons ficariam nas arquibancadas. É isso que permite o espalhamento dos elétrons no modelo de Drude. Quando um elétron livre chega perto do íon, sua primeira e mais forte interação é com alguns elétrons ligados, que estão mais afastados do núcleo. A interação com a carga positiva do núcleo é mais fraca. Portanto, a força de repulsão é maior do que a força de atração.



É a grande distância entre os elétrons e o núcleo atômico que explica o espalhamento dos elétrons nos materiais condutores.

Veja na tabela periódica da figura 3.2 que o cobre tem número atômico 29. Desses 29 elétrons do cobre, apenas um é considerado livre. Isso parece pouco, mas não é. Com apenas esse elétron livre, o cobre é um dos melhores condutores de eletricidade. Em um pedaço de cobre existem alguns octilhões de elétrons livres. Um octilhão é o número 1 seguido de 27 zeros. É com essa enorme quantidade de elétrons livres que temos que lidar em um circuito elétrico simples.

Se um campo elétrico for aplicado a um condutor, o movimento aleatório dos elétrons livres será alterado pela força do campo elétrico, e esses elétrons passarão a ter um movimento ordenado. Os espalhamentos mencionados acima continuarão, mas a força do campo elétrico fará com que o movimento eletrônico seja ordenado, como ilustra a figura 3.3. No caso de um bom condutor, os elétrons livres se deslocam com mais facilidade do que no caso de um mau condutor. Veja que o elétron se move no sentido contrário ao do campo elétrico. Isso é assim por causa da equação (2.5).

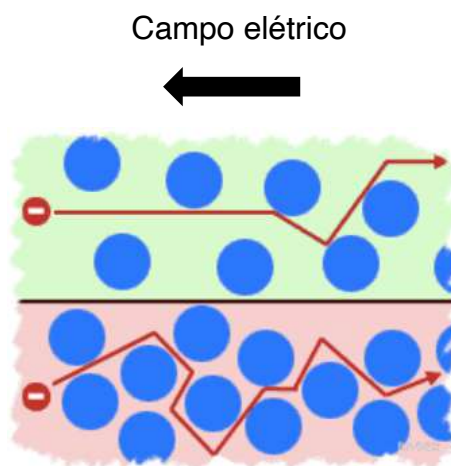


Figura 3.3. Ilustração do movimento de elétrons no interior de um bom condutor (desenho superior) e no interior de um mau condutor (desenho inferior).



MICROSCOPICAMENTE temos o movimento de elétrons, que não podemos observar, apenas imaginar como seja. **MACROSCOPICAMENTE** temos a corrente elétrica, que podemos medir com um amperímetro.

Apesar de microscopicamente o movimento aparentar caótico, macroscopicamente há um movimento eletrônico efetivo na figura 3.3, da esquerda para a direita. A imagem desse movimento é similar àquele de uma pessoa que dá dois passos para a frente e um para trás. No final das contas essa pessoa vai andar para a frente. É esse movimento efetivo dos elétrons que dá origem à corrente elétrica.

Corrente Elétrica

A primeira indicação da existência de corrente elétrica surgiu no século 18, com a invenção da pilha de Volta, mas a primeira investigação sistemática desse fenômeno só foi feita por volta de 1820, quando Ampère estudava a relação entre o sentido da corrente elétrica e o efeito que ela exercia numa bússola. Em sua homenagem, a unidade de corrente elétrica no sistema internacional (SI) é o ampere (A).

A intensidade de corrente elétrica é definida como a quantidade de carga que atravessa a seção reta de um condutor, por unidade de tempo, isto é,

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}, \quad (3.1)$$

sendo a quantidade de carga medida em coulombs (C), e o intervalo de tempo em segundos (s). Então $1 \text{ C/s} = 1 \text{ A}$.

Embora definida por uma equação muito simples, o conceito de corrente elétrica é muito complexo, causando confusão na mente de alunos de todos os níveis, do ensino médio ao universitário, e mesmo profissionais da eletricidade manifestam confusão conceitual em relação à corrente elétrica. Praticamente todos os livros didáticos contribuem para essa confusão.

A figura 3.4 é uma ilustração da corrente elétrica em um condutor de comprimento L . O modelo de Drude é sugerido pela existência de espalhamento eletrônico pelos pontos pretos, que simbolizam os íons positivos da rede cristalina. Há duas indicações de corrente nessa figura. A corrente conhecida como corrente convencional, indicada pela letra I , e a corrente de elétrons, conhecida como corrente real. A corrente convencional sai do polo positivo da bateria, enquanto a corrente real sai do polo negativo. Até 1897, ano da descoberta do elétron, ninguém sabia quem era o responsável pela corrente elétrica. Então, durante quase um século convencionou-se definir o sentido da corrente do polo positivo para o negativo, e esta convenção prevalece até hoje.

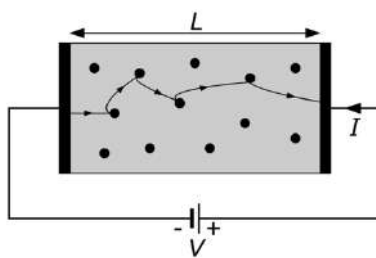
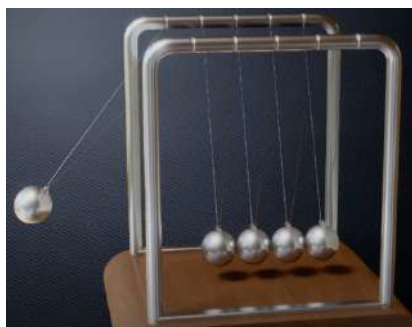
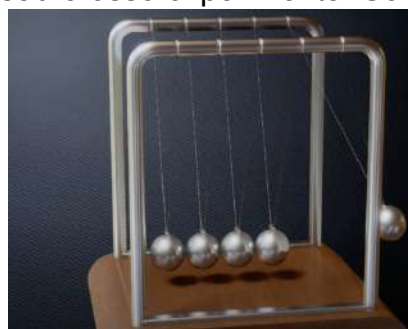


Figura 3.4 – Desenho típico encontrado em livros didáticos para ilustrar a corrente elétrica através de um resistor de comprimento L , alimentado por uma bateria com tensão V .

Essa imagem é fonte de muita confusão. Ela sugere que o elétron sai do polo negativo e vai até o polo positivo. Não é isso o que acontece. A explicação detalhada do que acontece requer conhecimentos de física e matemática que estão acima do que podemos tratar aqui. No entanto, podemos discutir qualitativa o que acontece quando se estabelece uma corrente elétrica em um condutor. Faremos isso usando como analogia um experimento que você talvez tenha visto na mecânica. Existem vários vídeos no Youtube sobre esse experimento. Selecionei esse que está aqui <https://www.youtube.com/watch?v=DMRulHySH3c>.

Uma esfera é afastada e depois liberada para atingir a primeira das quatro esferas que estão imóveis. A esfera em movimento transfere sua energia, ou sua quantidade de movimento, para a primeira esfera. Essa quantidade de movi-



mento é transferida para as três esferas seguintes, até que a quarta esfera recebe a energia e se move para a esquerda. Ou seja, o movimento da esfera à direita é transferido para a esfera à esquerda. Observe que todas as outras esferas ficam imóveis, justamente porque toda a quantidade de movimento, ou toda a energia foi transferida para a última esfera à esquerda.

O que acontece no condutor é algo parecido. Quando uma bateria é conectada a um condutor, instantaneamente cria-se um campo elétrico, que atua em todos os elétrons e prótons do material. No entanto, apenas os elétrons livres podem se mover em distâncias apreciáveis sob a ação desse campo. Na figura 3.5, a força do campo é indicada pelas setas azuis em alguns elétrons, selecionados para ilustrar a explicação. Como a aplicação do campo é quase instantânea, o elétron mais próximo do polo positivo será por este atraído antes que

qualquer elétron mais próximo do polo negativo. Portanto, não é o elétron que está próximo do polo negativo que será absorvido pelo polo positivo.

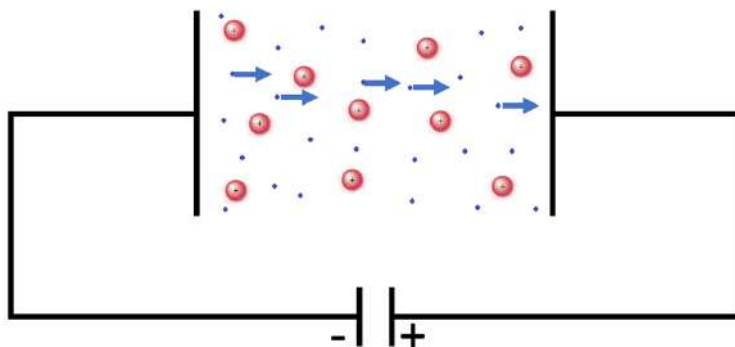


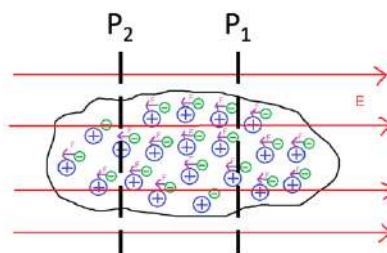
Figura 3.5 – Modelo microscópico da corrente elétrica.



Pergunta natural: no contexto desse modelo, qual o significado da equação (3.1)?

Como o campo elétrico atua instantaneamente, tem-se praticamente a mesma densidade de carga elétrica ao longo do condutor. Ou seja, se colocarmos um contador de elétrons em qualquer ponto do condutor, P_1 , P_2 ou qualquer outro ponto, a contagem ao longo de um determinado

tempo será a mesma. É essa contagem que denominamos de corrente elétrica, ou seja, a quantidade de elétrons por unidade de tempo, que passa em uma seção reta do condutor. Existem equipamentos, denominados amperímetros, que fazem essa contagem. Na verdade, a palavra correta não é contagem, é medida. Os amperímetros medem a quantidade de carga por unidade de tempo. Para concluir, a corrente não é o fluxo de elétrons ao longo do condutor, é a quantidade de elétrons que passam por unidade de tempo em determinada seção reta do condutor. E ela será a mesma em qualquer ponto do condutor.



Resistência, Resistividade, Condutividade e Lei de Ohm

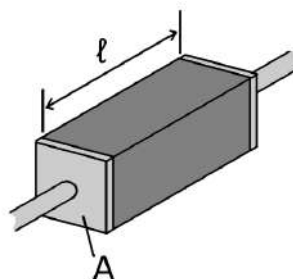
Na figura 3.3 são ilustrados os movimentos de um elétron em um bom condutor e em um mau condutor. A figura sugere que no bom condutor o elétron se movimenta mais livremente, enquanto no mau condutor há mais obstáculos para o movimento eletrônico. Esse tipo de imagem, ou modelo, tem alguma coisa a ver com a realidade?

O que faz um material ser bom ou mau condutor de eletricidade?

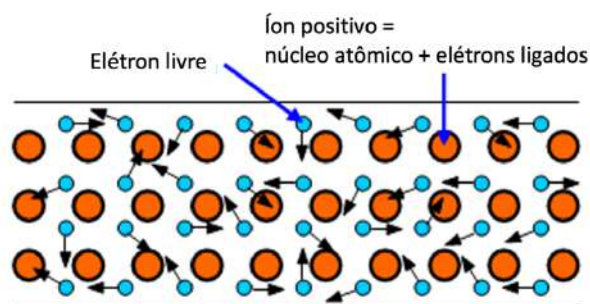


Só depois que todos os fundamentos clássicos da eletricidade foram descobertos é que essa pergunta pôde ser respondida. Por exemplo, quando Georg Simon Ohm descobriu a lei que leva seu nome, no início dos anos 1820, ele não tinha a menor ideia do que acontecia no interior dos condutores. Ele só conseguiu relacionar as

propriedades macroscópicas nos seus experimentos, e conseguiu estabelecer a relação entre diferença de potencial, corrente elétrica e resistência. A resistência é uma propriedade que depende do material condutor e de sua geometria, ou seja, seu comprimento, ℓ , e sua seção reta, ou área transversal, A . Daqui a pouco você vai ver a fórmula descoberta por Ohm, mas antes disso é interessante saber que propriedades microscópicas explicam a resistência de um material.

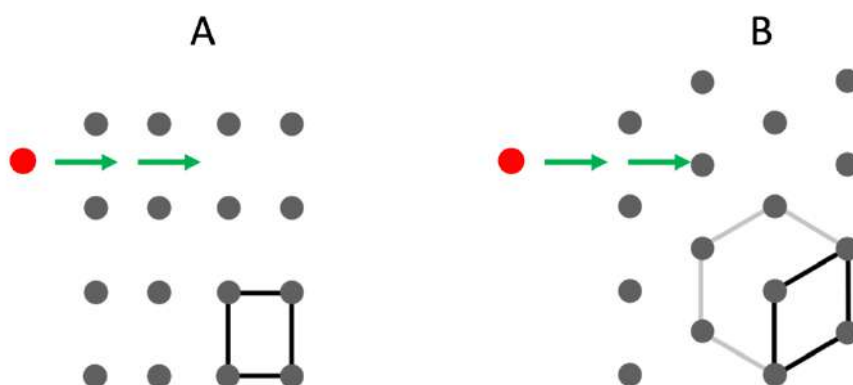


Vamos voltar ao modelo de Drude, cuja ilustração foi apresentada acima, e será repetida aqui. Os íons positivos formam a estrutura cristalina do material. Nessa imagem, a estrutura é formada de fileiras de três íons, que se repetem ao longo do fio. Denominamos *célula unitária* essa parte da estrutura que se repete. Cada material tem uma determinada célula unitária. Os materiais que têm células unitárias similares formam determinados grupos de materiais. Não precisamos discutir esses detalhes aqui. Basta ficarmos com o modelo qualitativo de Drude.



Veja essas duas células unitárias na figura abaixo. Na célula A, os íons formam quadrados, com um íon em cada vértice, enquanto na célula B eles

formam hexágonos, com um íon no centro e seis íons nos vértices. As imagens sugerem que se um elétron penetra nessas estruturas cristalinas na mesma direção das setas, ele passa sem espalhamento na estrutura A, mas será espalhado na estrutura B. A situação real é muito mais complexa, mas esse modelo simples indica que materiais com estruturas cristalinas diferentes espalham elétrons diferentemente. Essas diferenças nos espalhamentos eletrônicos resultam em diferentes valores das resistências elétricas. Quando Ohm descobriu que diferentes metais apresentavam diferentes resistências, ele não sabia que isso tinha a ver com a estrutura atômica dos materiais.



