

Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos

Educação Tecnológica no Ensino de Física

análise de uma experiência didática utilizando objetos tecnológicos

Bauru, 2002

Clodogil Fabiano Ribeiro dos Santos

Educação Tecnológica no Ensino de Física

análise de uma experiência didática utilizando objetos tecnológicos

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência – Área de Concentração: Ensino de Ciências – da Faculdade de Ciências da Universidade Estadual Paulista “Júlio Mesquita Filho”, Câmpus de Bauru, como requisito para a obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Vicente Andrade Scalvi

Co-orientador: Prof. Dr. José Misael Ferreira do Vale

Bauru, 2002

BANCA EXAMINADORA

PROF. DR. LUIS VICENTE DE ANDRADE SCALVI – Presidente

PROF. DR. DIRCEU DA SILVA – Membro Titular

PROF. DR. WASHINGTON LUIS PACHECO DE CARVALHO – Membro Titular

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, agradeço à minha família pela paciência e pela compreensão durante esses anos de estudo.

Também agradeço à Professora Sandra que me deu o “empurrão inicial” para ingressar no Mestrado.

Um agradecimento especial a todos os Professores das disciplinas que cursei. Obrigado pelo apoio impagável que deram para meu trabalho.

Também merecem um agradecimento as funcionárias da Seção de Pós-Graduação, especialmente a Carla e a Ana, que nunca mediram esforços em me ajudar.

Agradeço imensamente ao meu Orientador, pelo empenho em me mostrar os caminhos de uma boa produção científica.

Agradeço da mesma forma ao meu Co-Orientador, pela valiosa contribuição, a qual veio num momento de angústia, possibilitando um considerável reforço em minhas argumentações.

Aos Professores Washington Luiz Pacheco de Carvalho e Dirceu da Silva, que proporcionaram ricos momentos de interação, contribuindo decisivamente para a retomada dos rumos da pesquisa.

E por fim agradeço a todos aqueles que, direta ou indiretamente, tenham colaborado para o êxito deste trabalho.

Resumo

Os Parâmetros Curriculares Nacionais enfatizam a importância de se tratar questões relacionadas à Tecnologia. Especialmente na área de Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias, essa ênfase fica até mais evidente. Assim, julgamos importante abordar tais problemas no ensino de Física. O presente trabalho de investigação procurou explorar essa simbiose entre Ciência e Tecnologia, bem como seus impactos sociais e ambientais, através de uma intervenção didática com objetos tecnológicos de uso cotidiano dos estudantes. Especificamente, trabalhamos as noções e impressões dos alunos sobre os aparelhos elétricos domiciliares. Os sujeitos da pesquisa foram estudantes da Terceira Série do Ensino Médio de um Colégio da Rede Pública do Estado do Paraná. O conteúdo da disciplina de Física ministrada nessa Série é o Eletromagnetismo, estando, portanto, intimamente relacionado com o objeto de nossa investigação. Nosso problema de pesquisa era investigar a possibilidade de se articular conceitos de Eletromagnetismo, questões sociais e ambientais e exploração de aparelhos elétricos domiciliares em geral, na fase preliminar, e lâmpadas elétricas, na fase final. Para o presente trabalho, optamos pela abordagem qualitativa de pesquisa, utilizando como instrumentos questionários, relatórios das atividades didáticas e intervenções dialogadas com os grupos formados pelos sujeitos da pesquisa. Na intervenção didática realizada em nosso trabalho investigativo, buscamos levantar as concepções e representações dos estudantes sobre os dispositivos investigados, incorporando ao processo as relações Ciência-Tecnologia-Sociedade. Como resultados dessa investigação, pudemos perceber que os alunos têm uma certa dificuldade em utilizar os conceitos científico-tecnológicos para a tomada de decisões. Contudo, eles foram capazes de articular alguns conhecimentos para a tomada de decisão frente aos objetos tecnológicos estudados, integrando resultados experimentais e informações técnicas.

Abstract

Brazilian government educational documents stresses the importance of Technology related issues. Particularly in the field of Natural Sciences, Mathematics and Technologies, this emphasis is even more obvious. Then, we have found very significant to take it into account in Physics teaching. This investigation work has looked for the symbiosis between Science and Technology, as well as the social and environmental impacts, through an educational intervention with technological devices related to students daily experience. Particularly, we have worked with the pupils conceptions about the household eletrical devices. The investigated people consisted of students coming from a third year of a high school in Paraná state (Brazil). The Physics content taught for these pupils is the Eletromagnetism, which is linked to the investigation object of this work. Our research consisted basically of investigating the possibility of joining Electromagnetism concepts, socials and environmental impacts with the technological devices exploration, in this case, the household eletrical devices in general (preliminary stage) and electric bulb (final stage). For this work, we have chosen the qualitative research approach, using the didactical activity reports and group dialogical intervention. In the educational intervention, we have paid attention to the students conceptions concerning the investigated devices, joining to this process the called Science-Technology-Society relations. As a result of this investigation work, we have detected the students difficulty in applying the scientific concepts for decision taking. However, they have associated some concepts to the decision taking concerning the investigated technological devices, joining experimental results and technical information.

Sumário

Sumário.....	7
CAPÍTULO I - DELINEANDO AS BASES DA PESQUISA.....	12
1.Considerações preliminares.....	13
2.Escolha do referencial teórico e articulação com a pesquisa.....	14
3.Justificativas.....	23
4.Objetivos da pesquisa.....	27
5.Problema da pesquisa e hipótese de trabalho.....	29
6 Metodologia.....	31
CAPÍTULO II – FASE PRELIMINAR DA PESQUISA.....	42
7.Descrição das atividades didáticas da fase preliminar da pesquisa.....	43
8.Considerações sobre a fase preliminar da pesquisa.....	72
CAPÍTULO III – FASE FINAL DA PESQUISA.....	76
9.Fase final da pesquisa.....	77
10.Descrição das atividades didáticas da fase final da pesquisa.....	79
10.1.Experimento com lâmpadas incandescentes.....	80
10.2.Experimento com lâmpadas fluorescentes compactas.....	83
11.Análise dos relatórios.....	84
12.Análise das intervenções dialogadas.....	94
CAPÍTULO IV – NOTAS CONCLUSIVAS.....	101
13.Síntese dos resultados.....	102
14.Considerações finais.....	104
BIBLIOGRAFIA, APÊNDICES E ANEXOS.....	107
15.Referências Bibliográficas e Bibliografia Consultada:.....	108
Apêndice 1:.....	112
Anexo 1 - Cópias dos questionários respondidos pelos alunos na fase preliminar.....	119
Anexo 2 - Texto sobre o problema da contaminação por mercúrio causada por lâmpadas fluorescentes.....	120
Anexo 3 - Exemplos de relatórios produzidos pelos alunos na fase final da pesquisa.....	130

Introdução

O Ensino de Física na escola secundária brasileira tem estado atrelado a uma postura tradicional de educação, baseada na transmissão do conhecimento pelo conhecimento, ditada pelas circunstâncias relacionadas à finalidade do seu aprendizado, com pouca ou nenhuma preocupação com o caráter de Ciência da Disciplina de Física.

Os conteúdos de Física ministrados no Ensino Médio refletem a preocupação quase que exclusiva com a finalidade de preparar para o vestibular. O problema é que apenas uma porcentagem relativamente pequena dos alunos egressos do Ensino Médio da escola pública se submetem ao vestibular. Isto ocorre por diversas razões, inclusive financeiras. Toscano (1991) avalia da seguinte maneira o ensino tradicional de Física no Ensino Médio:

[...] esta forma de se realizar o ensino da Física é justificada pelo argumento de que, sendo assim, se ajudaria os alunos no exame vestibular. Esta justificativa, entretanto, é duplamente fantasiosa. Por um lado, não se trata de uma opção por um ensino desse tipo, ou seja, uma escolha dentre um conjunto de alternativas existentes. Por outro lado, caso seja levado em conta o destino da maioria dos alunos que terminam o segundo grau, este argumento se revela, no mínimo, inconsistente. (TOSCANO, 1991, p.21).

O que se percebe é que a visão que se tem sobre o Ensino de Física na Escola Média tem um forte caráter imediatista e utilitarista, deixando-se de lado o caráter formativo que o ensino de uma Ciência deveria proporcionar ao educando. Sendo assim, torna-se necessário buscar alternativas para o ensino tradicional de Física, tendo em vista já não contribuir mais para a formação um sujeito crítico e consciente.

Vários autores (entre os quais podemos citar TERRAZZAN, 1994, e TOSCANO, 1991) têm procurado apontar os problemas relacionados ao Ensino de Física no Brasil, propondo, sugerindo ou experimentando novas estratégias de abordagem dos conteúdos. O objetivo dessas novas abordagens é transformar a Física num campo de conhecimentos significativos para o aluno, buscando vincular os conceitos físicos à realidade cotidiana do educando e convertendo a imagem de uma Física fechada em si, fragmentada, sem significado e comprometida apenas com a aprovação no vestibular, na idéia uma Física viva e dinâmica, presente no dia-a-dia do cidadão, integrada com outros campos do conhecimento humano e utilizada como ferramenta para a compreensão do mundo em que vivemos.

Terrazzan (1994), faz a seguinte afirmação:

Dos componentes estruturais da nossa cultura, que deveriam ser aprofundados na escola média e que se tornam cada dia mais essenciais ao trabalho e à vida, a ciência sem dúvida ocupa lugar de destaque, seja pelo seu viés técnico-prático, seja por seu sentido cosmológico, como visão de mundo. (TERRAZZAN, 1994, p. 1).

Assim, nosso trabalho tem por objetivo principal acrescentar mais alguns elementos às propostas de inovação do Ensino de Física na Escola Média brasileira. Mais especificamente, propõe-se trabalhar numa perspectiva de *Ensino de Física utilizando-se objetos tecnológicos do cotidiano*. No trabalho de Terrazzan (1994), isto surge no interior de uma sugestão programática: “A parafernália dos aparelhos que nos rodeiam na vida moderna deve ser trazida, se possível literalmente, para a discussão em sala de aula”. (TERRAZZAN, 1994, p. 180). Cabe aqui uma questão: é possível trazer para a sala de aula equipamentos tão complexos para auxiliar no processo de aprendizagem de Física? Isso não traria conseqüências desastrosas, causando mais repulsa pela Disciplina nos estudantes?

Primeiramente, é preciso esclarecer que esta proposta não exclui de forma alguma a aplicação de outras, em caráter de complementaridade, como a sugestão de se utilizar também de fenômenos naturais para o Ensino de Física (TERRAZZAN, 1994, p. 180). Esta complementaridade se faz necessária e, por vezes, torna-se parte integrante de um ensino que objetive proporcionar uma visão mais ampla do mundo em que vivemos. “São exercícios deste tipo que contribuem para libertar a mente dos alunos das amarras de um ensino tradicional e livresco, dando possibilidade a que a imaginação, a intuição e a criatividade possam ressurgir como elementos didático-pedagógicos.” (TERRAZZAN, 1994, p 180).

Em segundo lugar, procuramos trabalhar numa perspectiva de Educação Tecnológica no Ensino de Física, utilizando o objeto tecnológico como situação desencadeadora de um processo de aprendizagem que se valesse do conhecimento científico como ferramenta de compreensão do seu funcionamento, identificando também possíveis impactos sociais e ambientais, causados tanto pelo seu uso, quanto pelo seu processo produtivo e forma de descarte. Assim, o próprio estudante decide até onde deverá abrir as “caixas pretas”, de forma a satisfazer as suas necessidades de conhecimento do referido objeto. Portanto, a idéia não é trazer a parafernália de aparatos tecnológicos contemporâneos de maneira *stricto sensu*, mas sim fazer com que os alunos tenham uma oportunidade de discutir sobre os objetos tecnológicos, utilizando os conceitos da Física para refletir sobre os mesmos, procurando compreendê-los em seus aspectos mais gerais, de forma a instrumentalizar o estudante para um processo social de tomada de decisões que envolvam a Tecnologia.

Antes de se aprofundar no problema, é preciso lançar mão de elementos balizadores da discussão. Esses elementos funcionarão como guias do pensamento no caminho de busca das soluções.

Os estudos sobre as relações Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS) trazem à

tona discussões sobre os avanços da ciência e da tecnologia, procurando enfatizar seus impactos sociais, ambientais, econômicos, políticos etc.. Quanto a esse aspecto, é preciso mapear o pensamento dos alunos sobre as relações CTS, com o objetivo de se determinar a melhor estratégia de abordagem do assunto que se pretende ensinar. Assim, fomos buscar em Bazzo (1998) e Winner (1985) as bases para a compreensão dessas relações e de algumas de suas implicações no ensino de Ciências e de Tecnologia. Procuramos assim trabalhar numa perspectiva de instrumentalização dos estudantes para discutir tais relações, especialmente as que estão envolvida na produção, na utilização e no descarte dos objetos tecnológicos aqui analisados.

Partimos do princípio que o educando não vem para a escola isento de uma cultura, pois, como afirma Villani, “a mente dos alunos não é ‘tábula rasa’. Sua mente assemelha-se a um átomo, com um núcleo de idéias centrais e uma série de idéias mais ou menos marginais: a aprendizagem se dá quando as novas idéias conseguem interagir com as já existentes, sobretudo com as mais centrais.” (VILLANI, 1984, p. 91). Diante disso, julgamos que uma proposta que traga a realidade vivida pelo aluno para a sala de aula apresenta-se como uma alternativa mais profícua para o ensino de Física. Dessa realidade fazem parte os diversos aparatos tecnológicos que o cidadão utiliza no dia a dia para satisfazer suas necessidades, o que, em princípio, justificaria seu tratamento neste estudo. Partimos da hipótese de que, para o cidadão comum, a relação com os artefatos tecnológicos presentes em seu cotidiano é uma das poucas formas de tomar contato com os desenvolvimentos da Ciência.

De outra parte, os produtos da Tecnologia precisam ser compreendidos como resultado da atividade humana, pois, muitas vezes, essa noção fica perdida quando, por exemplo, ficamos maravilhados com os avanços da informática ou das telecomunicações, nos referindo às “maravilhosas maquininhas” como se elas tivessem vida própria.

Enfim, buscamos verificar através desta pesquisa como os estudantes se relacionam com os objetos tecnológicos que estão à sua volta e, quando dispõe do conhecimento científico, como ele o utiliza para as tomadas de decisões que envolvam esses objetos.

A metodologia utilizada para a pesquisa é fundamentada em alguns autores no campo da pesquisa qualitativa (LÜDKE e ANDRÉ, 1986; HOEPFL, 1997). Com base nesse referencial, elaboramos instrumentos de pesquisa mais adequados à abordagem aqui trabalhada. Entre esses instrumentos, podemos citar a intervenção didática dialogada, a elaboração de diários de atividades e a entrevista.

Apresentamos, também uma proposta de atividades de ensino, que são, ao mesmo tempo, um instrumento para a construção de dados e uma proposta prática de abordagem, não

figurando de forma alguma como “receita pronta” para a melhoria, mas sim como sugestão didático-pedagógica, aberta a críticas e reflexões por parte daqueles que pretendam inovar sua prática docente.

O que se espera é que esta pesquisa venha trazer alguma contribuição para a melhoria do processo educacional de nosso País, especialmente no que tange ao Ensino de Física.

CAPÍTULO I - DELINEANDO AS BASES DA PESQUISA

1. Considerações preliminares

A escolha das bases teóricas de uma pesquisa é de fundamental importância, tanto para definir quais os objetivos a serem atingidos quanto para delinear a metodologia que será empregada no trabalho investigativo.

Para a presente pesquisa, buscamos nos embasar em referenciais que tratassem de questões relacionadas ao ensino de Física na Escola Secundária brasileira, como também aqueles que trazem uma reflexão sobre a influência do avanço tecnológico na sociedade contemporânea. Com isso, procuramos estabelecer pontos de balizamento para nossas reflexões e investigações: o ensino de Física e a Tecnologia.

No transcorrer do trabalho, fomos percebendo que o estabelecimento de relações entre esses dois pontos de balizamento nem sempre era fácil. As relações entre ambos os aspectos não se mostravam tão claras. Contudo, tais dificuldades se constituíram em um desafio a ser superado e procuramos enfrentá-lo sempre com a preocupação de atingir um objetivo maior: contribuir para a reflexão sobre o ensino de Física em nossas escolas.