Nos seus primeiros experimentos, Ohm mediu a corrente elétrica que passava em determinado fio condutor, quando ele aplicava uma diferença de potencial (ddp) entre seus extremos. Ele experimentou fios de vários metais: cobre, ferro, zinco, ouro, prata, platina, entre outros. Para todos eles o resultado foi muito similar. Em notação moderna, ele obteve a seguinte relação:

$$i = \frac{V}{R}, \quad (3.2)$$

onde, i é a corrente elétrica, V é a ddp, e R é uma constante que depende do material. A partir desse resultado, Ohm enunciou sua lei:

A corrente em um condutor é diretamente proporcional à ddp aplicada nas suas extremidades.

Em vários livros didáticos, a lei de Ohm é apresentada diferente do enunciado acima, mas todas elas resultam da equação (3.2). Nessa equação, a constante de proporcionalidade é o inverso da resistência, que Ohm demonstrou como calcular:

A resistência de um condutor pode ser calculada dividindo o comprimento do condutor pelo produto da sua condutividade pela sua área transversal.

Em notação moderna, esse enunciado pode ser expresso por essa equação:

$$R = \frac{L}{\sigma A}, \quad (3.3)$$

onde, L é o comprimento do fio, A é sua seção transversal, e σ é a condutividade do material. É essa propriedade que tem a ver com a estrutura cristalina do material. O inverso da condutividade é a resistividade, outra propriedade do material, ou seja, $\frac{1}{\sigma} = \rho$. Nos livros didáticos, a equação (3.3) é geralmente apresentada em termos da resistividade:

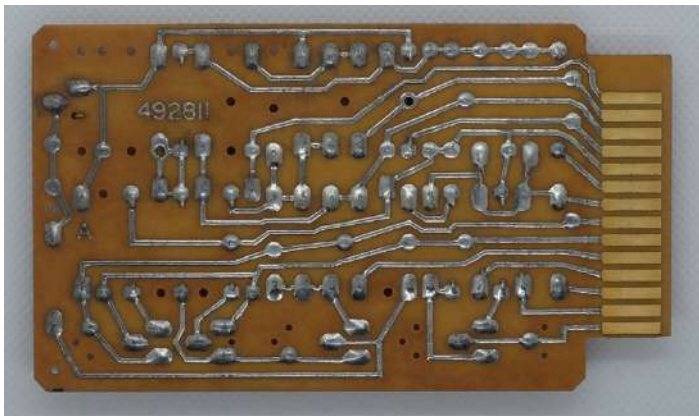
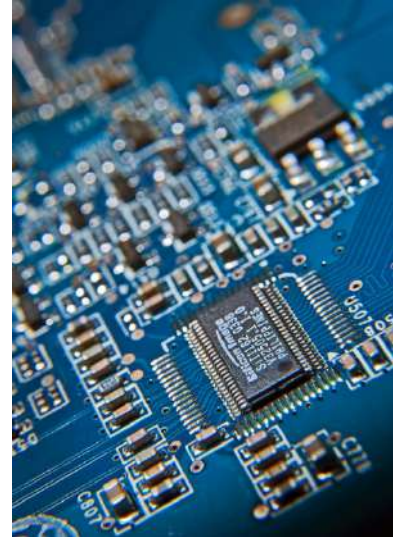
$$R = \rho \frac{L}{A}. \quad (3.4)$$

No sistema SI, a unidade de resistência é o ohm (Ω), da resistividade é ohm.m, e da condutividade é S/m, onde S é o símbolo de Siemens.

Capítulo 4

Circuitos Elétricos

Não há praticamente nada em nosso dia a dia que não dependa de pelo menos um circuito elétrico, quase sempre bastante complexo, como essa placa mãe de um computador, similar a este que estou usando para escrever esse texto. Diariamente engenheiros eletrônicos dedicam-se aos cálculos de correntes e diferenças de potenciais nesses circuitos, com o objetivo de montar seus projetos e fabricar equipamentos. As conexões entre os vários componentes do circuito são feitas no verso da placa, como na fotografia abaixo.



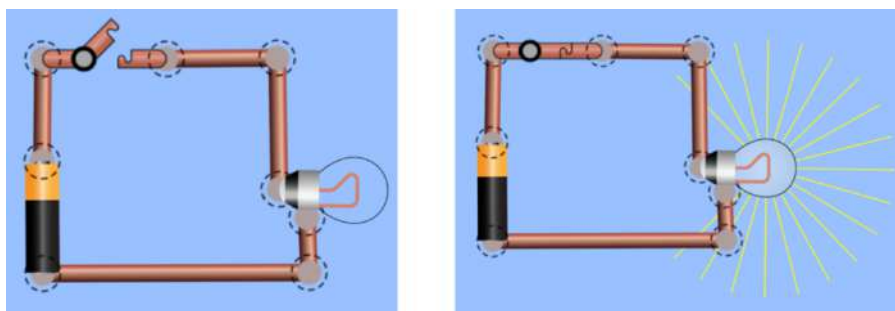
Até mesmo para tarefas simples, sistemas eletrônicos são fabricados, como essa placa usada para a extração de água de uma bombona caseira.

Para abordar todos esses circuitos elétricos, são necessários basicamente o conhecimento da lei de Ohm, que você aprendeu no capítulo anterior e das leis de Kirchhoff, que serão abordadas aqui apenas de forma bastante introdutória e qualitativa.

Todo circuito necessita de pelo menos uma bateria ou fonte de tensão para fazê-lo funcionar, e de um ou mais interruptores, que, como o nome sugere, servem para interromper o funcionamento do circuito, ou parte dele. Se não fosse assim, as lâmpadas de nossas casas ficariam sempre apagadas ou sempre acesas. Um dos circuitos mais



simples que podemos imaginar consiste de uma bateria, um interruptor e uma lâmpada incandescente¹.



Quando o interruptor é fechado, a lâmpada brilha, ou seja, emite luz. Por quê? Na maioria dos livros didáticos diz-se que isso acontece porque os elétrons na resistência da lâmpada² atingem altas temperaturas, que os faz emitir luz visível. Isso é parte da verdade, mas não é tudo. Porque o fato de atingir altas temperaturas os faz emitir luz visível? Logo depois da descoberta do elétron, em 1897, Joseph Larmor descobriu que uma partícula carregada em movimento emite luz, cuja frequência é proporcional à sua velocidade. Por outro lado, a temperatura de um corpo também é proporcional à velocidade dos componentes atômicos do corpo. É isso que justifica as afirmações contidas nos livros didáticos, de que os materiais condutores emitem luz por causa das altas temperaturas que apresentam durante a passagem da corrente elétrica.



É inevitável a repetição de ideias, conceitos e leis já abordados, na descrição que faremos aqui do fenômeno da condutividade elétrica em circuitos simples. Aliás, do ponto de vista didático essa repetição é conveniente, pois facilita a internalização dos conceitos abordados.

No momento que o interruptor (chave) é ligado, o campo elétrico produzido pela bateria começa a atuar nas cargas distribuídas ao longo dos condutores do circuito. Assim que um elétron sai do polo negativo da bateria, outro entra pelo polo positivo. Veja que não é o elétron que sai do polo negativo que vai ser absorvido pelo polo positivo. Mas, a quantidade de elétrons que saem do polo negativo da bateria é igual à quantidade que entra no polo positivo. Isso significa que há conservação da carga elétrica no circuito. Nenhuma carga *desaparece* no processo da condutividade elétrica. O mesmo acontece com a corrente elétrica, que também é conservada. **Não há qualquer tipo de consumo da corrente elétrica no circuito.**

¹ A menos que seja dito o contrário, todas as imagens deste capítulo foram extraídas da <https://commons.wikimedia.org/> e do portal <https://phet.colorado.edu>.

² Isso vale para o caso de lâmpadas incandescentes e fluorescentes. No caso das modernas lâmpadas LED o mecanismo é outro, bem mais complicado.



O campo elétrico atua em TODAS as cargas, mas apenas os elétrons livres se deslocam em uma distância razoavelmente longa.

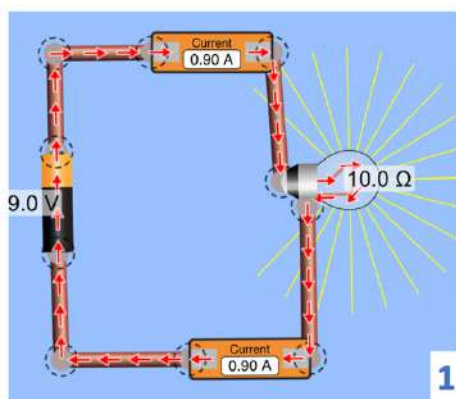
Então, a corrente que sai da bateria é igual à que entra. A corrente sai da bateria por causa do campo elétrico produzido por ela. A bateria não é fonte de corrente, ela é fonte de tensão, ou de potencial, ou de força eletromotriz. Tudo isso é produzido pelo campo elétrico.



Atenção, a bateria não é fonte de corrente, ela é fonte de tensão, ou de potencial, ou de força eletromotriz.

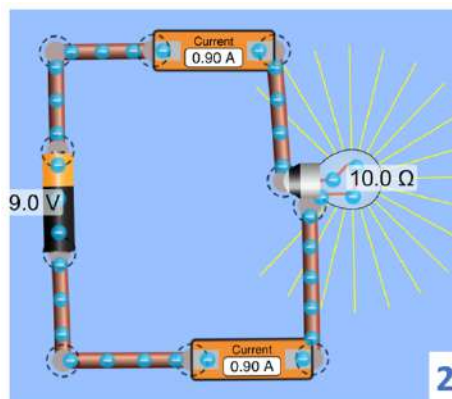
Cada bateria tem uma força eletromotriz (*fem*) que depende do processo de fabricação. Por exemplo, essas pilhas que costumamos usar em diversos aparelhos domésticos, têm forças eletromotrizes que variam de 1,5 V a 9 V. Com o tempo, o material que produz a força eletromotriz vai sendo consumido até que a pilha deixa de funcionar porque deixa de produzir a voltagem exigida pelos equipamentos.





Então, a fem é fixa, mas a corrente que sai de um polo da bateria e entre pelo outro depende do circuito. Veja bem o circuito (1). Uma bateria de 9 V alimenta uma lâmpada de $10\ \Omega$. As setas vermelhas indicam a corrente convencional, aquela que sai do polo positivo e entra no polo negativo.

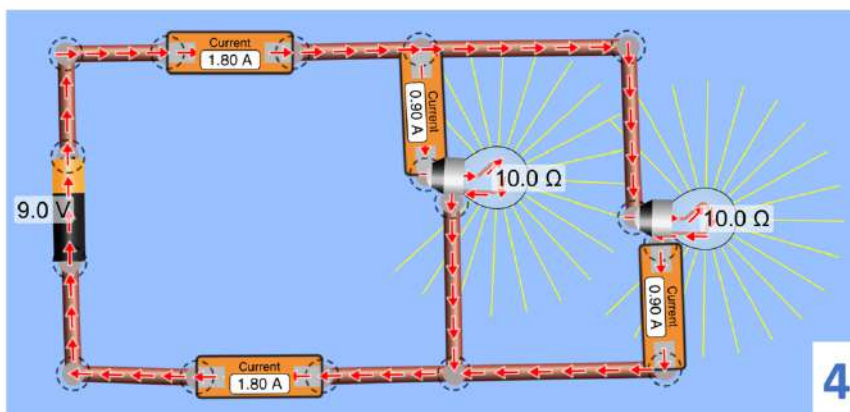
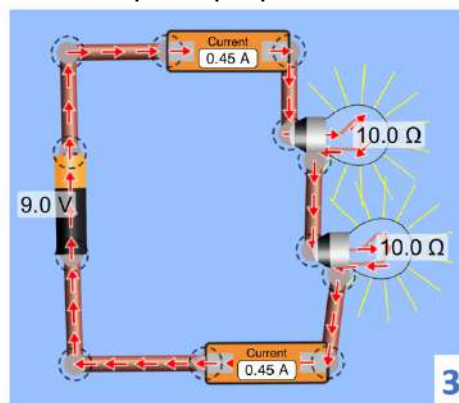
Um amperímetro mede a corrente na saída da bateria, e outro mede a corrente na entrada. Como foi dito acima, as duas correntes são iguais. Portanto, a corrente é conservada ao longo do circuito. Embora seja quase universal o uso da corrente convencional, a corrente real é aquela formada pelo fluxo de elétrons livres, saindo do polo negativo no sentido do polo positivo, como ilustra o circuito (2).



A corrente de 0,9 A medida pelo amperímetro não é uma propriedade da bateria. Ela depende dos componentes do circuito. O que é propriedade da bateria é a fem.

Para verificar que a corrente depende do circuito, vamos acrescentar uma lâmpada, permanecendo com a mesma pilha de 9 V. Veja que a corrente agora é a metade da anterior.

Vamos acrescentar a segunda lâmpada de outro modo.



Veja que, em comparação com o circuito (1), a corrente de saída (e de entrada) dobrou o valor, enquanto a corrente que passa em cada lâmpada é a metade da corrente que sai da bateria.

Vamos redesenhar os circuitos (1), (3) e (4) com os símbolos usados nos livros didáticos e discuti-los o mais detalhadamente possível. Agora eles foram renomeados: 5, 6 e 7. Vamos responder as seguintes questões:

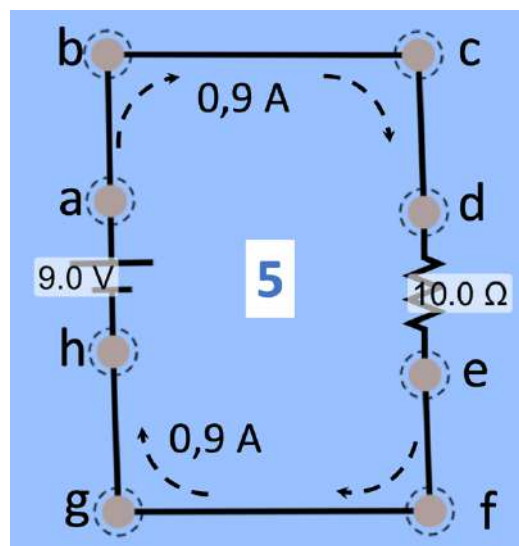
1. Por que a corrente no circuito 6 é a metade da corrente no circuito 5?
2. Por que a corrente de saída e entrada no circuito 7 é o dobro da corrente no circuito 5?
3. Por que no circuito 7 as correntes nos trechos c-i e d-j são iguais à metade da corrente de saída?