2. Escolha do referencial teórico e articulação com a pesquisa

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio – PCN/EM – (BRASIL, 1999) foram o ponto de partida para este trabalho de investigação, especialmente no que diz respeito a relação Ciência-Tecnologia, relação Tecnologia-Sociedade, competências e habilidades a serem desenvolvidas pelos alunos no que diz respeito à compreensão de equipamentos, em seus diversos aspectos, utilizando os conceitos científicos como ferramentas para tal compreensão. No citado documento, o Ensino Médio é entendido como etapa final da Educação Básica, estando de acordo com o estabelecido na Lei 9394/96, de 20 de dezembro de 1996, que estabelece as Diretrizes e Bases da Educação Escolar. No que diz respeito ao ensino de disciplinas vinculadas à área de Ciências da Natureza, Matemática e suas tecnologias

Referenda-se uma visão do Ensino Médio de caráter amplo, de forma que os aspectos e conteúdos tecnológicos associados ao aprendizado científico e matemático sejam parte essencial da formação cidadã de sentido universal e não somente de sentido profissionalizante. (BRASIL, 1999, p.4).

Assim, observa-se a importância que o documento atribui ao aprendizado da citada Área no Ensino Médio, sendo que

O grau de especificidade efetivamente presente nas distintas ciências, em parte também nas tecnologias associadas, seria difícil de se aprender no Ensino Fundamental, estando naturalmente reservado ao Ensino Médio. (idem, p.6).

Podemos notar que, quando fala em “especificidade presente nas ciências” e “tecnologias associadas”, o documento prevê que os alunos do Ensino Médio já atingiram um grau de maturidade compatível com uma maior complexidade dos conceitos a serem ensinados. Entretanto, há muito que se considerar sobre esse aspecto, não sendo nosso objetivo discuti-lo aqui.

Para nosso estudo interessa a questão das “tecnologias associadas”, entendendo-se o termo aqui tratado da mesma forma que Bazzo (1998), quando diz que Tecnologia “é uma parte do conhecimento humano que trata da criação e uso de meios técnicos e suas inter-relações com a vida, sociedade e seu entorno, recorrendo a recursos tais como as artes industriais, engenharia, ciência aplicada e ciência pura” (p.153). Há um evidente caráter de especificidade envolvido nos processos e produtos tecnológicos, os quais são resultados de esforços extremamente direcionados. Um exemplo do que queremos dizer é o caso do sistema de telefonia celular móvel. Não basta conhecermos apenas as leis do Eletromagnetismo para entendermos o funcionamento do citado

sistema. Além delas, é preciso ter conhecimentos específicos de áreas como a Engenharia Eletrônica, Engenharia Civil (construção das torres das estações rádio-base), Eletrônica Digital, entre outras.

Contudo, podemos, a partir do conhecimento das leis do Eletromagnetismo, ter uma noção bastante aproximada do que seria a tecnologia da comunicação via rádio, a qual está envolvida na tecnologia dos sistemas de telefonia, tanto fixos como celulares. Isso já nos permitiria ter uma visão pelo menos aproximada do que seria aquele sistema.

O documento preconiza também que

Os objetivos do Ensino Médio em cada área do conhecimento devem envolver, de forma combinada, o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contextualizados, que respondam às necessidades da vida contemporânea, e o desenvolvimento de conhecimentos mais amplos e abstratos, que correspondam a uma cultura geral e a uma visão de mundo. Para a área das Ciências da Natureza, Matemática e Tecnologias, isto é particularmente verdadeiro, pois a crescente valorização do conhecimento e da capacidade de inovar demanda cidadãos capazes de aprender continuamente, para o que é essencial uma formação geral e não apenas um treinamento específico. (idem, p.6).

De certa forma, é muito difícil a tarefa de suplantar vários anos de ensino tradicional, durante os quais os alunos foram obrigados apenas a reproduzir os conhecimentos que são passados pelo professor, uma forma de treinamento específico. Ao iniciar um processo de ensino em que se privilegie o aprender a aprender, fatalmente esbarraríamos nesse obstáculo.

De modo semelhante aos PCN-EM (BRASIL, 1999), Fourez (1997) propõe uma abordagem do ensino de Ciências a partir do tratamento de problemas locais, destacando o caráter interdisciplinar do processo de solução de tais problemas.

O processo de problematização do objeto real passa por uma perspectiva de alfabetização científica e tecnológica (ACT). Esse termo é utilizado por Fourez (1997) e designa um processo de instrumentalização do indivíduo para participar plena e conscientemente do mundo científico-tecnológico, usufruindo de todas as possibilidades que ele oferece, utilizando seus produtos para a satisfação de suas necessidades reais, apropriando-se dos conhecimentos e utilizando-os como ferramentas para a compreensão do funcionamento e do processo produtivo das tecnologias e para a tomada de decisões frente a problemas que lhe afetem direta ou indiretamente.

Segundo Fourez (1997), a Associação Nacional de Professores de Ciências (NSTA), dos Estados Unidos da América (EUA), “expôs o que entendia por ACT em uma declaração relativa à educação científica para os anos 80.” (p.25). A seguir, transcrevemos os objetivos da ACT, conforme apresentado pelo autor:

Uma pessoa alfabetizada científica e tecnologicamente é capaz de:

- ✓ Utilizar conceitos científicos e integrar valores e saberes para adotar decisões responsáveis na vida corrente.
- ✓ Compreender que a sociedade exerce um controle sobre as ciências e as tecnologias, da mesma forma que as ciências e as tecnologias imprimem sua marca na sociedade.
- ✓ Compreender que a sociedade exerce um controle sobre as ciências e as tecnologias pela via das subvenções que lhes outorga.
- ✓ Reconhecer os limites e a utilidade das ciências e das tecnologias no progresso e no bem-estar humano.
- ✓ Conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas, e ser capaz de aplicá-los.
- ✓ Apreciar as ciências e as tecnologias pela estimulação intelectual que suscitam.
- ✓ Compreender que a produção de saberes científicos depende às vezes de processos de investigação e de conceitos teóricos.
- ✓ Saber reconhecer a diferença entre resultados científicos e opiniões pessoais.
- ✓ Reconhecer a origem da ciência e compreender que o saber científico é provisório e sujeito a mudanças segundo o grau de acumulação dos resultados.
- ✓ Compreender as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas na sua utilização.
- ✓ Possuir suficiente saber e experiência para apreciar o valor da investigação e do desenvolvimento tecnológico.
- ✓ Extrair de sua formação científica uma visão de mundo mais rica e interessante.
- ✓ Conhecer as fontes válidas de informação científica e tecnológica e saber recorrer a elas quando precisa tomar decisões. (FOUREZ, 1997, p.25-36).

A esses objetivos, o autor acrescenta: “ter uma certa compreensão da maneira com que as ciências e as tecnologias foram produzidas na história.” (Id., 1997, p.36). Abaixo de cada objetivo, o autor tece comentários, muitas vezes críticos, procurando ampliar a discussão sobre cada um deles e sua pertinência ao contexto do que ele próprio entende por ACT. Além disso, o autor discute questões como a diferença entre alfabetização científica (AC) e alfabetização tecnológica (AT), procurando razões conceituais, estruturais, metodológicas, epistemológicas e, até mesmo, ideológicas para essa distinção.

O autor coloca também alguns objetivos operacionais, tais como o bom uso de especialistas, de modelos simples, das chamadas “caixas pretas”, o uso e a invenção de modelos interdisciplinares, entre outros. (Id., 1997, p.64-76). Discute também a tradição disciplinar do ensino de ciências, a qual se baseia na tradição disciplinar da construção do pensamento científico. Entre outras coisas, o autor afirma que “o contexto e as finalidades do ensino de ciências devem tomar em conta que os alunos têm por diante diferentes futuros.” (Id., 1997, p.87) e que “uma pequena minoria se dirigirá para profissões científico-técnicas” (idem). Com isso, o autor defende que o ensino de ciências deve estar mais vinculado à atividade cotidiana, aos problemas da vida corrente, do que a problemas fictícios ou mais afetos à atividade científica.

Ainda de acordo com Fourez (1997), o ensino de ciências deve se pautar pelo “pensamento local” (Id., 1997, p.92). Para tanto, propõe a metodologia das “ilhas de racionalidade”. Esse modelo de trabalho pedagógico tem por objetivo tornar o ensino de ciências contextualizado e interdisciplinar, já que se pauta pela resolução de problemas concretos (reais ou imaginários), que demandem a utilização das habilidades operacionais proporcionadas pela ACT.

Embora proponha uma estratégia de abordagem bastante interessante, Fourez (1997) trata de forma superficial a questão da interdisciplinaridade. Na prática, uma abordagem interdisciplinar é muito complexa e poucos trabalhos que se propunham a aplicá-la não avançaram muito além dos limites do multidisciplinar, ou seja, cada especialidade tratava o problema de acordo com a sua visão de mundo.

Além disso, nos parece que a denominação “Alfabetização” não seria a mais adequada para esse processo. Preferimos denominar o processo de “Aculturação Científica e Tecnológica”, algo que parece mais ajustado aos objetivos propostos.