Tudo isso tem a ver com a lei de Ohm (eq. 3.2), que vamos reescrever na forma como usualmente é apresentada nos livros didáticos:

$$V = Ri. \quad (4.1)$$

Na equação (4.1), V representa a diferença de potencial entre as extremidades da resistência. Por comodidade escreve-se V em vez de ΔV . Portanto, quando uma corrente i atravessa um condutor com resistência R , aparece uma diferença de potencial (ddp), V , entre suas extremidades. Vejamos como usamos essa equação nos circuitos elétricos simples.

Tudo que for dito sobre esse circuito poderá ser aplicado nos circuitos 6 e 7. Esse circuito é igual ao circuito 1. Apenas substituímos os símbolos. Tem-se uma bateria ou fonte de tensão de 9 V e um resistência de 10 Ω . Para montar o circuito, temos que usar fios condutores para conectar os componentes. Esses fios são fabricados de tal modo que suas resistências elétricas são praticamente nulas, comparadas com as resistências dos componentes eletro-eletrônicos. Para esse circuito 5 usamos os fios abcd e efgh. Como indicado no circuito 1, o amperímetro mediu uma corrente de 0,9 A.



Portanto, só haverá diferença de potencial entre os pontos a e h ($\Delta V = V_a - V_h = 9V$) e entre d e e, ou seja, através do resistor. Essa ddp ($V_d - V_e$) será, conforme a equação (4.1), o produto de R (10 Ω) por i (0,9 A), ou seja 9 V, que é exatamente a fem da bateria. Esse resultado foi obtido com a lei de Ohm, mas

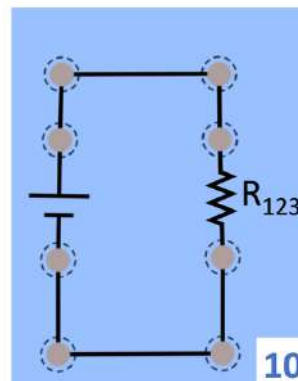
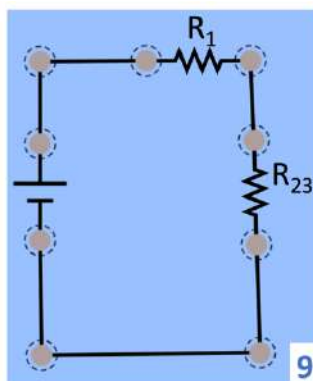
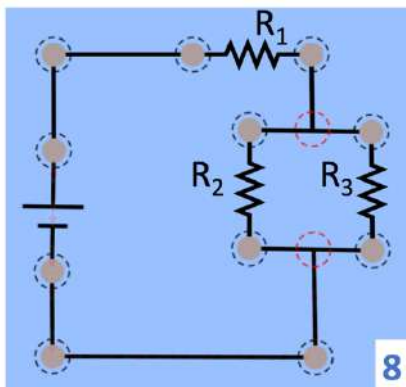
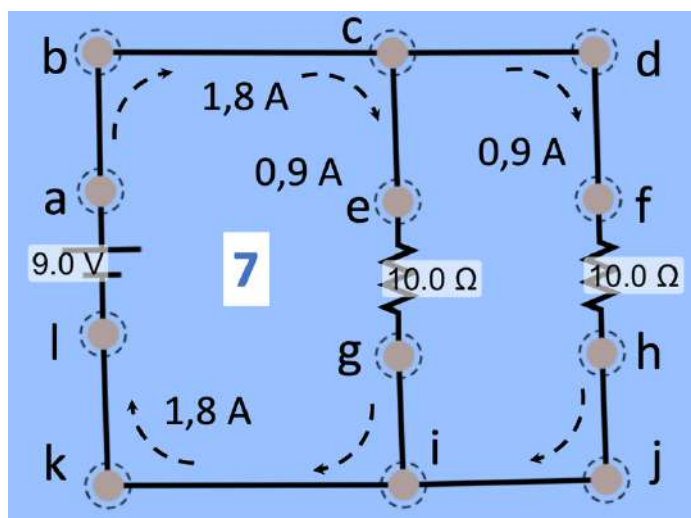
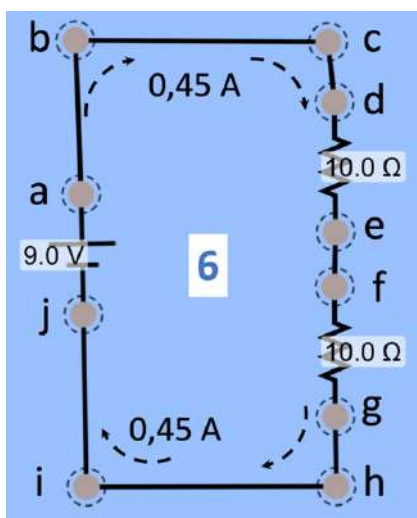
podemos obtê-lo sem fazer uso dessa lei. Como o fio abcd não tem resistência, o potencial em a é igual ao potencial em d. Da mesma forma, o potencial em h é igual ao potencial em e. Ou seja:

$$V_a = V_d$$

$$V_h = V_e$$

$$V_d - V_e = V_a - V_h = 9V$$

Esse procedimento pode ser aplicado em muitos circuitos, com diferentes associações de resistências. Existem duas formas de associar resistências. Uma delas é o que chamamos de associação em série, como no circuito 6. A outra forma é a associação em paralelo, como no circuito 7. Geralmente os circuitos são contêm os dois tipos de associação, como no circuito 8. Qualquer que seja o tipo de associação, podemos substituir o conjunto das resistências por uma única, que denominamos de resistência equivalente. No presente caso, o circuito 8 é substituído pelo circuito 9, e finalmente o circuito 9 é substituído pelo 10. A resistência R_{123} é a resistência equivalente das três resistências do circuito 8. Vejamos como calcular R_{123} .



A resistência equivalente de duas ou mais resistências em série é a soma das resistências. O inverso da resistência equivalente de duas ou mais resistências em paralelo é a soma dos inversos das resistências. R_{23} é a resistência equivalente de R_2 e R_3 , que estão em paralelo:

$$\frac{1}{R_{23}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{R_2 + R_3}{R_2 R_3}$$

$$R_{23} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (4.2)$$

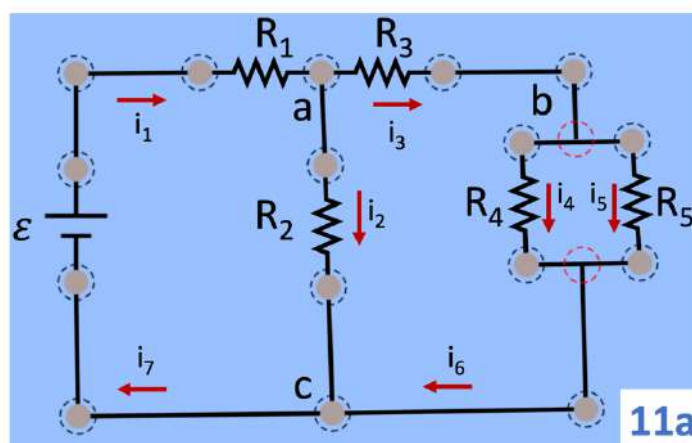
Mostre que a resistência equivalente de três resistências em paralelo é dada pela fórmula:

$$R_{123} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3} \quad (4.3)$$

No circuito 9, R_1 e R_{23} estão em série, logo:

$$R_{123} = R_1 + R_{23} = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} = \frac{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (4.4)$$

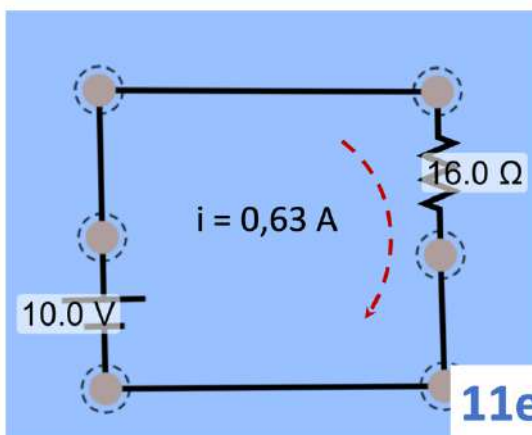
Você pode usar essa sistemática para calcular a resistência equivalente de qualquer circuito simples como esses que estamos tratando aqui, sempre começando do final do circuito para o início. Por exemplo, no circuito 11a você pode calcular a resistência equivalente começando pelas resistências R_4 e R_5 , que estão em paralelo. Calcule R_{45} . Esta está em série com R_3 . Calcule R_{345} . Esta está em paralelo com R_2 . Calcule R_{2345} . Finalmente, R_{2345} está em série com R_1 , de modo que a resistência equivalente do circuito será $R_{eq} = R_1 + R_{2345}$.



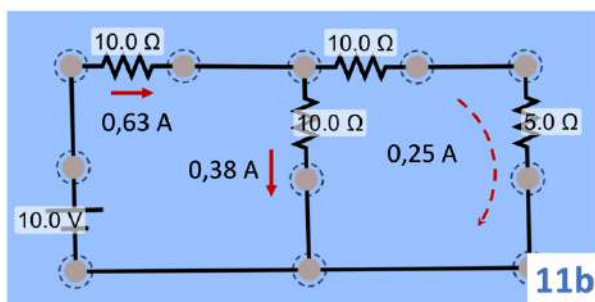
Esse circuito é razoavelmente complexo. Se o estudarmos detalhadamente você estará preparado para resolver a maioria dos circuitos do ENEM. Vamos supor que a fem, ε , da bateria seja 10 V, e que todas as resistências sejam iguais a $10\ \Omega$. Vamos ver o que podemos dizer a respeito dos valores das correntes, sem fazer qualquer cálculo.

1. $i_1 = i_7$, pelo princípio da conservação da carga, ou da corrente. Ou seja, a corrente que sai da bateria tem que ser a mesma que entra, não importa o circuito.
2. Também pelo princípio da carga, $i_3 = i_6$.
3. $i_4 = i_5$, porque as resistências são iguais e estão sob a mesma diferença de potencial. Mostre que essa conclusão é consequência da lei de Ohm, expressa na eq. (4.1).
4. Os pontos a, b e c, onde a corrente se divide, são denominados nós.
5. No nó a, a corrente i_1 se divide em i_2 e i_3 , de modo que $i_1 = i_2 + i_3$.
6. No nó b, i_3 se divide em i_4 e i_5 , de modo que $i_3 = i_4 + i_5$.

Transformando o procedimento descrito logo depois da eq. (4.4) em circuitos, e substituindo os valores da fem e das resistências, teremos os circuitos 11b-11e, a partir dos quais podemos calcular as correntes. A primeira pergunta é: neste circuito, que corrente é fornecida pela bateria? Esse cálculo é feito com o circuito 11e, quando todas as resistências foram substituídas pela resistência equivalente do circuito. Usando a eq. (4.1) no circuito 11e, obtém-se a corrente fornecida pela bateria, que é 0,63 A. Preste atenção, se o circuito fosse diferente, a corrente também seria diferente. A única coisa que permanece igual é a fem da bateria, 10 V.

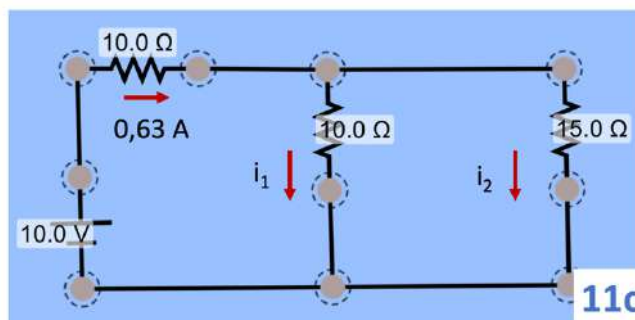


Agora vamos para o circuito 11b.



Veja que neste circuito as resistências R_4 e R_5 , que estavam em paralelo no circuito original (11a), foram substituídas pela resistência de $5\ \Omega$. Faça o cálculo e comprove que este é o valor correto. A corrente que sai da bateria, 0,63

A, é dividida em duas: $0,63 = 0,38 + 0,25$. Como calculamos essas duas correntes? Transformando o circuito 11b no 11c, somando as resistências de $10\ \Omega$ e $5\ \Omega$, que estão em série em 11b.



Agora precisamos fazer um cálculo um pouco mais elaborado. Veja que em 11c as resistências de $10\ \Omega$ e $15\ \Omega$, estão em paralelo. Portanto, estão submetidas à mesma diferença de potencial. Usando a eq. (4.1), obtém-se:

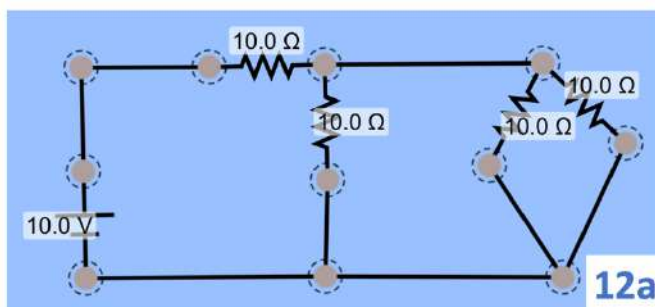
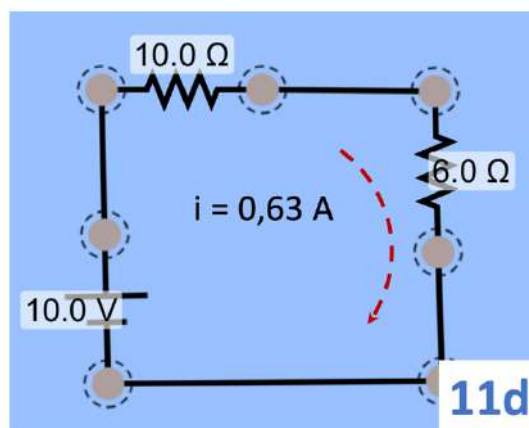
$$V = 10i_1 = 15i_2 \rightarrow i_1 = 1,5i_2$$

Por outro lado,

$$0,63 = i_1 + i_2 = 2,5i_2 \rightarrow i_2 = 0,25\ A \rightarrow i_1 = 0,38\ A$$

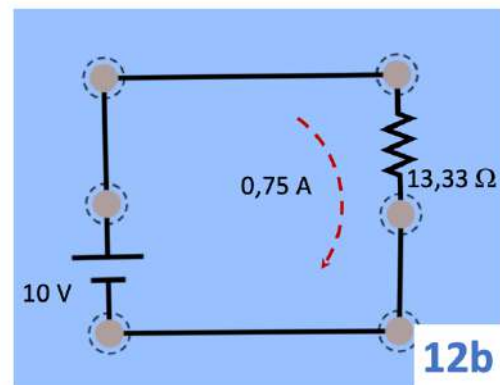
Finalmente, o circuito 11c é transformado no 11d, quando substituímos as resistências de $10\ \Omega$ e $15\ \Omega$, estão em paralelo, pela resistência equivalente de $6\ \Omega$.

Vamos retirar a resistência R_3 no circuito 11a, para você ficar convencido de que a bateria não é uma fonte de cor-



rente constante. Ela é uma fonte de força eletromotriz constante. A corrente que ela fornece depende do circuito que ela alimenta. Agora o circuito 11a será substituído pelo circuito 12a.

Veja que o circuito 12a é idêntico ao circuito 11a, excetuando a resistência R_3 que foi eliminada. Ele apenas está desenhado um pouco diferente. Repita os procedimentos apresentados para os circuitos 11 e mostre que agora, no circuito final, a resistência equivalente é $13,33 \, \Omega$, e que a corrente fornecida pela bateria é $0,75 \, \text{A}$.



Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta

In search of the Nobel Prize – Beta version

Carlos Alberto dos Santos^{*1}, Eliabe Maxsuel de Aquino¹

¹Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Centro de Ciências Exatas e Naturais, Universidade Federal Rural do Semiárido, Av. Francisco Mota, 572, 59.625-900, Mossoró, RN, Brasil

Recebido em 19 de Outubro, 2017. Revisado em 22 de Novembro, 2017. Aceito em 28 de Novembro, 2017.

Descreve-se a estrutura, funcionalidades e possibilidades de implementação da versão beta do jogo educacional multiplataforma **Em busca do Prêmio Nobel**. O jogo se desenvolve em dois ambientes, administrados por um código PHP. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML e mapas conceituais confeccionados com a ferramenta CmapTools. O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL, com questões e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Essa estrutura modular e aberta permite que o jogo seja implementado em qualquer área de conhecimento que se deseje. Basta inserir no ambiente de aprendizagem, as páginas de conteúdo HTML pertinentes ao assunto, e incluir no ambiente de jogo o banco de questões correspondentes e as respectivas telas de transição.

Palavras-chave: jogo educacional ensino de física, ensino de ciências, RPG.

It will be described in this paper, the structure, functionalities and implementation possibilities of a multiplatform game named **In search of the Nobel Prize**, in its beta version. The learning environment consists of HTML content pages and concept maps elaborated with CmapTools. The game environment consists of a MySQL database with questions and transition screens with the participation of a Master Advisor, a character similar to the Game Master or Narrator in RPG games. This modular and open structure enable the game implementation in several knowledge areas. It is enough to add content pages in the learning environment, as well as the question database and associate transition screens pertinent to the knowledge area.

Keywords: educational game physics teaching Science teaching RPG.

1. Introdução

Já faz muito tempo que educadores de várias áreas do conhecimento vêm investigando o uso de jogos educacionais em sala de aula [1,2]. De um modo geral esses jogos podem ser classificados em duas grandes categorias: jogos de mesa e jogos digitais. Vamos tratar aqui unicamente dos jogos digitais. Boas revisões da literatura a esse respeito estão disponíveis em [3-5]. Uma modalidade de jogo educacional que tem sido objeto de inúmeras pesquisas recentemente é conhecido pela sigla RPG (role-playing game), que pode ser traduzido como jogo de interpretação de papéis. Ele pode ser elaborado como jogo de mesa e como jogo digital. Embora o jogo **Em busca do Prêmio Nobel**, tenha elementos similares àqueles típicos de RPG, ele não pode ser classificado como tal. Portanto, não discutiremos aqui especificamente os jogos tipo RPG.

Muitos dos jogos digitais (incluindo-se os tipo RPG) se inspiram ou têm pontos em comum com os hipertextos elaborados a partir do final dos anos 1990....[6] Foi por essa linha de criação que surgiu a ideia do presente jogo, o qual inspira-se em hipertextos que um dos autores

(CAS) elaborou no início dos anos 2000. O caráter inovador daquele hipertexto sobre eletricidade e magnetismo, incluindo em sua estrutura janelas *pop-up*, animações e experimentos virtuais levou a CAPES a conceder-lhe, em 2003, um prêmio no âmbito do Programa de Apoio à Pesquisa em Educação a Distância. Da mesma forma, a Associação Brasileira de Educação a Distância (ABED) concedeu-lhe, em 2004, o Prêmio ABED / UNIVERSIA de Objetos de Aprendizagem. O material continua disponível no servidor do Instituto de Física da UFRGS¹.

O jogo foi concebido naquela oportunidade com estrutura geral apresentada no fluxograma da Figura 1. Entre os detalhes imaginados, destacam-se:

1. Ganha o PN quem chegar ao final do 10º. mapa conceitual (MC), ou seja o 10º. ponto de um conjunto aleatoriamente selecionado pelo programa. Para cada MC, o programa sorteia questões até que o jogador acerte uma.
2. Na alternativa “apenas navegar”, o usuário pode navegar por uma linha do tempo conceitual ou pelo espaço dos MCs. Esta é a opção de pura aprendizagem do usuário.

*Endereço de correspondência: cas.ufrgs@gmail.com.

¹ <https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod00/>

Jogo do Prêmio Nobel

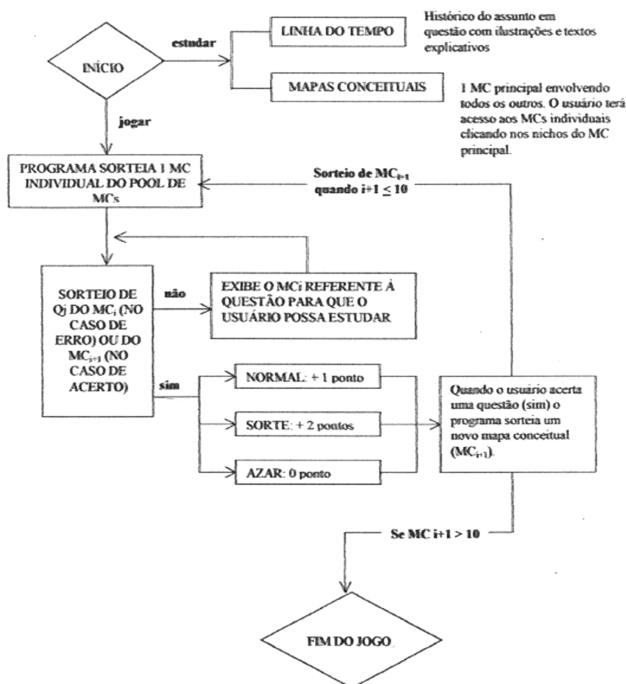


Figura 1: Fluxograma original do Jogo do Prêmio Nobel.

3. Na alternativa “jogar”, o usuário passa de um MC a outro se tiver sucesso na resposta de uma questão de múltipla escolha.
4. Um fator de sorte será acrescentado caso o usuário acerte a questão: (1) Normal: ganha um ponto; (2) Sorte: ganha dois pontos; (3) Azar: não ganha nada.
5. Incluir um contador de pontos para que o usuário saiba o quão longe está de ganhar o PN.
6. Incluir contador de tempo. Quando o jogador acaba, o contador para, registrando o tempo dispendido pelo usuário para ganhar o PN.

Como será visto mais adiante, a atual versão do jogo é menos centrada em mapas conceituais do que a versão originalmente imaginada. Todavia, a estrutura básica do jogo foi mantida. A sua implementação não foi possível desde a origem, pela incapacidade do autor do jogo em encontrar um colaborador com expertise computacional e disposição de trabalho adequadas à tarefa.

Revisando a literatura atual, percebemos que a ideia original do presente jogo é conceitualmente similar a jogos elaborados recentemente [7-9], o que nos motivou a investir a enorme energia necessária para sua implementação.

2. O algoritmo e suas funcionalidades

O jogo se desenvolve em dois ambientes administrados por um código PHP² com auxílio do yiiframework na

² https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php.

versão 2³. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML e mapas conceituais confeccionados com a ferramenta CmapTools⁴. O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL⁵ com questões e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Todo o sistema está baseado na arquitetura MVC (Model-view-controller)⁶.

Como ilustrado na Figura 2, a arquitetura MVC opera em três camadas:

- Camada de modelo responsável pela leitura, escrita e validação dos dados do banco.
- Camada de visão, por meio da qual os dados e informações são exibidos ao usuário. É o que de fato o usuário vê, ou seja é a exibição das páginas HTML e das questões.
- Camada de controle responsável pela comunicação com o usuário. Ela lhe envia notificações e recebe as respostas do usuário.

Nessa versão beta, os desafios consistem unicamente em questões típicas do ENEM, mas a próxima versão, cujo algoritmo já está em elaboração, conta com a inclusão de experimentos virtuais que possam ser manipulados para permitir avaliação.

O usuário tem duas alternativas: estudar ou jogar. Para jogar ele deverá passar por um teste de admissão, ou seja, acertar três questões sucessivas de nível fácil. Para estudar ele tem o conteúdo apresentado sob a forma de hipertextos e sob a forma de mapas conceituais. Vejamos as interfaces do jogo e suas funcionalidades.

Em Busca do Prêmio Nobel – Versão Beta
© 2017 Carlos Alberto dos Santos, Eliabe Massuel de Aquino

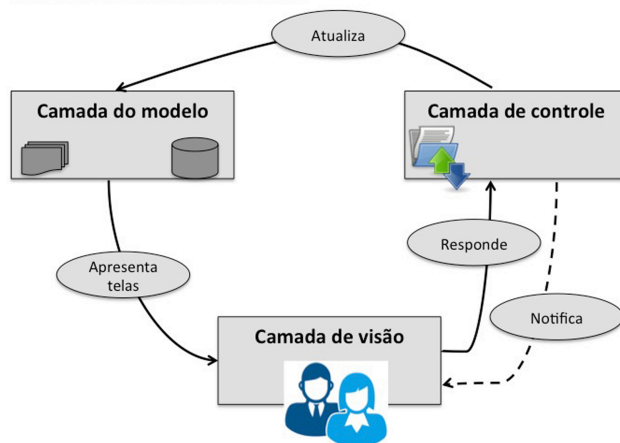


Figura 2: Esquema operacional da arquitetura MVC (Model-view-controller).

³ <http://www.yiiframework.com/>

⁴ <https://cmap.ihmc.us/>.

⁵ <https://www.mysql.com/>

⁶ <https://pt.wikipedia.org/wiki/MVC>

2.1. A interface do administrador

O menu de administração do jogo é apresentado na Figura 3. O administrador pode configurar diversas componentes do jogo, sendo duas dessas componentes de extrema importância: o conteúdo de aprendizagem (hipertextos e mapas conceituais) e os desafios ao jogador (questões de múltipla escolha). Vamos concentrarmo-nos nas questões, que podem ser distribuídas por tópicos e por graus de dificuldade. Estamos utilizando a atomística para a aplicação da versão beta, cujo conteúdo foi dividido em quatro tópicos: modelo atômico, propriedades atômicas da matéria, tabela periódica e radioatividade. As questões foram elaboradas com três graus de dificuldade: fácil, intermediário e difícil.

A interface para o cadastramento de questões é apresentada na Figura 4. Na parte superior está o campo para inserção do enunciado. Se a questão tiver figura, ela deve ser inserida no campo “Figura”. Cada questão tem uma imagem de entrada e uma de saída, a serem discutidas mais adiante. O administrador deve informar a qual tópico a questão se refere e o seu nível de dificuldade. Depois de informar as alternativas para as respostas, o administrador deve informar qual a alternativa correta.

2.2. A interface de aprendizagem

A interface de aprendizagem consiste de hipertextos e mapas conceituais. Os hipertextos consistem em páginas de conteúdo (contidas na biblioteca) e em páginas com as biografias dos cientistas mais importantes da área na qual o jogo está sendo aplicado. Apenas como ilustração apresentaremos na Figura 5 o menu da biblioteca de atomística

2.3. A interface do jogador

Uma vez aprovado no teste de admissibilidade, ou seja, uma vez tendo acertado sequencialmente três questões

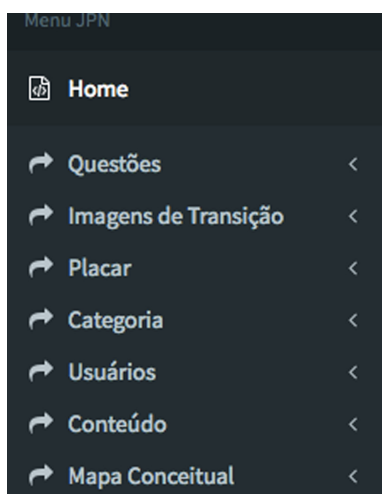


Figura 3: Menu de administração do jogo.

Figura 4: Interface para o cadastramento de questões.

fáceis, o jogador ingressa no jogo na categoria Graduação. Ele tem que passar por mais duas categorias antes de se candidatar ao Prêmio Nobel: Mestrado e Doutorado.