De qualquer modo, selecionamos quatro dos objetivos expostos por esse autor, os quais têm relação com o propósito deste estudo, especificamente no que se refere à fase preliminar da pesquisa:

1. Utilizar conceitos científicos e integrar valores e saberes para adotar decisões responsáveis na vida corrente.
2. Conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas, e ser capaz de aplicá-los.
3. Compreender as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas na sua utilização.
4. Conhecer as fontes válidas de informação científica e tecnológica e saber recorrer a elas quando precisa tomar decisões. (FOUREZ, 1997, p.25-36).

Como no presente trabalho de pesquisa não existe possibilidade de estendermos a aplicação desses objetivos a todos os problemas com que os estudantes se defrontam, nos restringimos apenas aos objetos tecnológicos abordados na fase preliminar da pesquisa, por ter sido mais abrangente, tanto em relação ao tempo como ao conteúdo. Em resumo, além dos objetivos relacionados às atividades didáticas aqui desenvolvidas com os estudantes, buscamos também verificar, na fase preliminar da pesquisa, se os objetivos expostos por Fourez (1997) foram ou não atingidos. Tal verificação não foi feita na fase final devido à especificidade do objeto de estudo proposto aos alunos, bem como pela exigüidade do prazo para a conclusão da tomada de dados da referida fase.

Durante as atividades de ensino, procuramos não separar os momentos pedagógicos. Buscamos aqui uma fundamentação em Gil-Pérez (1999), que critica essa separação no ensino de Física. Assim, planejamos as atividades de ensino numa perspectiva de fusão desses momentos pedagógicos, trazendo para a sala de aula um problema da realidade social dos cidadãos, relacionado a um determinado objeto tecnológico, buscando dar-lhe um tratamento à luz dos conhecimentos científicos e das relações sociais que permeiam o objeto em si.

A intenção de Gil-Pérez (1999) é questionar a distinção clássica entre os momentos pedagógicos "teoria", "práticas de laboratório" e "resolução de problemas de lápis e papel" que é feita tanto nas práticas pedagógicas do professor quanto nas pesquisas sobre ensino e

aprendizagem. O autor aponta que, apesar da pesquisa sobre ensino e aprendizagem ter experimentado significativos desenvolvimentos, os professores continuam trabalhando da mesma forma que haviam feito sempre, mesmo após terem tomado contato com propostas de inovação. Isto talvez se deva ao fato de terem tentado adaptar as novas propostas a suas práticas tradicionais. Contudo, na opinião do autor, não bastam propostas de inovação pontuais.

Tentativas de se conduzir a aprendizagem como uma investigação dirigida priva de sentido a separação entre teoria, prática e problemas, separação essa que não guarda nenhum paralelismo com a atividade científica real. Na medida em que pretendemos proporcionar aos alunos uma visão mais coerente do trabalho científico, o tratamento separado de conceitos, prática de laboratório e resolução de problemas, que na atividade científica aparecem imbricados, se converte em um fator de distorção, ou seja, um obstáculo.

Sobre a prática de laboratório, Gil-Pérez (1999) destaca que tanto as propostas pedagógicas centradas nesta atividade quanto as que a encaram como uma ilustração para os conceitos teóricos ensinados, tendem a se configurar erroneamente como receituários, não guardando nenhuma relação com a atividade científica experimental.

Em relação aos problemas de lápis e papel, o Gil-Pérez (1999) denuncia a artificialidade dos enunciados, que manifestam sua pretensa diversidade através da simples substituição de dados quantitativos, não proporcionando oportunidade de reflexão sobre a situação. Propõe que os problemas passem a apresentar enunciados abertos e que sejam intimamente relacionados com a atividade prática de laboratório, colocando-a como origem dos problemas. Apresenta um quadro onde destaca aspectos essenciais da resolução de problemas como atividade investigativa. Dentre esses aspectos, podemos destacar a discussão do interesse da situação problemática (que permite inclusive uma aproximação funcional das relações CTS), a realização de estudos qualitativos da situação, formulação de hipóteses, estratégias de resolução, análise de resultados e elaboração de sínteses explicativas do processo.

Contudo, apesar de sua relevância, a resolução de problemas de lápis e papel segundo a perspectiva de Gil-Pérez não foi abordada neste trabalho de pesquisa, pois consideramos que as situações pesquisadas não contemplavam esse tipo de abordagem didático-pedagógica da maneira que Gil-Pérez concebeu originalmente.

Quanto à aprendizagem conceitual, o citado autor busca uma alternativa ao modelo da mudança conceitual. Ele questiona o sentido de se levantar concepções prévias para depois refutá-las com a (praticamente) imposição dos conceitos cientificamente aceitos, através da introdução de conflitos cognitivos. Não se trata de eliminar os conflitos cognitivos mas evitar que

tomem caráter de confrontação entre as idéias próprias e os conhecimentos científicos. Gil-Pérez (1999) propõe, em vez disso, a orientação da aprendizagem como construção de conhecimentos científicos associada à aprendizagem por tratamento de situações problemáticas abertas, que possam gerar interesse nos estudantes.

No trabalho de pesquisa que ora desenvolvemos, concordamos que aprendizagem de ciências não pode ser concebida como uma simples mudança conceitual, mas como uma aquisição de conceitos, métodos e atitudes que, mesmo sem tomar o lugar dos antigos, serão de grande utilidade em processos de tomada de decisão em relação à Tecnologia. Desse modo, consideramos fundamental para nossa proposta de atividades de ensino o tratamento de problemas reais, complexos e abertos, desprovidos de uma solução prévia e consensual.

Winner (1985) trata sobre a existência de relações políticas no processo de invenção, concepção e utilização de artefatos técnicos. Sem cair nos meandros da chamada visão satânica da tecnologia, necessitamos de bases para lançar um olhar crítico e consciente sobre os artefatos técnicos que fazem parte de nosso contexto social, com vistas a entender as relações político-sociais que os mesmos trazem implícitas. Tais relações não surgem do objeto em si, mas sim das intenções de quem o inventa, projeta, constrói e utiliza. Para o caso das lâmpadas, um dos objetos abordados neste estudo, notamos que, durante o racionamento de energia elétrica no ano de 2001, a mídia, determinada pelos órgãos governamentais e empresas de distribuição de energia elétrica, apresentava como vantajosa a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, tendo em vista seu consumo ser aproximadamente cinco vezes menor do que aquelas, além de não necessitarem de nenhuma instalação especial. A partir dessa recomendação, notou-se uma “corrida” da população às casas de material elétrico em busca das ditas “lâmpadas econômicas”. Na mesma linha de raciocínio de Winner encontramos o pensamento de Bazzo (1998) que, entre outras coisas, defende a idéia de que a formação tecnológica e a formação humanista devem estar intimamente aliadas para que o objeto tecnológico tenha em sua concepção, construção e comercialização um caráter de real benefício para as pessoas, refutando sua suposta neutralidade cujo véu esconde intenções políticas pouco compromissadas com a satisfação das reais necessidades da humanidade.

Segundo Bazzo (1998), “a tecnologia, com maiores ou menores impactos, tem conformado nossa vida.” (p.124). Assim, nos submetemos à “autoridade” inerente à tecnologia, muitas vezes pela conveniência, sujeitando-nos a um “sonambulismo tecnológico”, termo este emprestado de Winner (apud BAZZO, 1998, p.125). Surge então a questão: teria a tecnologia vida própria e consciência para determinar nossas vidas? Acreditamos que não. Entretanto, há uma

intencionalidade intrínseca à tecnologia, a qual pode estar a serviço da satisfação das reais necessidades de seus usuários finais ou então comprometida com um projeto de criação de necessidades que só interessaria para aquele que pretende obter benefícios de poder ou lucro através dessas tecnologias. No que se refere à presente pesquisa, observamos que houve um aproveitamento de uma situação de crise para a disseminação de uma espécie de “pânico tecnológico”. Embora não seja possível evidenciar concretamente essa situação, observamos que pessoas envolvidas diretamente com a venda das citadas lâmpadas declararam estar até mesmo torcendo para que a crise se prolongasse mais, pois estariam vendendo como nunca.

Diante disso, julgamos necessária a intervenção didática articulada a nosso trabalho de pesquisa, no sentido que é preciso refletir sobre as informações que nos são passadas através das mídias, buscando, através de um pensamento crítico, evidenciar todos os aspectos envolvidos na escolha e na aquisição de um determinado objeto tecnológico, no caso, os aparelhos elétricos e, mais especificamente, as lâmpadas.

De acordo com Bazzo (1998), as pessoas precisam estar instrumentalizadas para a tomada de decisões relacionadas à tecnologia, evitando assim delegar poderes a outros que, por conveniência de formação ou por oportunidade específica, estariam mais informados ou instrumentalizados. Nas palavras do próprio autor:

O engenheiro, o advogado, o médico, enfim, o cidadão comum precisa saber das implicações que tem o desenvolvimento tecnológico nas mudanças geradas na nossa forma de vida. Precisam desmistificar, no seu cotidiano, a “pseudo-autoridade” científico-tecnológica de alguns iluminados que por terem tido acesso a uma educação mais apurada, por questão também de oportunidade e não apenas de competência, decidem os destinos de todos os que, como eles, fazem parte de uma sociedade. O homem comum, o usuário, deve também saber se é preciso desenvolver ou adotar todas as tecnologias modernas – antes de apenas moldar-se a elas – dominadas por outros países mais avançados, dentro de um contexto tão diferenciado. Ele precisa inferir se as necessidades de um povo só serão alcançadas com tecnologias de ponta ou, ainda, se o desenvolvimento tecnológico implica necessariamente, desenvolvimento humano. (BAZZO, 1998, p. 130).

Além dos referenciais apresentados, sentimos a necessidade de se buscar literaturas que tratem de metodologias alternativas para o ensino de física. Dentre as propostas de ensino que utilizamos em nosso estudo, destacamos a apresentada pelo Grupo de Reelaboração do Ensino de Física (GREF), da Universidade de São Paulo, em sua edição de 1998, a qual já contempla uma parte do que é proposto neste trabalho (GREF, 1998). Essa proposta é um referencial significativo no que tange a uma abordagem inovadora do Ensino de Física na sala de aula, tendo em vista, inclusive, que já tivemos oportunidade de aplicá-la com êxito a turmas de Ensino Médio de um colégio público do Estado do Paraná. O que se observa é que a proposta do GREF procura trazer o cotidiano para a sala de aula, proporcionando ricos momentos de discussão e

de experimentação, bem como articulação com problemas reais vivenciados pelos alunos em suas casas.

Outra referência metodológica utilizada na pesquisa é Delizoicov & Angotti (1992). Nessa obra, os autores propõem o estudo da Física através de um tema central: produção, distribuição e consumo de energia elétrica. Na unidade 4 (Id., 1992, p.117), os autores referem-se à utilização de aparelhos elétricos para tratar de conceitos do eletromagnetismo. Entretanto, a abordagem dos autores é temática, ou seja, elegem um tema o qual orientará todo o tratamento da disciplina, o que não é o caminho que trilhamos na aplicação da proposta de ensino tratada neste estudo.

De qualquer forma, ambas as propostas metodológicas de ensino de Física foram bastante significativas para subsidiar a construção das atividades didáticas de nossa pesquisa, pois trouxeram para o ambiente da sala de aula uma nova perspectiva de se abordar os conceitos científicos, aliados às suas aplicações tecnológicas.

Assim, com o programa de atividades didáticas concebido para aplicação em nossa pesquisa, procuramos oportunizar aos sujeitos envolvidos um momento de reflexão em torno da “determinação tecnológica” inerente à crise energética brasileira, fazendo com que explorassem suas concepções prévias sobre os aparelhos elétricos em geral, na fase preliminar da pesquisa, e as lâmpadas elétricas, na fase final, confrontando-as com os conceitos científicos relacionados à explicação de seu funcionamento e discutindo os possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais inerentes à sua produção, sua utilização e seu descarte. Os estudantes manifestaram algumas concepções, idéias e representações que também demandaram maiores reflexões. Assim, pesquisas que tratam de concepções espontâneas e representações sobre eletricidade ou eletromagnetismo (TAGLIATI, 1991; TOSCANO, 1991), também são utilizadas neste estudo, buscando uma categorização dos sujeitos da pesquisa quanto às concepções e representações que os mesmos manifestaram em relação aos equipamentos estudados, no caso específico, aparelhos elétricos e lâmpadas incandescentes e fluorescentes. Durante a abordagem didática realizada no trabalho de pesquisa algumas atitudes dos alunos frente aos dispositivos elétricos puderam ser relacionadas ao que foi apontado pelos dois autores citados.

Outro ponto observado nas produções dos alunos foi a sua capacidade de argumentação sobre seus modelos explicativos. Conforme aponta Bernardo (2000), “para argumentar, é necessário duvidar de tudo. ... duvidar da validade do próprio argumento ... aprender a dialogar ... com o próprio pensamento” (p.28). Nossa busca através deste trabalho foi também de fazer com que os alunos aprendessem através do conflito entre suas próprias idéias, introduzindo-o à medida em que as oportunidades fossem aparecendo.

Essa capacidade de argumentação foi investigada especialmente na fase preliminar, quando foi realizado um exercício de “ilha de racionalidade”. Convém destacar que o exercício de uma “ilha de racionalidade” é realizado apenas quando concebemos um problema real e concreto, afeto a uma comunidade, demandando mais tempo do que uma atividade investigativa. Na fase final, não realizamos tal exercício devido à característica do objeto estudado pelos alunos, as lâmpadas elétricas, às quais foi dado um tratamento puramente investigativo em torno de suas características técnicas, o que não se encaixaria numa “ilha de racionalidade”.

Procuraremos, a seguir, apresentar algumas justificativas para a realização desta pesquisa.

3. Justificativas

A questão da relação Ciência-Tecnologia no ensino das Ciências da Natureza é tratada em nível de propósito pelos PCN-EM, sendo que, na realidade do processo de ensino, ela se constitui num obstáculo, tanto para alunos quanto para professores.

Pensamos, assim, em realizar um estudo mais aprofundado no que diz respeito aos limites e possibilidades de uma experiência didática que leve em conta o tratamento de problemas relacionados à tecnologia, em especial à questão dos aparelhos elétricos domésticos e sua relação com a demanda de energia elétrica.

Outra justificativa, de caráter mais amplo, é a necessidade de se buscar alternativas de métodos de ensino mais interessantes para os alunos, contrapondo-se ao ensino de Física que é tradicionalmente levado a efeito nas escolas de Ensino Médio.

Discutimos brevemente a situação do Ensino de Física no Brasil, alguns pressupostos que justificam uma postura tradicional e que opõem certa resistência à implantação de programas inovadores. Acreditamos que esta situação seja o principal ponto de apoio para justificar uma proposta de inovação no Ensino de Física, tendo em vista que a proposta tradicional não proporciona algo significativo para a maioria dos alunos.

Na abordagem tradicional, o conceito científico é inicialmente apresentado, seguido de um formalismo matemático e de uma mecanização desse formalismo. Raramente são articuladas situações cotidianas a tais conceitos. Além disso, a forma de apresentação e tratamento dos conceitos é bastante fragmentada, impossibilitando ao aluno contextualizar, estabelecer relações entre o conceito e a realidade cotidiana.

Terrazzan (1994), refletindo sobre a situação do Ensino Médio no Brasil, aponta a realidade sócio-econômica dos estudantes como um dos fatores determinantes do afunilamento que se observa na escola brasileira. “Uma minoria segue cursos superiores no Brasil, cerca de 1% dos que ingressam na escola de 1º. Grau. Destes poucos, uma parte menor ainda se dedicará às áreas de ciências e de tecnologia.” (TERRAZZAN, 1994, p. 37). Este levantamento foi feito em 1994, porém a situação hoje, embora tenha experimentado alguma melhora, ainda não é a ideal. O autor aponta também que:

no Brasil a escola média tem um ‘caráter de terminalidade’ para os poucos que a freqüentam. E, por outro lado, tem sido, bem ou mal, o espaço para a formação de uma pequena ‘elite’ (se assim podemos chamá-la) que consegue sobreviver a três longos anos de conteúdos desconexos e sem utilidade prática. (TERRAZZAN, 1994, p. 38).

Diante disso, o Ensino de Física de caráter puramente preparatório para o vestibular deve ser repensado, senão refutado. Se apenas uma pequena parte vai utilizar os conhecimentos de Física em seu curso superior, por que ensinamos essa Ciência utilizando tal prerrogativa? Frequentemente, essa questão fica sem uma resposta plausível.

É aí que entra a proposta de se trazer os objetos tecnológicos presentes no cotidiano do aluno para a sala de aula, fazendo com que o aprendizado de Física adquira um significado.