Ele passa da Graduação para o Mestrado quando acertar no mínimo três questões fáceis de cada um dos quatro tópicos. Para passar para a categoria Doutorado o jogador deve acertar no mínimo três questões intermediárias de cada tópico e, finalmente, para ganhar o Prêmio Nobel (PN) ele deve acertar no mínimo três questões difíceis de cada tópico. Ou seja, para ganhar o PN o jogador tem que acertar no mínimo 36 questões. Por que no mínimo?

Por duas razões. Para colocar no jogo a sorte e o azar, e para simular o que ocorre na vida de qualquer cientista. É muito frequente o cientista perder parte do seu trabalho, quando tenta publicá-lo. Por exemplo, se ele tenta publicar um resultado que foi anteriormente obtido e publicado por outro, sem seu conhecimento, é grande a chance de o trabalho não ser aceito. Mesmo que o trabalho seja aceito, ele pode ficar em desvantagem na corrida pelo PN, porque a paternidade da sua descoberta é atribuída a outro cientista. Para simular essa situação colocamos um elemento de imprevisibilidade no algoritmo. Quando o jogador responde corretamente a última questão de cada nível (Graduação, Mestrado e Doutorado), o programa sorteia SORTE ou AZAR. Se der SORTE, ele passa para o nível seguinte ou ganha o PN. Se der AZAR, ele terá que responder nova questão, e só passará para o nível seguinte ou ganhará o PN, se acertar a última questão e tiver SORTE. Qualquer que seja o caso, o programa



Figura 5: Menu da biblioteca.

apresenta uma tela de congratulação ou explicando o infortúnio, conforme ilustram as Figuras 6A e 6B

Cada questão tem uma tela de entrada e outra de saída. A tela de entrada é exibida antes da questão. Sua finalidade é alertar o jogador para o tipo de questão que ele vai ter que responder. Ele pode fazer uma autoanálise do seu conhecimento em relação ao tema, e se for o caso decidir estudá-lo antes de responder a questão. Neste caso ele sai da área de jogo e vai para a área de aprendizagem (mapas conceituais ou hipertextos).

A tela de saída é exibida se o jogador errar a questão. Sua finalidade é informar a origem do erro e encaminhá-lo para a área da biblioteca que trata do assunto abordado na questão. A título de ilustração apresentaremos o enunciado de uma questão, sua tela de entrada (Figura 7) e sua tela de saída (Figura 8).

Entre os vários modelos atômicos, um dos mais conhecidos é aquele elaborado por Joseph John Thomson, conhecido na literatura como modelo do pudim de ameixa, segundo o qual:

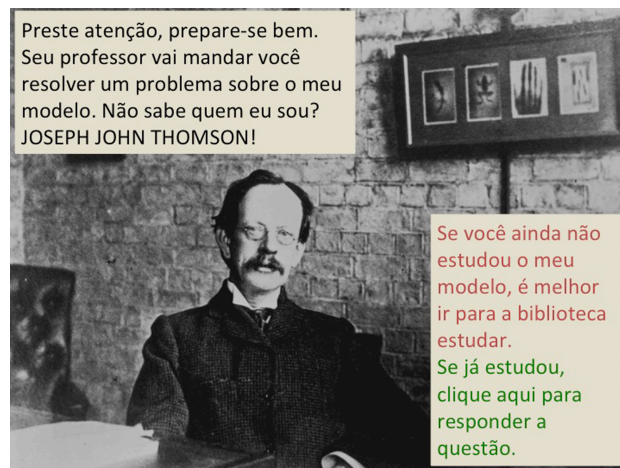
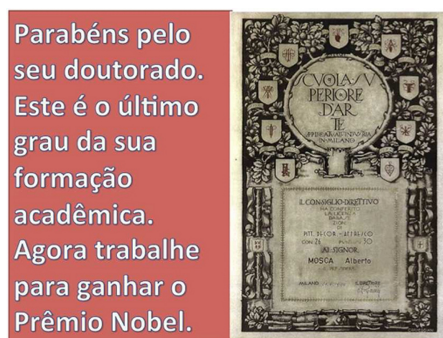
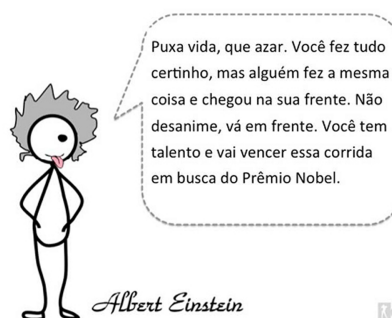


Figura 7: Antes de ver o enunciado da questão, o jogador sabe qual o tema abordado, por meio de uma tela como esta.



(A)



(B)

Figura 6: (A) Congratulação pela passagem para o grau de Doutorado; (B) Consolando pelo infortúnio.



Figura 8: Quando o jogador erra, ele sabe a razão do erro e é encaminhado para o ponto da biblioteca onde encontra o hipertexto que trata o assunto da questão.

- os elétrons têm caráter corpuscular e de onda, simultaneamente.
- no centro do átomo existe um núcleo muito pequeno e denso, cercado por elétrons.
- os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas elípticas.
- os elétrons giram em torno do núcleo em órbitas circulares.
- o átomo é constituído por uma mistura homogênea de cargas elétricas positivas e negativas.

3. Possibilidades de utilização em sala de aula e considerações finais

O jogo “Em busca do Prêmio Nobel”, como aqui proposto tem uma estrutura aberta que permite sua utilização em qualquer área do conhecimento e de acordo com qualquer teoria de ensino-aprendizagem. Tudo vai depender do conteúdo inserido e da forma como o jogo será utilizado em sala de aula. Para a primeira aplicação elaboramos hipertextos e mapas conceituais pertinentes à área da atomística, em estilo típico dos livros didáticos destinados ao ensino médio.

Assim, a vinculação a eventuais teorias pedagógicas ficará por conta do professor que utilizar o material. Por exemplo, um professor que deseje basear sua prática pedagógica de acordo com a teoria de Ausubel [10,11], poderá antes da utilização do jogo trabalhar com os subsunçores ou ideias-âncoras pertinentes à atomística. Da mesma forma, um professor que queira seguir a orientação de Vygotsky [12,13] deverá programar atividades com grande interação social entre os alunos.

Por exemplo, para estimular a socialização do conhecimento e ao mesmo tempo premiar os mais bem sucedidos no jogo, oficinas foram ministradas pelos primeiros alunos que passaram de nível. O primeiro aluno que passou da

Graduação para o Mestrado coordenou uma oficina sobre como superar as dificuldades do jogo naquela primeira fase. Oficinas similares ocorreram durante a passagem do Mestrado para o Doutorado, e um grande evento em sala de aula foi organizado quando o primeiro aluno que ganhou o Prêmio Nobel de Atomística. Relatos dessa aplicação, que ainda encontra-se em andamento, serão oportunamente submetidos a publicação.

Material suplementar

O seguinte material suplementar está disponível online:
Em [busca do Prêmio Nobel – Versão beta](#)

Referências

- [1] M. Bopp, *Affective and Emotional Aspects of Human-Computer Interaction*, editado por M. Pivec (iOS Press, Clifton, 2006)
- [2] D. Craciun, J. Sci. Arts Year **10**, 175 (2010).
- [3] M.-C. Li and C.-C. Tsai, J. Sci. Educ. Technol. **22**, 877 (2013).
- [4] D. Tomic and B. Divjak, J. Inf. Organ. Sci. **35**, 15 (2011).
- [5] D.B. Clark, E.E. Tanner-Smith and S.S. Killingsworth, Rev. Educ. Res. **86**, 79 (2016).
- [6] U. Wechselberger, in: *Trans. Edutainment II*, edited by Z. Pan, A.D. Cheok, W. Müller, and A. El Rhabili (Springer-Verlag, Berlin, 2009), p. 90104.
- [7] S. Samuelson, H.M. Halff, L. Halff and C. Brown, in: *3rd IEEE International Conference on Digital Game and Intellitgent Toy Enhanced Learning*, Kaohsiung, Taiwan, 2010, editado por G. Biswas, D. Carr, Y.S. Chee and W.Y. Hwang (IEEE Computer Society, Los Alamitos, 2010), p. 166.
- [8] F.C.C. Campos, A.F. Oliveira, J.R.N. da Silva, EmRede **2**, 8 (2014).
- [9] T.V. Paula, E.V.P. Souza, T.G.N. Silva, D.M. Silva and M.E.N.P. Ribeiro, Holos **31**, 98 (2015).
- [10] M.A. Moreira e E.F.S. Masini, *Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel* (Moraes, São Paulo, 1982).
- [11] D.P. Ausubel, *Educational Psychology: A Cognitive View* (Holt, Rinehart and Winston, New York, 1968).
- [12] L.S. Vygotski, *A Formação Social Da Mente* (Livraria Martins Fontes, São Paulo, 1991).
- [13] A. Gaspar e I.C.C. Monteiro, Investig. em Ensino Ciências **10**, 227 (2005).

EM BUSCA DO PRÊMIO NOBEL: UM JOGO DIGITAL MULTIPLATAFORMA E MULTITEMÁTICO

*IN SEARCH OF THE NOBEL PRIZE: A MULTI-PLATFORM AND MULTI-
THEMATICAL DIGITAL GAME*

Eliabe Maxsuel de Aquino¹
Farnésio Vieira da Silva Diniz²
Geovani Ferreira Barbosa³
Carlos Alberto dos Santos⁴

Resumo

Apresenta-se neste trabalho a versão 1.0 do jogo “Em busca do Prêmio Nobel” (EBPN). Trata-se de um jogo multiplataforma e multitemático, tipo tutorial com alguns elementos similares àqueles presentes em jogos RPG. Duas funcionalidades importantes foram acrescentadas à versão beta, uma de natureza administrativa e outra pedagógica. A primeira refere-se à possibilidade de o professor criar e administrar várias turmas, e a segunda refere-se à inclusão de laboratórios virtuais do portal PhET. Em ambas as versões, o conteúdo de aprendizagem é apresentado sob a forma de hipertextos e de mapas conceituais. Minibiografias das personalidades mencionadas no material didático são apresentadas como um elemento cultural. O conteúdo abordado na versão atual é a eletrodinâmica, e os textos utilizados no jogo foram elaborados de acordo com a teoria de aprendizagem de David Ausubel. Na avaliação preliminar, realizada após uma aplicação informal, os alunos corroboraram opiniões favoráveis emitidas pelos alunos que participaram da aplicação da versão beta, que abordou a atomística.

Palavras chave: Jogo digital; Eletrodinâmica; Ausubel.

Abstract

This work presents version 1.0 of the game “In Search of the Nobel Prize” (EBPN, in the acronym in Portuguese). It is a multiplatform and multithematic game, of the tutorial type with some elements similar to those present in RPG games. Two important functionalities were added to the beta version, one of an administrative nature and the other pedagogical. The first refers to the possibility for the teacher to create and manage several classes, and the second refers to the inclusion of virtual laboratories from the PhET portal. In both versions, the learning content is presented as hypertexts and concept maps. Mini-biographies of personalities mentioned in the didactic material

¹ Licenciado em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN).

² Mestre em Ensino de Física pela Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA).

³ Doutor em Ciência de Materiais pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Atualmente, é professor associado I da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), Campus Mossoró.

⁴ Doutor em Física pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS).

are presented as a cultural element. The content addressed in the current version is electrodynamics, and the texts used in the game were prepared according to David Ausubel's learning theory. In the preliminary evaluation, carried out after an informal application, the students corroborated favorable opinions issued by the students who participated in the application of the beta version, which addressed the atomistic.

Keywords: Digital game; Electrodynamics; Ausubel.

Introdução

Há referências a jogos educacionais desde o final do Século 19, e é imensa a literatura a respeito do assunto. No contexto do presente trabalho, e para se ter uma visão geral da bibliografia primordial, uma leitura recomendável é o artigo de Guy Wagner, publicado em 1964 (WAGNER, 1964). Quanto aos jogos digitais, que começaram a ser produzidos nos anos 1950, e só passaram a ser usados extensivamente na educação a partir dos anos 1990, recomendamos o artigo de Ulrich Wechselberger (WECHSELBERGER, 2009). É neste cenário que se insere “Em busca do prêmio Nobel” (EBPN), um jogo do tipo tutorial, com características de RPG (*role-playing game*). Ele foi criado no início dos anos 2000, mas seu código só foi escrito em 2017 e publicado no ano seguinte (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018). Na sua versão beta ele foi usado em um produto educacional sobre o ensino de atomística (DINIZ, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019). Na versão atual, objeto deste artigo, e que passará a ser denominada *Versão 1.0*, o jogo foi incrementado em algumas funcionalidades didáticas e está sendo formatado para ser usado no ensino de eletrodinâmica no segundo semestre de 2023.

Na breve revisão bibliográfica que se segue, daremos prioridade aos trabalhos publicados depois de 2017. Para a literatura anterior sugerimos a leitura dos artigos supracitados.

No capítulo 2 de sua tese de doutorado, Jantina Huizenga (HUIZENGA, 2017) faz uma abrangente revisão da literatura, analisando 46 trabalhos publicados no período 1999-2009, a respeito da aprendizagem baseada em jogos digitais (DGBL, na sigla em inglês) na educação básica. Apresentaremos aqui os resultados que consideramos mais relevantes no escopo do nosso trabalho, destacando não apenas os aspectos referentes à aprendizagem, como também aqueles referentes à motivação dos estudantes para a aprendizagem. Como se sabe, sem a vontade para aprender os métodos de ensino têm pouca chance de sucesso (AUSUBEL, 1969;

BRUNER, 1978). Neste sentido, Huizenga concorda com vários autores, argumentando que o uso de jogos na educação é uma excelente maneira de combinar aprendizagem significativa com diversão. No entanto, muitas das alegações da eficiência da DGBL não são validadas empiricamente (MISHRA; FOSTER, 2007), e a tentativa de combinar a ludicidade dos jogos comerciais com os objetivos didáticos tem resultado frequentemente em jogos que não atendem a nenhuma dessas facetas (BRUCKMAN, 1999; HUIZENGA, 2017; DINIZ; DOS SANTOS, 2019).