A física desenvolvida na escola média deve permitir aos estudantes pensar e interpretar o mundo que os cerca. Aqui, o cotidiano vivido pelos alunos assume um papel fundamental na definição da forma de abordagens dos conteúdos previamente definidos como relevantes.

O cotidiano a que me refiro inclui não só aspectos derivados do sistema produtivo e da realidade geral em que vivemos, mas também a satisfação da curiosidade natural inerente ao ser humano, que o impulsiona na busca do conhecimento, e até a satisfação das solicitações incentivadas pelos meios de comunicação.

Neste nível de escolaridade devemos estar formando um jovem, cidadão pleno, consciente e sobretudo capaz de participação na sociedade. Sua formação deve ser o mais global possível, pois sua capacidade de intervenção na realidade em que está imerso tem relação direta com sua capacidade de leitura, de compreensão, de construção dessa mesma realidade. (TERRAZZAN, 1994, p. 38-39).

Pode parecer que, querer abordar conteúdos de Física utilizando-se de objetos tecnológicos acabe por contrariar a idéia de formação global. Pode parecer também que a abordagem seja de caráter empirista. Porém, a forma de abordagem procurou envolver, além dos elementos técnico-científicos relacionados ao funcionamento do aparelho, as implicações de ordem econômica, ética, política, social e ambiental, de modo a abranger os vários campos de conhecimento humano envolvidos em cada tecnologia analisada. Isto já afasta uma possível tendência a abordagens empiristas e pragmatistas, sendo que a interação com o objeto tecnológico em questão figura como situação desencadeadora do problema, o qual deverá ser solucionado através da utilização dos conceitos científicos, que figuram como ferramentas para o entendimento da realidade.

Nesse ponto, comparamos o trabalho do aluno com o trabalho do cientista, que, na perspectiva de Laudan (1986), utiliza os conhecimentos como ferramentas de solução de problemas. Quando tais ferramentas não se mostram adequadas para dar conta de determinado problema, utiliza sua imaginação e seu poder de teorização para criar novas ferramentas, as quais solucionarão não só o problema antes irresoluto, mas também outros que possam se apresentar. Entretanto, diante da dinâmica dos problemas que enfrenta, a utilização de uma determinada ferramenta é provisória.

Sendo assim, procuramos investigar a maneira como os alunos utilizam os

conhecimentos científicos como ferramentas para encontrar soluções de problemas. Assim como as teorias, que são sempre provisórias, as representações que os alunos construíram se tornaram ferramentas provisórias para o tratamento dos problemas. Esse caráter de provisoriedade exige um constante trabalho de busca de novas soluções para novos problemas que surgem ou mesmo para antigos que não foram resolvidos.

É nesse aspecto que consideramos que uma proposta pedagógica problematizadora, que discuta objetos reais do cotidiano, pode favorecer muito mais a aprendizagem dos conceitos científicos do que as abordagens tradicionais.

Consideramos também importante superar a relação opressor (professor) e oprimido (aluno) na sala de aula, aqui parafraseando Freire (1987). É preciso fazer com que os alunos sejam eles próprios responsáveis pela construção do seu conhecimento, enxergando-se como elementos ativos no contexto social em que estejam inseridos, libertando-se das amarras da dependência de “inteligências superiores”.

A justificativa para a escolha dos aparelhos elétricos e das lâmpadas como objetos tecnológicos a serem investigados pelos alunos reside no fato de que, durante o período de crise no sistema energético, muitas pessoas foram convocadas pela mídia a reduzir a demanda de energia elétrica, adotando medidas entre as quais podemos citar a troca de lâmpadas incandescentes por fluorescentes.

Utilizando-se de uma série de afirmações de que as lâmpadas fluorescentes compactas seriam mais “econômicas” que as incandescentes, o Governo e as companhias distribuidoras disseminaram uma espécie de “pânico”. Acatando a determinação sem maiores reflexões, ignorando diversos fatores tais como o preço, a real durabilidade do produto e o impacto causado pelo descarte das lâmpadas no meio ambiente, as pessoas literalmente correram em busca do dispositivo, pois mesmo com seu preço sendo, em média, dez vezes maior do que das lâmpadas incandescentes, os estoques das lâmpadas fluorescentes esgotaram em pouco tempo.

Julgamos que tais fatos têm estreita ligação com a existência de relações políticas associadas aos artefatos tecnológicos, no que concordamos com Winner (1985), pois de “uma hora para outra” lâmpadas que estavam “encalhadas” na prateleira por causa do seu alto preço acabaram tendo seus estoques esgotados. Será que não houve alguma intencionalidade política por trás disso? Talvez fiquemos sem resposta para essa questão, embora possamos refletir sobre o fato.

O que pudemos perceber foi o poder do argumento da mídia, que poderíamos até classificar como poder político, pois conseguiram mobilizar a população apresentando motivos discutíveis para a troca das lâmpadas.

Refletindo sobre o episódio, notamos que o fator econômico, em princípio, não se

sustentava, pois as lâmpadas não são os maiores consumidores de energia elétrica em uma residência de família de baixa renda. Sendo assim, uma lâmpada que custe dez vezes mais, mesmo tendo durabilidade maior, apresentará retorno econômico a longo prazo, o que, para a citada população se constitui numa alternativa inviável de investimento. A troca de lâmpadas apresenta mais vantagem para a população de renda média a alta, pois despendem mais energia elétrica em iluminação.

Por outro lado, se analisarmos proporcionalmente, as famílias de baixa renda demandam com iluminação um percentual maior da energia elétrica total que consomem. Mesmo assim, representam muito pouco no conjunto da sociedade, o que, em princípio, não justificaria a troca.

4. Objetivos da pesquisa

Apesar da complexidade de se implementar uma proposta de ensino que leve em conta o tratamento de problemas ligados à realidade cotidiana do aluno, acreditamos que é possível que os alunos passem a utilizar o conhecimento escolar para a resolução de tais problemas, desde que sejam trazidos para discussão no âmbito da escola. Em particular, nosso primeiro objetivo foi o investigar de que forma os alunos estabelecem relações entre o conhecimento científico e aplicações tecnológicas desse conhecimento, aplicações essas que, de uma forma ou de outra, fazem parte de sua realidade.

Buscando respostas a essa questão, investigamos alunos do terceiro ano do Ensino Médio regular, de uma escola da Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná, verificando como eles relacionam conceitos envolvidos no estudo do Eletromagnetismo com a explicação do funcionamento de aparelhos elétricos domiciliares em geral, na fase preliminar, e lâmpadas incandescentes e fluorescentes, na fase final.

Além disso, outro objetivo da pesquisa foi verificar como esses estudantes transferem os conhecimentos adquiridos para o seu contexto social, buscando interpretar os impactos causados pela produção, utilização ou descarte do citado objeto tecnológico. Os PCN-EM (BRASIL, 1999) trazem tal preocupação, como podemos verificar na citação a seguir:

Ao se denominar a área como sendo não só de Ciências e Matemática, mas também de suas Tecnologias, sinaliza-se claramente que, em cada uma de suas disciplinas, pretende-se promover competências e habilidades que sirvam para o exercício de intervenções e julgamentos práticos. Isto significa, por exemplo, o entendimento de equipamentos e de procedimentos técnicos, a obtenção e análise de informações, a avaliação de riscos e benefícios em processos tecnológicos, de um significado amplo para a cidadania e também para a vida profissional (BRASIL, 1999, p.6-7).

Nota-se nessa citação a clara inclusão das “Tecnologias” no âmbito das disciplinas pertencentes à área. Ao exemplificar com “o entendimento de equipamentos”, o documento prevê que os estudantes deverão desenvolver a habilidade de entender como funcionam os equipamentos que os cercam em sua vida cotidiana. A primeira questão que nos ocorre é: qual o sentido de se entender como funcionam tais equipamentos? Encontrando uma resposta para essa questão, poderíamos sugerir uma outra: como compreender equipamentos tão complexos? (pois mesmo sendo aparentemente simples envolvem detalhes construtivos intrincados). Quais equipamentos poderiam ser tratados sem demandar compreensões mais específicas? Até que ponto os alunos poderiam investigar a constituição do equipamento? Como poderiam os conceitos científicos, aprendidos nas disciplinas da Área, auxiliar na compreensão dos equipamentos? Tais

questões são cruciais para a discussão de uma alternativa de ensino que considere o avanço tecnológico contemporâneo como matéria a ser tratada no âmbito da educação escolar.