É interessante observar que embora o jogo EBPN tenha sido concebido bem antes da publicação dos resultados de Huizenga, seus objetivos e formatação obedecem aos critérios estabelecidos por Huizenga para a seleção da sua amostra. Ou seja, Huizenga selecionou apenas jogos que apresentam as seguintes características: objetivos bem definidos, regras, limites, desafios, penalizações, alegria, satisfação e, finalmente, tenha sido usado na educação elementar ou secundária.

Os 46 artigos analisados por Huizenga contêm 93 alegações de eficiência em relação às três características investigadas: eficiência na aprendizagem, motivação e compromisso com o jogo. A conclusão da pesquisadora é de que as alegações referentes ao compromisso com o jogo foram empiricamente confirmadas na amostra investigada. Todavia, tanto no caso da motivação, quanto da eficiência na aprendizagem os resultados publicados não são suficientes para a confirmação dos alegados benefícios dos jogos tipo DGBL. Neste sentido, achamos importante destacar um comentário da autora, que acreditamos ser contemplado pelo jogo EBPN:

Para a aprendizagem é importante que haja um bom equilíbrio entre os elementos do jogo e elementos de aprendizagem. O jogo deve ser divertido, mas é importante que os elementos do jogo não perturbem o processo de aprendizagem. Feedback útil é necessário e as restrições do ambiente educacional devem ser abordadas (HUIZENGA, 2017, tradução nossa).

Em 2019, Saprudin e colaboradores publicaram um trabalho sobre a eficiência do uso de jogos digitais no rendimento escolar em pequenas e grandes turmas (SAPRUDIN et al., 2019). Essa é uma questão bastante pertinente nos dias atuais, razão pela qual vale a pena conhecer esse trabalho. A nossa prática como docente indica que o rendimento escolar cai à medida que as turmas crescem. É muito mais fácil ensinar a dois ou três alunos, do que ensinar a cinquenta. Saprudin e

colaboradores apresentam uma extensa relação de autores, todos indicando que o uso de jogos digitais melhora o rendimento escolar no estudo de diferentes áreas da física. No entanto são raros os estudos comparando o rendimento escolar em pequenas e grandes turmas.

Os resultados apresentados nesse trabalho sugerem que o uso de jogos digitais foi mais efetivo quanto ao rendimento escolar na turma grande (40 alunos), do que na turma pequena (18 alunos). Embora o resultado tenha sido estatisticamente significativo, ele é surpreendente. Era de se esperar que o resultado fosse igual, ou que a turma grande tivesse rendimento menor do que a turma pequena. De qualquer modo, os autores têm razão ao afirmar que: “Espera-se que os resultados desta pesquisa sejam uma indicação de que o tamanho da turma não é uma barreira para se proporcionar um bom rendimento escolar” (SAPRUDIN et al., 2019).

Para finalizar esta breve revisão da literatura recente, recomendamos fortemente o texto de Aguilera e de Roock, publicado recentemente na “Oxford Research Encyclopedias, Education” (AGUILERA; DE ROOCK, 2022). Trata-se de uma espécie de estado-da-arte, indispensável para quem trabalha na área DGBL. Os autores apresentam a literatura sobre diferentes e importantes tópicos, tais como: origens da DGBL e áreas correlatas; debates sobre os conceitos fundamentais; o que conta para a aprendizagem; o que é um jogo; jogos digitais versus analógicos; o que é aprendizagem baseada em jogos; abordagens acadêmicas da DGBL; abordagens positivistas; abordagens interpretativas; abordagens críticas; aplicações DGBL em diferentes contextos educacionais; jogos comerciais de diversão; jogos educacionais; desenho de jogos pelos estudantes; gamificação; críticas, respostas e possibilidades da DGBL; críticas educacionais; críticas sociológicas: toda aprendizagem é boa aprendizagem?

Faremos aqui um resumo dos aspectos estritamente relacionados com o EBPN. Conforme consta na literatura (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019), e como se verá a seguir, o EBPN é um jogo ontologicamente educacional. Ele foi elaborado a partir de um hipertexto didático (DOS SANTOS, 2002), de modo que se trata de uma gamificação do hipertexto. Portanto, é interessante confrontar seus objetivos educacionais com o que dizem os pesquisadores da área, conforme descrevem Aguilera e de Roock, no tópico “What Counts as Learning?”.

Para discutir esse tópico, Aguilera e de Roock usam duas referências (SFARD, 1998; NASIR et al., 2021) que não estavam em nosso radar concernente à literatura sobre jogos digitais, mas que consideramos de suma importância no contexto dos nossos projetos nesse tema. Temos como critério basilar a definição de objetivos didáticos para orientar a elaboração de nossos jogos. Neste sentido, é interessante ter em mente que o jogo EBPB obedece às duas metáforas historicamente usadas por pesquisadores da educação: aprendizagem como aquisição, no caso do EBPB, apropriação conceitual, e aprendizagem via interação social (SFARD, 1998). Além disso, um jogo como o EBPB também atende os princípios sugeridos por Nasir e colaboradores:

(1) A aprendizagem está enraizada em sistemas evolutivos, biológicos e neurológicos; (2) A aprendizagem é integrada com outros processos de desenvolvimento, como emoção, identidade, cognição; (3) A aprendizagem é moldada na prática culturalmente organizada ao longo da vida das pessoas; (4) A aprendizagem é incorporada e coordenada por meio da interação social (NASIR et al., 2021). [Tradução nossa].

O algoritmo do jogo EBPB e suas funcionalidades na versão eletrodinâmica

O algoritmo da versão beta do jogo EBPB foi apresentado em (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018). Reproduziremos aqui os elementos do algoritmo essenciais para a apreciação da versão 1.0. O estágio atual do sistema está disponível neste endereço: <http://www.eleto.jpobel.com.br/web/site/index>. O jogo se desenvolve em dois ambientes administrados por um código PHP⁵, com auxílio do Yii Framework na versão 2⁶. O ambiente de aprendizagem consiste em páginas de conteúdo em HTML, simulações extraídas do portal PhET⁷, da Universidade do Colorado, em Boulder (EUA), e mapas conceituais confeccionados com a ferramenta CmapTools⁸. O ambiente de jogo consiste em um banco de dados MySQL⁹, com questões e telas de transição com a participação do Mestre-Orientador, um personagem similar ao Mestre de Jogo ou Narrador nos jogos de RPG. Todo o sistema está baseado na arquitetura

⁵ https://secure.php.net/manual/pt_BR/intro-what-is.php.

⁶ <http://www.yiiframework.com/>.

⁷ <https://phet.colorado.edu>

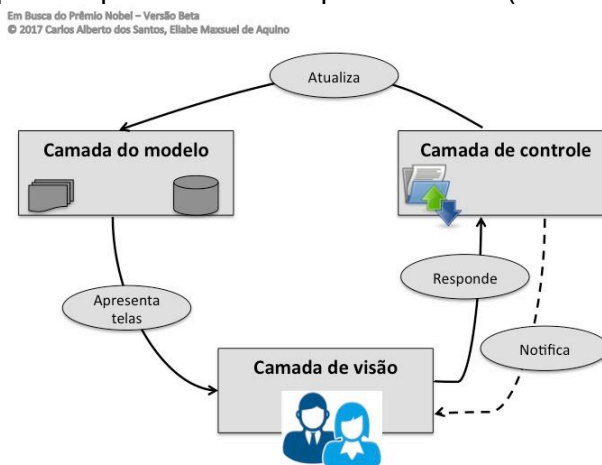
⁸ <https://cmap.ihmc.us/>.

⁹ <https://www.mysql.com/>.

MVC (*Model-view-controller*)¹⁰. Como ilustrado na Figura 1, a arquitetura MVC opera em três camadas:

- ❖ Camada de modelo, responsável pela leitura, escrita e validação dos dados do banco.
- ❖ Camada de visão, por meio da qual os dados e informações são exibidos ao usuário. É o que de fato o usuário vê, ou seja, é a exibição das páginas HTML, dos mapas conceituais, das simulações PhET, e das questões.
- ❖ Camada de controle, responsável pela comunicação entre as camadas de visão e de modelo. Ela recebe as informações da camada de visão e manipula essas informações na camada de modelo para que sejam gravadas no banco de dados.

Figura 1: Esquema operacional da arquitetura MVC (*Model-view-controller*).



Fonte: DOS SANTOS; DE AQUINO (2018).

Nessa versão 1.0, os desafios consistem em questões típicas do ENEM, e na realização de experimentos virtuais PhET. Ao acessar a página do jogo, o usuário tem duas alternativas: estudar ou jogar. Para jogar ele deverá passar por um teste de admissão, ou seja, acertar três questões sucessivas de nível fácil. Para estudar ele tem o conteúdo apresentado sob a forma de hipertextos, simulações PhET e mapas conceituais. O algoritmo tem três interfaces: administração, aprendizagem e jogo (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018). Vamos aqui apresentar apenas o que foi acrescido na versão eletricidade, em relação à versão beta, em cada uma das interfaces. Algumas telas de entrada foram alteradas, e ainda estão em processo de

¹⁰ <https://pt.wikipedia.org/wiki/MVC>.

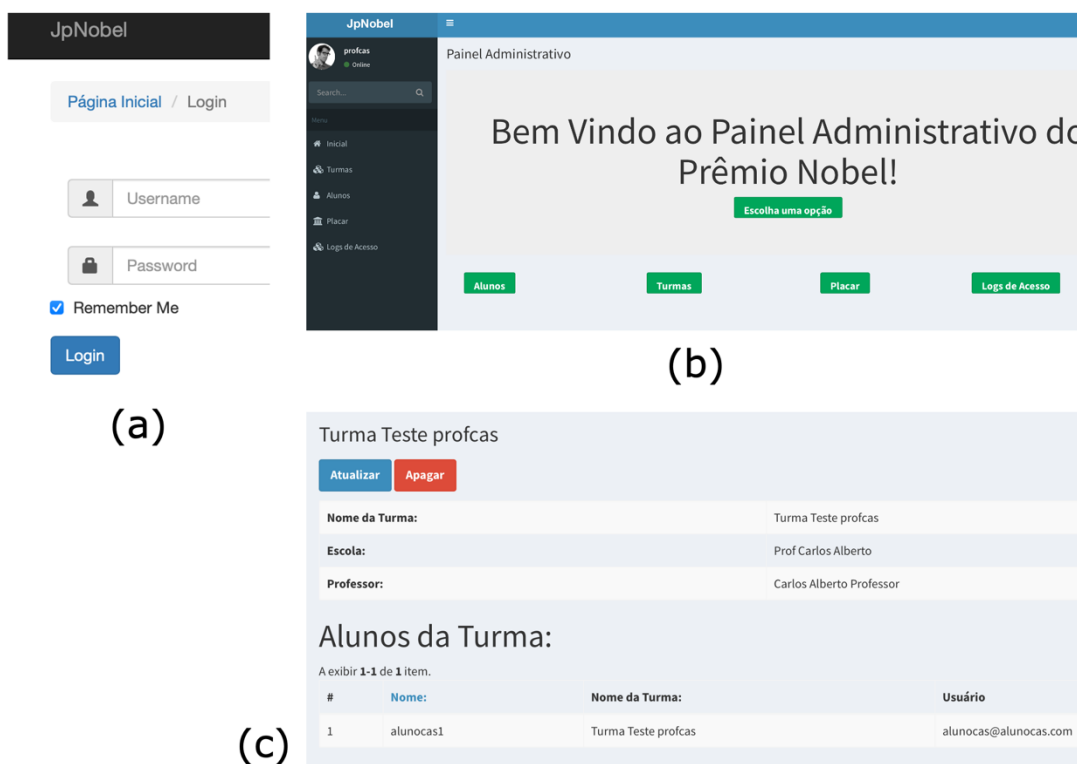
avaliação sobre a estética, de modo que as imagens apresentadas nas Figuras 2 e 3 podem ser consideradas provisórias na versão 1.0.

Figura 2: Tela de entrada do jogo EBPB.



Fonte: Os autores.

Figura 3: Algumas telas do jogo EBPB. (a) Tela para conexão; (b) Painel administrativo; (c) Informações sobre turma cadastrada.



Fonte: Os autores.

Interface de administração

Na interface de administração (Figura 3b) da presente versão tem-se três perfis: administrador, professor e aluno. Depois de credenciado pelo administrador, o professor pode criar e gerenciar mais de uma turma (Figura 3c). Como administrador da turma, o professor pode acompanhar os alunos que estão acessando o sistema, incluindo a data do último acesso. Finalmente, o programa publica um painel com todas as informações do sistema: número de alunos cadastrados, quantidade de questões, turmas e pontuações de participantes do jogo.

Interface de aprendizagem

A interface de aprendizagem consiste de hipertextos, simulações PhET e mapas conceituais. Os hipertextos consistem em páginas de conteúdo (contidas na biblioteca). Por exemplo, a biblioteca de atomística (DINIZ; DOS SANTOS, 2019), consiste em textos sobre: O que é atomística?; Eventos históricos que originaram a Física Moderna e a Química Moderna; Modelos atômicos; Modelo de Rutherford e Bohr; Propriedades atômicas da matéria; Radioatividade; Classificação periódica dos elementos.

Como se verá mais adiante, na presente versão a biblioteca é constituída de textos ausubelianos (AUSUBEL, 1960, 1963, 1965), incluindo organizadores prévios. A biblioteca do jogo contém o material que é também usado em sala de aula. Os organizadores prévios foram elaborados seguindo as recomendações de Ausubel (AUSUBEL, 1963):

Esses organizadores são apresentados antes do próprio material de aprendizagem, e são formulados em termos que já são familiares para o aluno, e também são apresentados com maior nível de abstração, generalidade e inclusão [Tradução nossa].

Seguimos também orientação cristalizada na literatura a respeito da importância dos mapas conceituais no processo de ensino e de aprendizagem (MOREIRA, 1979; NOVAK, 1990). Elaboramos um mapa geral do conteúdo e mapas específicos sobre tópicos que consideramos relevantes para a aprendizagem significativa, conforme preconiza Ausubel (AUSUBEL, 1969).

Muito mais como um simples ingrediente cultural do que como elemento didático, elaboramos minibiografias dos personagens mencionados no texto didático. Embora estejamos cientes da importância da história como recurso didático no ensino das ciências (MATTHEWS, 1989, 1995), decidimos, nesta versão, não dar ênfase a essa questão nessa aplicação do produto. Trata-se de uma simples precaução metodológica, uma vez que já temos dois elementos inovadores no nosso produto: o jogo em si e a abordagem ausubeliana do material que o acompanha.