Poderíamos colocar também como objetivo deste trabalho de pesquisa a realização de um mapeamento qualitativo do nível motivacional relacionado ao tratamento de um problema cotidiano para discussão no ambiente escolar. Através desse procedimento, buscamos verificar até que ponto os problemas reais afetos aos objetos tecnológicos enfocados podem ser trazidos para a sala de aula, quais as limitações de entendimento e até que nível de complexidade esses objetos podem ser tratados com alunos do Ensino Médio.

5. Problema da pesquisa e hipótese de trabalho

Encontrar um problema de pesquisa pode até não ser muito difícil. Entretanto, formulá-lo da maneira correta é o grande desafio que se apresenta ao pesquisador. “Freqüentemente, a formulação de um problema é mais essencial que sua solução.” (EINSTEIN apud GOLDENBERG, 2000, p.71).

Sendo assim, concordamos com Goldenberg (2000), quando convida a fazer a pergunta certa: “Como formular um problema específico que possa ser pesquisado por processos científicos?” (Id., 2000, p. 71). Segundo a autora, é preciso “tornar o problema concreto e explícito através da imersão sistemática no assunto, do estudo da literatura existente e da discussão com pessoas que acumularam experiência prática no campo de estudo.” (Id., 2000, p. 71).

O tema que figura como objeto de nossa pesquisa é a possibilidade de se ensinar conteúdos de Física utilizando-se de objetos tecnológicos que façam parte do cotidiano dos alunos. Mais especificamente, pretendemos analisar a viabilidade de se ensinar eletromagnetismo através de aparelhos elétricos domiciliares, numa perspectiva de lançar bases de um processo de Educação Tecnológica na disciplina de Física.

Entretanto, antes de definir o problema principal da pesquisa, cabe questionar: como proceder para atingir esse objetivo?

A partir de nossas reflexões sobre a melhor metodologia de ensino para a abordagem do tema, nos pareceu inviável seguir o caminho da abordagem tradicional transmissivista. Ao ensinar os conceitos científico-tecnológicos ao aluno simplesmente desvelando os objetos tecnológicos e dando as respostas consideradas certas, estaríamos incorrendo no mesmo erro da abordagem tradicional, fragmentando o conhecimento mais ainda do que a simples transmissão dos conceitos científicos fundamentais.

É preciso, então, encontrar um novo caminho para que essa abordagem problematizadora que propomos utilizar proporcione aos alunos uma aprendizagem significativa, numa perspectiva semelhante ao que propõe Moreira e Masini (1982).

O caminho que ao nosso ver se revela mais adequado a essa perspectiva de ensino é o da intervenção real em objetos tecnológicos do cotidiano do aluno, sendo que o presente estudo deverá se concentrar apenas nos aparelhos elétricos.

A estratégia de ensino utilizada compreende, além da intervenção prática, a busca de modelos teóricos, científicos e não científicos, que sejam capazes de fornecer uma noção sobre o funcionamento dos aparelhos manipulados, uma compreensão das soluções tecnológicas e uma

visão de possíveis impactos sociais, econômicos e ambientais inerentes a esses aparelhos.

Além disso, a proposta deve proporcionar aos educandos, uma nova visão de mundo, que venha a se aliar a outras perspectivas de interpretação da realidade cotidiana, tanto aquelas fornecidas pelo seu meio sócio-cultural, quanto as que o indivíduo venha a adquirir em sua vida escolar e profissional.

Nosso problema de pesquisa é, portanto, investigar de que forma os alunos estabelecem relações entre o conhecimento científico e aplicações tecnológicas desse conhecimento, em especial os aparelhos elétricos domiciliares e as lâmpadas incandescentes e fluorescentes compactas.

6. Metodologia

Para este estudo, optamos pela abordagem qualitativa de pesquisa. Através dessa abordagem, procuramos investigar as representações dos sujeitos da pesquisa sobre aparelhos elétricos domiciliares na fase preliminar da pesquisa, restringindo a exploração às lâmpadas elétricas na fase final; além disso procuramos incentivar o estabelecimento de relações entre os conceitos científicos pertinentes e os referidos equipamentos técnicos.

Como embasamento metodológico, utilizamos Lüdke – André (1986) e Hoepfl (1997), sobre pesquisa qualitativa, e Severino (2000), sobre a metodologia de construção de um trabalho científico. Contudo, devido à especificidade de nossa pesquisa, procuramos desenvolver uma metodologia que nos permitisse obter dados a partir das intervenções didáticas, realizadas durante as aulas de Física nas duas turmas analisadas.

Na fase preliminar da pesquisa, procuramos estabelecer o enfoque que deveríamos abordar, ou seja, dentro do universo dos aparelhos elétricos (objetos tecnológicos) com os quais os estudantes têm contato, escolhemos aqueles que pudessem evidenciar melhor as hipóteses levantadas pelos próprios estudantes. Também procuramos levantar questões relacionadas à demanda de energia elétrica dos aparelhos investigados, procurando fazer com que os estudantes refletissem sobre as recomendações dadas pelo governo e pelas companhias distribuidoras, especialmente durante a crise energética que o Brasil vivenciou durante o ano de 2001 e parte de 2002.

Na fase final, enfocamos os problemas relacionados às lâmpadas elétricas, especialmente no que se refere à recomendação de substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas, recomendação essa dada pelo governo e pelas companhias distribuidoras de energia elétrica durante a crise energética. Nessa fase, além dos problemas específicos relacionados à demanda de energia elétrica, foram abordadas questões sobre o custo da substituição das lâmpadas frente ao benefício proporcionado e também sobre os impactos ambientais causados pela produção e pelo descarte das lâmpadas na natureza. No decorrer do processo, até mesmo questões relacionadas ao local de produção das lâmpadas foram levantadas, pois os estudantes verificaram que as lâmpadas fluorescentes compactas são produzidas fora de nosso país e isso, na opinião deles, poderia acarretar problemas tais como falta de desenvolvimento de uma tecnologia nacional, evasão de divisas, desemprego, entre outros.

As intervenções didáticas consistiram num programa de aulas teórico-experimentais durante as quais os alunos interagiram com diversos aparelhos elétricos de uso

comum em uma residência: lâmpadas elétricas, ferro de passar roupa, chuveiro elétrico, motor de ventilador e transformador. Também foram incluídos os seguintes aparelhos: lâmpadas de farol de automóvel e baterias de motocicleta. Durante essas aulas, os estudantes puderam manipular os aparelhos, discutir sobre seu funcionamento, comparar um aparelho com o outro, formular perguntas, expor dúvidas, manifestar receios, apresentar explicações próprias ou embasadas em textos teóricos, enfim, realizar toda uma gama de procedimentos que tiveram como objetivo torná-los mais ativos perante o objeto cognoscível.

Para a fase preliminar, escolhemos, como sujeitos da pesquisa, uma turma de vinte e um (21) estudantes de Terceira Série do Ensino Médio, do turno vespertino, de um Colégio da Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná. Esses alunos, oriundos em sua totalidade do meio urbano, tinham idades compreendidas entre 16 e 19 anos. A maioria desses estudantes já cursavam o Ensino Médio no mesmo Colégio, sendo que apenas dois deles cursaram o segundo ano em outros estabelecimentos. Embora não tenhamos determinado precisamente o meio social desses alunos, pudemos verificar, através de conversas informais, que todos pertencem à chamada classe média, com rendas familiares entre três e seis salários mínimos. Esse dado, embora não seja fundamental, nos forneceu uma pista sobre a proximidade desses alunos com os aparelhos elétricos que investigamos, ou seja, com essa informação pudemos planejar as atividades de ensino de modo a se aproximar melhor da realidade vivida pelos estudantes. Com esses alunos foram realizados dezesseis encontros, sendo um a cada semana, durante quatro meses, nos meses de maio, junho, agosto e setembro de 2001.

Na fase final da pesquisa foi escolhida uma outra turma, pois a anterior já havia concluído o Curso de Ensino Médio, não possibilitando mais que fizesse parte desta nova tomada de dados. Os sujeitos escolhidos para esta fase da pesquisa são vinte e três (23) alunos da terceira série do Ensino Médio, turno vespertino, do mesmo Colégio Estadual em que foi realizada a fase preliminar. A faixa de idade dessa nova turma vai dos 17 aos 23 anos. Todos são membros de famílias de trabalhadores, sendo que algumas alunas já são mães de família. Pelo que foi declarado por parte dos alunos, todos conhecem os aparelhos elétricos que foram tratados durante a experiência didática, sendo que alguns já interagiram com tais objetos. Durante os meses de março e abril de 2002, foram realizados cinco encontros com esses estudantes.