Interface de jogo

A interface do jogo nesta versão 1.0 é diferente daquela usada na versão beta. Além das categorias Graduação, Mestrado e Doutorado, da versão beta, acrescentamos a categoria de Pesquisador, que credencia o jogador para concorrer ao Prêmio Nobel. As questões na categoria Graduação referem-se exclusivamente a carga e campo elétrico. Na categoria Mestrado o assunto para as questões é potencial elétrico, enquanto na categoria Doutorado o tópico é corrente elétrica, circuitos elétricos e lei de Ohm. As questões dessas três categorias são extraídas do ENEM, com graus de dificuldade baixo ou intermediário. Na categoria Pesquisador as questões referem-se a todos os tópicos e são selecionadas entre questões difíceis do ENEM.

Ao clicar em jogar pela primeira vez, o sistema sorteia uma questão do teste de admissibilidade. Para ser admitido no jogo, o jogador precisa acertar três questões desse teste. Uma vez aprovado no teste de admissibilidade, ou seja, uma vez tendo acertado três questões, selecionadas aleatoriamente entre as fáceis das três primeiras categorias (graduação, mestrado e doutorado), o jogador ingressa no jogo na categoria Graduação. Ele tem que passar por mais duas categorias antes de se credenciar ao Prêmio Nobel (PN): Mestrado e Doutorado. Ele passa da Graduação para o Mestrado quando acertar, no mínimo, cinco questões dessa categoria. A regra é a mesma para passar do Mestrado para o Doutorado, e do Doutorado para a categoria de Pesquisador. Ele ganhará o PN se acertar, no mínimo, cinco questões da categoria Pesquisador. Ou seja, para ganhar o PN o jogador tem que acertar no mínimo 20 questões.

É interessante justificar a razão de ter um mínimo de questões para passar de fase e para ganhar o PN. Existem duas razões para isso: 1) colocar no jogo a imprevisibilidade do azar; 2) simular o que ocorre na vida de qualquer cientista.

Eventualmente ocorre de um cientista perder parte do seu trabalho, quando tenta publica-lo. Por exemplo, se ele tenta publicar um resultado que foi anteriormente obtido e publicado por outro, sem seu conhecimento, é grande a chance de o trabalho não ser aceito. Mesmo que o trabalho seja aceito, ele pode ficar em desvantagem na corrida pelo PN, porque a paternidade da sua descoberta é atribuída a outro cientista. Para simular essa situação colocamos um elemento de imprevisibilidade no algoritmo. Quando o jogador responde corretamente a última questão de cada nível (Graduação, Mestrado e Doutorado)¹¹, o programa sorteia SORTE ou AZAR. Se der SORTE, ele passa para o nível seguinte ou ganha o PN, se estiver na categoria de Pesquisador. Se der AZAR, ele terá que responder nova questão, e só passará para o nível seguinte ou ganhará o PN, se acertar a última questão e tiver SORTE. Qualquer que seja o caso, sorte ou azar, o programa apresenta uma tela de congratulação ou uma explicação do infortúnio (DOS SANTOS; DE AQUINO, 2018, p.4).

De modo similar à versão beta, cada questão é acompanhada por uma tela de entrada e uma de saída. Na tela de entrada, o aluno toma conhecimento do assunto da questão. Se ele achar que ainda não domina o assunto, pode ir para a biblioteca ou para o laboratório virtual para revisar o assunto da questão. Se ele achar que está apto para responder à questão clica em ENTER, e o programa exibe a questão. Se o jogador errar a questão, o programa exibe a tela de saída, indicando o que causou o erro do jogador. Ao teclar ENTER na tela de saída, o programa encaminha o jogador para a parte da biblioteca ou do laboratório onde encontram-se os textos ou experimentos pertinentes ao tópico da questão. Essencialmente essa é a dinâmica do jogo. Vejamos agora como é a estrutura do ambiente de aprendizagem na versão 1.0.

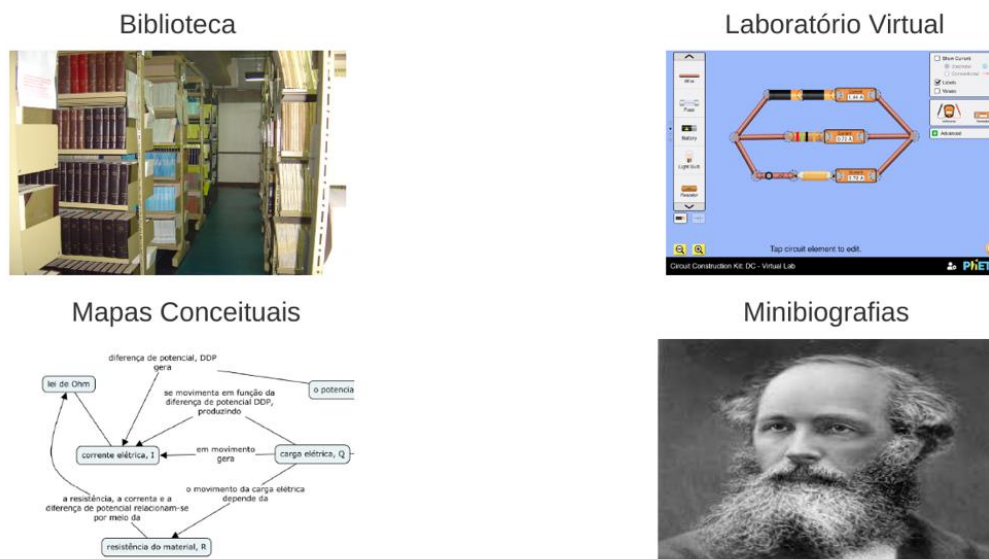
Usando o jogo EBPB para ensinar eletricidade

Como já foi dito, o ambiente de estudo consiste em uma biblioteca de textos ausubelianos, um laboratório virtual, um conjunto de mapas conceituais e um conjunto de minibiografias (Figura 4).

¹¹ No caso da versão atual, deve-se acrescentar o nível Pesquisador.

Figura 4: Ambiente de estudo da versão 1.0. As imagens do laboratório virtual e das minibiografias foram extraídas, respectivamente, do <https://phet.colorado.edu> e do https://commons.wikimedia.org/wiki/Main_Page. Acessos em 7.6.2023.

Bem-vindo ao nosso ambiente de aprendizagem!



Fonte: Os autores.

Conteúdo da biblioteca

O material disponível na biblioteca é o mesmo material utilizado em sala de aula. Como se vê na Figura 5, além de textos similares àqueles disponíveis nos livros didáticos usados no ensino médio, a biblioteca contém quatro textos denominados Organizadores Prévios.

A título de ilustração, exibiremos na Figura 6 os dois primeiros parágrafos do organizador prévio sobre potencial elétrico. Ao longo do texto é mostrado que o potencial é um conceito que se aplica no caso gravitacional, no caso eletromagnético, e no caso nuclear. É dito também, de modo qualitativo e genérico, que a energia potencial é uma energia de configuração, e que a energia cinética é uma energia de atividade, ou de movimento. Da mesma forma genérica, o texto faz uma referência a uma concepção equivocada muito comum entre alunos do ensino médio, e mesmo entre calouros dos cursos de engenharia, segundo a qual é necessário ter uma corrente elétrica para ter um potencial em qualquer ponto de um fio condutor. Na verdade, não é a corrente elétrica que produz o potencial, ou a diferença de potencial. É o contrário. É a diferença de potencial que produz a corrente.

Figura 5: Menu da biblioteca da versão 1.0.**Figura 6:** Primeiros parágrafos do organizador prévio sobre potencial elétrico.

Organizador Prévio 2

Potencial Elétrico

Depois da carga elétrica e do campo elétrico, o conceito mais importante da eletricidade é o de potencial elétrico. É tão importante quanto conceitualmente difícil de entender. Os livros didáticos geralmente o apresentam a partir de relações matemáticas com a carga elétrica e com a energia elétrica. Talvez a falta de uma abordagem qualitativa justifique os inúmeros equívocos apresentados por alunos de todos os níveis, do ensino médio aos cursos de engenharia. Nesse texto introdutório, que denominamos de organizador prévio, vamos tratar o conceito de potencial elétrico a partir de uma abordagem qualitativa antes de introduzir sua conexão formal com a carga e a energia elétrica.

Na linguagem coloquial, o termo potencial é frequentemente usado para se referir à capacidade que uma pessoa tem para realizar algo, para atingir determinada meta. Sobre um bom aluno no colégio diz-se que tem potencial para ter sucesso na vida profissional. Podemos dizer que essa capacidade de realizar algo na linguagem cotidiana, tem a ver com a ideia da energia potencial como a capacidade de realizar trabalho.

Fonte: Os autores.

Este organizador prévio sugere que concepção de que carga e campo elétrico são os conceitos fundamentais no eletromagnetismo¹². Todos os fenômenos

¹² Os alunos são alertados de que o que se denomina eletricidade nos livros didáticos, é apenas uma parte do eletromagnetismo.

eletromagnéticos advêm da existência da carga elétrica. De fato, no Organizador Prévio 1 essa importância da carga elétrica é apresentada em um contexto mais geral, conforme sugere Ausubel (AUSUBEL, 1960). É dito, por exemplo, que a carga, ou a transmissão de sinais elétricos, tem a ver com a ação cerebral e com a existência dos peixes elétricos. Em suma, para ilustrar a natureza ausubeliana do material didático apresentamos aqui um parágrafo do Organizador Prévio 1:

Resumindo tudo isso, podemos dizer que não importa onde ocorra o fenômeno elétrico, ele sempre tem sua origem na existência de cargas elétricas. Isso é assim nos dispositivos eletrônicos, nos equipamentos médicos ou nos fenômenos biológicos em seres vivos. Essencialmente, a carga elétrica existente na natureza vem dos elétrons e dos prótons, componentes básicos dos átomos. Note bem, dissemos essencialmente porque na prática é assim, mas na verdade a carga elétrica na natureza também é conduzida por outras partículas elementares. No entanto, essa discussão está além do que vamos estudar nessa disciplina. É certo dizer que tudo que tem a ver com eletricidade termina chegando aos elétrons e prótons. Os elétrons possuem carga negativa e os prótons possuem carga positiva. Essas cargas têm sinais diferentes, mas o valor é o mesmo. Ao longo do curso você vai saber qual é o valor da carga do elétron e do próton.

Finalmente, a Figura 7 ilustra a abordagem ausubeliana do capítulo 1.

Figura 7: Parágrafos iniciais do capítulo 1.

Capítulo 1 Carga Elétrica

Você viu nos Organizadores Prévios, que os dois conceitos mais importantes da eletricidade são a carga elétrica e o campo elétrico. A carga elétrica gera um campo e a partir daí seguem-se todos os fenômenos da eletricidade. Vamos tratar neste capítulo especificamente da carga elétrica. De onde ela surge e como os corpos podem ser eletricamente carregados.

De acordo com os conhecimentos da física contemporânea, a carga elétrica na natureza é transportada por diferentes tipos de partículas elementares, sendo, nesse contexto, o elétron a principal delas. Embora muito importantes para a física das partículas elementares, os léptons e os quarks não precisam ser considerados em uma abordagem elementar da eletricidade. Ou seja, vamos nos concentrar aqui tão somente no elétron e no próton, que não é uma partícula elementar, mas é constituída de quarks que lhe conferem uma carga elétrica igual em valor e oposta em sinal à carga do elétron.

Se elétrons e prótons são os principais portadores de carga elétrica na natureza, onde eles se encontram?



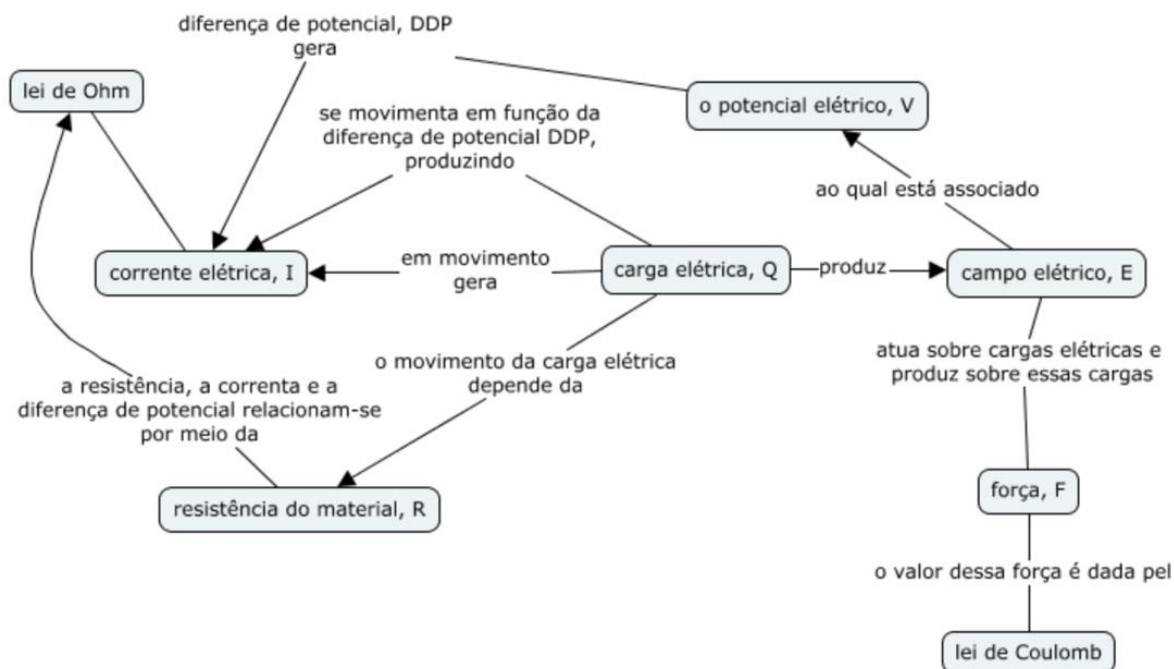
Sabemos hoje que essas partículas, juntamente com os nêutrons são os componentes básicos do átomo. Embora a humanidade tenha mais de 130 mil anos de existência, desde o surgimento do homo sapiens, ou mais de 5 mil anos desde os egípcios, ou mais de 4 mil anos desde os gregos, essa ideia de que o átomo é constituído de prótons, nêutrons e elétrons só foi consolidada entre 1897 e 1932.

Fonte: Os autores.

Mapas conceituais

Além da importância pedagógica do uso de mapas conceituais, suportada em pesquisas empíricas (MOREIRA, 1979; NOVAK, 1990), temos observado, na aplicação que fizemos do EBPN em atomística (DINIZ, 2018; DINIZ; DOS SANTOS, 2019) e nos ensaios preliminares com eletricidade, que os alunos são fortemente atraídos por esses mapas. Elaboramos os mapas seguindo um roteiro ausubeliano. Ou seja, inicialmente apresentamos um mapa geral, com conceitos e fenômenos de toda a matéria, como ilustra a Figura 8, e ao longo do curso e do jogo, são apresentados os mapas específicos, para: lei de Coulomb; potencial e diferença de potencial; lei de Ohm; circuitos elétricos.

Figura 8: Mapa conceitual geral, sobre eletricidade.



Fonte: Os autores.

Minibiografias

Como já foi dito, apresentamos minibiografias das personalidades citadas no texto usado em sala de aula e no jogo, apenas como um elemento cultural, e não como elemento do jogo em si. Na Figura 9 apresentamos o painel das minibiografias, e na Figura 10 um exemplo de minibiografia.

Figura 9: Painel de minibiografias. Todas as imagens são de domínio público e foram extraídas do portal <https://commons.wikimedia.org/>.



Fonte: Os autores.

Figura 10: Minibiografia de Michael Faraday.

Michael Faraday

Michael Faraday nasceu em 1791, em Newington, Inglaterra. Em 1833 assumiu o posto de professor de química na Royal Institution.

Na década de 1820 desenvolve seus estudos sobre a eletrólise, e na década seguinte elabora a lei da indução eletromagnética, também conhecida como Lei de Faraday. Esta é uma importante lei, que faz parte do conjunto de equações conhecidas como Equações de Maxwell.

É também na década de 1830 que ele desenvolve seus estudos sobre descargas elétricas em gases rarefeitos. Com um aparato experimental similar àquele usado por Faraday, Röntgen descobriu, em 1895, os raios-X.

Faleceu em Londres, no ano de 1867.

Bibliografia

- A Dictionary of Scientists. Oxford: Oxford University Press, 1999.
- BASSALO, J.M.F. Crônicas da Física, Tomo 1-6. Belém: Editora Universitária UFPA, 1987-2001.
- GAMOW, G. The Great Physicists from Galileo to Einstein. New York: Dover, 1961.
- [Site da Royal Institution, Inglaterra](#), acessado em 3/10/2003.
- THOMAS, J.M. Michael Faraday and the Royal Institution. The Genius of Man and Place. Bristol, Adam Hilger, 1991.

Fonte: Os autores.

Resultados e Discussão

O jogo *Em Busca do Prêmio Nobel* (EBPN) tem as seguintes características: é do tipo tutorial, com elementos similares ao RPG (WECHSELBERGER, 2009); é

multiplataforma, pois roda em computadores de mesa e em dispositivos móveis; é multitemático, uma vez que sua estrutura básica pode ser utilizada em diferentes áreas.

Achamos conveniente ressaltar, mais uma vez, essa característica multitemática do algoritmo. Como foi dito no início deste trabalho, o jogo tem três interfaces: administração, aprendizagem e jogo, sendo essas duas últimas dependentes do tema do jogo. Na versão atual, o ambiente de aprendizagem consiste em quatro módulos: biblioteca, mapas conceituais, laboratório virtual, minibiografias. Na versão beta não havia o laboratório virtual. Ou seja, nesse momento temos uma estrutura sem laboratório (atomística), e outra com laboratório (eletrodinâmica). Se um professor-usuário-administrador desejar seguir uma ou outra estrutura com um tema de sua preferência, deverá tão somente alimentar os módulos mencionados acima, ou seja:

1. cadastrar questões (indicando a alternativa correta e a área da biblioteca onde se encontra o assunto da questão);
2. adicionar textos à biblioteca, quer seja no formato hipertextual, ou pdf simples;
3. adicionar mapas conceituais ao banco de mapas conceituais;
4. adicionar minibiografias ao banco de minibiografias;
5. e, no caso da versão atual, adicionar simulações ao laboratório virtual.

Após a aplicação da versão beta, com o tema atomística (DINIZ; DOS SANTOS, 2019), entrevistamos os cinco alunos que participaram do projeto até o final. Quando questionados sobre o que mais agradou no jogo, todos mencionaram a dinâmica, que levava à biblioteca quando o jogador errava a questão. Os hipertextos disponíveis na biblioteca também agradaram a todos.

Um dos alunos foi tão enfático e detalhista em suas considerações, que achamos instrutivo reproduzir parte da sua entrevista (DINIZ; DOS SANTOS, 2019):

Entrevistador: O jogo melhorou seu conhecimento a respeito dos conteúdos que você já conhecia? Pode fazer um relato a esse respeito?

Aluno: Melhorou bastante, eu sempre confundia isótopos, isótonos e isóbaros. E também melhorou meu conhecimento na parte da tabela periódica. Eu nem sabia dos números atômicos. Teve uma pergunta sobre a propriedade atômica mais importante do átomo. Eu coloquei peso atômico. Agora eu sei que é o número atômico ou o número de prótons. Eu não sabia o que era eletronegatividade, eletropositividade,

afinidade eletrônica, energia de ionização. Apreendi muitas coisas nesse jogo. Jogaria mais vezes até aprender tudo. Esse jogo realmente é muito massa, gostei bastante.

Entrevistador: Tem algo no jogo que não lhe agradou?

Aluno: Só uma coisinha besta, mas dá para melhorar. Deveria ter uma punição para quem errasse um certo número de vezes as questões de um certo nível. Por exemplo, se errasse três ou quatro vezes as questões de um certo nível, voltaria para um nível anterior.

Entrevistador: O que mais lhe agradou no jogo?

Aluno: O jogo é muito legal. A forma como ele foi feito é perfeita. Só seria melhor se tivesse a punição que já falei. O resto está perfeito. É muito massa que antes de lançar a pergunta ele diz o conteúdo. Isso é muito massa mesmo. Gostei também que quando você não sabe a pergunta e vai estudar, logo depois, quando você volta a pergunta é diferente, isso é muito massa. Se você continua sem entender, volta e estuda mais. Muito massa. Também gostei muito da biblioteca. Teve uma pergunta do modelo atômico que respondi só olhando para o gif animada no texto sobre a ideia de Bohr. A biblioteca foi muito bem feita. Outra coisa que não gostei muito, foi a repetição das perguntas. Teve pergunta que se repetiu umas quatro vezes. Eu sei que é difícil criar perguntas ou arranjar muitas perguntas, mas é chato avançar de nível com facilidade por causa da repetição das perguntas. Perde um pouco a graça do jogo, fica menos competitivo.

Entrevistador: Já sabíamos desse problema, mas a questão é que tínhamos um prazo para rodar o jogo. Já estamos trabalhando nisso. Teremos talvez que triplicar o número de questões.

Aluno: A estrutura sabe, é muito massa e muitos conteúdos e a forma como é explicado, gostei muito. O jogo é muito criativo e se aprende muita coisa.

Comentário: a essa altura o aluno faz uma sugestão muito interessante:

Aluno: Tem mais uma coisa, não sei se é possível, mas seria muito melhor, se caso você terminasse o jogo, tivesse mais conteúdos, outros temas. Não sei se é possível, mas seria muito massa. Gostei também do teste logo no começo, bem pensado. Gostei também daqueles gráficos eu acho, esqueci o nome, diagrama não sei, é muito bom. Tem coisas que não tem no conteúdo e é bom você estudar pra saber de tudo.

Entrevistador: mapas conceituais.

A versão atual só foi testada preliminarmente, de modo informal. Sua aplicação em situação real de sala de aula se dará no segundo semestre de 2023. De qualquer modo, consideramos importante apresentar alguns comentários dos alunos após a aplicação:

Muito bom para aprimorar o conhecimento; Consegui aprender mais rapidamente do que em aulas normais; é uma ferramenta muito boa para estudar e ajuda a entender algumas coisas com mais facilidade por causa dos simuladores; a biblioteca poderia ter mais conteúdo; pequenas vídeo-aulas para os alunos que têm preguiça de ler; o jogo deveria ser aplicado em outros assuntos; o jogo às vezes trava

no celular; o que mais gostei no jogo foi a forma de facilitar o estudo, a possibilidade de estudar aonde eu estiver e quando eu puder;

Considerações finais

Como é bem sabido, a competição é um elemento importante em qualquer tipo de jogo, e os jogos digitais não fogem à regra (HUIZENGA, 2017). O EBPN tem esse elemento, e pode ser usado com diferentes dinâmicas em sala de aula. Por exemplo, pode-se fazer a competição para saber quem será o primeiro aluno a concluir cada um dos estágios: graduação, mestrado, doutorado, e finalmente quem será o primeiro a ganhar o PN. Para estimular essa competição, o professor pode organizar seminários com os ganhadores. O primeiro a concluir a graduação (mestrado, doutorado ou ganhar o PN) receberá a honra de apresentar um seminário para a turma, para dar dicas de como resolver algumas das questões mais difíceis. Esse é um momento interessante de socialização do conhecimento. Nessa versão não tivemos tempo de levar em consideração as interessantes sugestões de um dos alunos da versão beta (DINIZ; DOS SANTOS, 2019):

1. Deveria ter uma punição para quem errasse um certo número de vezes as questões de um certo nível. Por exemplo, se errasse três ou quatro vezes as questões de um certo nível, voltaria para um nível anterior.
2. Seria muito melhor, se caso você terminasse o jogo, tivesse mais conteúdos, outros temas.

Para concluir, informamos que estamos iniciando a orientação de um mestrado no MNPEF-UFERSA, cujo objetivo é usar o EBPN para o ensino de acústica. Pretendemos nessa oportunidade levar em conta as sugestões acima.

Referências

- AGUILERA, E.; DE ROOCK, R. **Digital Game-Based Learning: Foundations, Applications, and Critical Issues**. Disponível em: <<https://oxfordre.com/education/view/10.1093/acrefore/9780190264093.001.0001/acrefore-9780190264093-e-1438>>. Acesso em: 27 maio. 2023.
- AUSUBEL, D. P. The use of advance organizers in the learning and retention of meaningful verbal material. **Journal of Educational Psychology**, v. 51, n. 5, p. 267–272, 1960.

AUSUBEL, D. P. Cognitive structure and the facilitation of meaningful verbal learning. **Journal of Teacher Education**, v. 14, n. 2, p. 217–222, 1963.

AUSUBEL, D. P. An Evaluation of the Conceptual Schemes Approach to Science Curriculum Development. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 3, p. 255–264, 1965.

AUSUBEL, D. P. A cognitive theory of school learning. **Psychology in the Schools**, 1969.

BRUCKMAN, A. Can educational be fun? In: Game Developers Conference., San Francisco, USA. **Anais...** San Francisco, USA: 1999. Disponível em: <<http://www.cc.gatech.edu/~asb/papers/bruckman-gdc99.pdf>>.

BRUNER, J. S. **O processo da educação**. São Paulo: Companhia Editora Nacional, 1978.

DINIZ, F. S. V. **Uso do jogo digital “Em busca do prêmio Nobel” para abordar tópicos de atomística**. 2018. Universidade Federal Rural do Semiárido, 2018.

DINIZ, F. V. S.; DOS SANTOS, C. A. Ensinando atomística com o jogo digital “Em busca do Prêmio Nobel”. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 41, n. 3, p. e20180268, 2019.

DOS SANTOS, C. A. **Eletricidade e Magnetismo**. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/tex/fis142/mod00/>>. Acesso em: 1 jun. 2023.

DOS SANTOS, C. A.; DE AQUINO, E. M. Em busca do Prêmio Nobel – Versão beta. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 40, n. 3, p. e3501-5, 2018.

HUIZENGA, J. C. **Digital game-based learning in secondary education**. 2017. University of Amsterdam, 2017. Disponível em: <<https://dare.uva.nl/search?identifier=c2bf59b2-82f0-4791-ae50-981865e955aa>>.

MATTHEWS, M. R. A Role for History and Philosophy in Science Teaching. **Interchange**, v. 20, n. 2, p. 3–15, 1989.

MATTHEWS, M. R. História, filosofia e ensino de ciências: a tendência atual de reaproximação. **Caderno Catarinense de Ensino de Física**, v. 12, n. 3, p. 164–214, 1995.

MISHRA, P.; FOSTER, A. The Claims of Games: A Comprehensive Review and Directions for Future Research. (R. Carlsen et al., Eds.) In: Proceedings of SITE 2007--Society for Information Technology & Teacher Education International Conference, San Antonio, USA. **Anais...** San Antonio, USA: Association for the Advancement of Computing in Education (AACE), 2007.

MOREIRA, M. A. Concept Maps as Tools for Teaching. **Journal of College Science Teaching**, v. 8, n. 5, p. 283–286, 1979.

NASIR, N. S. et al. Rethinking Learning: What the Interdisciplinary Science Tells Us. **Educational Researcher**, v. 50, n. 8, 2021.

NOVAK, J. D. Concept mapping: A useful tool for science education. **Journal of Research in Science Teaching**, v. 27, n. 10, p. 937–949, 1990.

SAPRUDIN, S. et al. The Effectiveness of Using Digital Game towards Students' Academic Achievement in Small and Large Classes: A Comparative Research. **International Journal of Learning, Teaching and Educational Research**, v. 18, n. 12, p. 196–210, 2019.

SFARD, A. On Two Metaphors for Learning and the Dangers of Choosing Just One. **Educational Researcher**, v. 27, n. 2, p. 4–13, 1998.

WAGNER, G. Educational Games and the School Program. **Teaching Aids News**, v. 4, n. 5, p. 11–15, 1964.

WECHSELBERGER, U. Teaching me softly: Experiences and reflections on informal educational Game Design. In: Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics), **Anais...**2009.