A escolha do campo de pesquisa e dos sujeitos que foram investigados está pautada no fato de que esses alunos ingressaram no Ensino Médio nos anos de 1999 (estudantes da fase preliminar) e 2000 (estudantes da fase final), época em que o Estado do Paraná, através de sua Secretaria de Estado de Educação, consolidou a reforma desse Grau de Ensino, alicerçado nos

princípios de interdisciplinaridade e contextualização, defendidos pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (BRASIL, 1999). Sendo assim, queríamos verificar se os estudantes submetidos a essas novas diretrizes de ensino estariam sendo efetivamente instrumentalizados para contextualizar os conhecimentos aprendidos na escola, mais especificamente aqueles relacionados aos objetivos desta pesquisa.

Na fase preliminar, aplicamos um questionário aos sujeitos da pesquisa, com o objetivo de verificar suas concepções sobre aparelhos elétricos. Essa verificação se fez necessária para se obter um panorama de como eles vêem um aparelho elétrico, quais suas características significativas e a compreensão que o aluno manifesta em relação às grandezas e medidas utilizadas para caracterizar cada um dos aparelhos explorados. Esse questionário é apresentado no quadro 6.1. As respostas mais freqüentes que os alunos deram ao referido questionário constam nos quadros 7.1 a 7.5, que apresentamos no item seguinte.

Posteriormente, apresentamos alguns aparelhos elétricos que os próprios alunos listaram no questionário anteriormente aplicado. Estimulamos algumas discussões sobre eles, visando levantar concepções espontâneas sobre seu funcionamento. A seguir, os alunos foram convidados a manipular os aparelhos, ligando-os, observando seu funcionamento e verificando informações fornecidas pelas “chapinhas” que contêm a identificação e as características técnicas, comparando com aquelas relatadas em suas respostas ao primeiro questionário.

A intervenção com aparelhos elétricos dentro do ensino de eletromagnetismo foi feita mediante uma perspectiva dialético-problematizadora. Nessa perspectiva, os alunos interagiram com os equipamentos e produziram textos que expuseram suas concepções, as quais foram objeto de réplicas por parte do professor da turma, de forma individual ou coletiva, por escrito ou verbalmente, visando problematizar os aspectos apontados pelos alunos. A partir da réplica a suas suposições, os alunos voltaram a interagir com o equipamento, a fim de que eles testassem as proposições do professor. Com isso, buscou-se fazer com que o aluno, através de um processo de processo de constantes “idas e vindas”, construísse seu conhecimento.

Quadro 6.1: Questionário para levantamento de concepções sobre aparelhos elétricos

Questionário – concepções iniciais sobre eletricidade, aparelhos e dispositivos elétricos, energia elétrica (produção, distribuição e consumo) e problemas da atualidade relacionados a esse assunto.

Nome do aluno: _____ .

- 1) Faça uma lista de aparelhos elétricos existentes em sua residência. Procure não deixar nada de lado. É a partir dessa lista que vamos escolher os aparelhos a serem estudados. Quanto mais você listar, melhor!
- 2) Ao lado de cada um dos aparelhos listados por você em resposta à questão (1), faça uma descrição das respectivas funções cumpridas por cada um dos aparelhos listados, ou seja, para quê cada um deles serve.
- 3) Em cada um desses aparelhos, há uma etiqueta ou chapinha de identificação das suas características, ou seja, voltagem (em volts ou V), potência (em watts ou W), corrente (em ampères ou A), frequência (em hertz ou Hz). Procure anotar ao lado da descrição de suas funções, os dados retirados dessas etiquetas ou chapinhas.

OBS.: Para responder às questões de (1) a (3), você pode utilizar a tabela anexa.

- 4) Utilizando as funções atribuídas por você a cada aparelho em resposta à questão (2), faça uma classificação dos mesmos, ou seja, agrupe os aparelhos que, na sua opinião, têm funções semelhantes. Não precisa reescrever todos. Basta escrever a classificação embaixo do nome do aparelho.
- 5) Relate a forma que você utiliza os aparelhos elétricos de sua residência, durante o período de um dia.
- 6) Estabeleça, segundo seus critérios, uma ordem de consumo de energia elétrica para os aparelhos citados por você na lista da questão (1).
- 7) Você se preocupa com a questão do consumo de energia elétrica? Que atitudes você e sua família tomam quando utilizam aparelhos elétricos, com o objetivo de “economizar energia”? Você saberia explicar cada uma dessas atitudes?
- 8) Junto com esse relatório, traga para a próxima aula de física faturas de energia elétrica de dois meses seguidos.

APARELHOS ELÉTRICOS	FUNÇÃO (o que o aparelho faz)	IDENTIFICAÇÃO CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)	E

Objetivo: verificar o nível de envolvimento dos alunos com os aparelhos elétricos residenciais, buscando estabelecer uma base para a contextualização dos conteúdos a serem tratados e as concepções prévias que eles detêm sobre a relação entre os aparelhos elétricos e a teoria eletromagnética.

Além das atividades práticas com os aparelhos e dispositivos elétricos, os alunos

receberam artigos de jornal que tratavam da crise no fornecimento de energia elétrica. Solicitamos que eles lessem essas reportagens e que, em seguida, respondessem a algumas questões. O objetivo dessas questões é efetuar um levantamento sobre o nível de conhecimento e acompanhamento dos fatos atuais que dizem respeito à energia elétrica, suas formas de geração e de consumo, suas características e problemas, bem como verificar como o aluno avalia as sugestões para economizar energia e suas implicações sociais, relacionando-as com os princípios de funcionamento dos aparelhos e com o modo de vida da população brasileira. Nos quadros 6.2 e 6.3 apresentamos os textos distribuídos aos alunos.

Embora pareçam desviar-se dos objetivos traçados para a fase preliminar da pesquisa, os textos foram repassados aos alunos com o intuito de dar-lhes subsídios para discussões relacionadas à crise energética, vivida durante o ano de 2001. Não queríamos nos restringir apenas aos aspectos técnicos dos aparelhos, mas sim dar uma visão geral do contexto de utilização dos mesmos, mais especificamente da questão da demanda energética desses aparelhos e a vantagem de possuir um conhecimento mais aprofundado sobre eles, situando-os na cadeia de produção e consumo de energia elétrica, visando proporcionar aos alunos subsídios para refletirem melhor sobre as determinações do governo e das distribuidoras de energia elétrica.

Um dos textos traz algumas “sugestões para economizar”, as quais envolvem os aparelhos elétricos. A análise dessas “sugestões” está diretamente relacionada com o conhecimento desses aparelhos, pois, de outro modo, não há como justificá-las de maneira aceitável. Assim, nosso intuito era o de proporcionar aos estudantes a oportunidade de questionarem, por exemplo, por que devemos preferir lâmpadas fluorescentes às incandescentes, ou por que esperar acumular roupa para passar tudo de uma só vez.

As concepções manifestadas pelos alunos após a leitura dos textos e a análise dessas concepções são apresentadas na seção 7.

Quadro 6.2: Artigo do Jornal O Estado do Paraná sobre a necessidade de se economizar energia também no Paraná.

Paraná precisa economizar energia.

SAIKI, Lyrian. *O Estado do Paraná*, 18 de abril de 2001, p.12.

Mesmo não sendo alvo da campanha lançada pelo governo federal para reduzir o consumo de energia elétrica, o Paraná não está livre de enfrentar as mesmas dificuldades dos Estados vizinhos. O alerta é do professor de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e especialista em operação e planejamento de sistema elétrico, Niromar Alves de Resende. “Não podemos separar a região Sul do resto do Brasil. Temos que considerar que o sistema elétrico é integrado e, por isso, é motivo para se preocupar aqui também”, salienta. A campanha nacional começou no Domingo e tem como meta reduzir pelo menos 10% da energia consumida nas regiões Sudeste, Centro-Oeste e Nordeste.

Para o professor Niromar, o problema principal é a grande dependência de hidroelétricas no país. Estima-se que 91% da energia elétrica brasileira seja produzida em hidrelétricas, enquanto apenas 9% vem de termelétricas. “Enquanto pelo menos 25% da potência elétrica não vier das termelétricas ficaremos à mercê de São Pedro, da chuva”, acredita. “E se dependermos só de água, um dia vai faltar energia”, completa. Niromar classifica a atual situação como “preocupante”. “Os reservatórios deveriam estar a pelo menos 50% de sua capacidade. A maioria está com 20% a menos do aceitável.”. O professor não descarta, inclusive que possa haver aumento na tarifa de energia elétrica.

Única opção

Para Niromar Resende, o uso da termelétrica no Brasil não emplacou devido à falta de aceitação pela sociedade. “Existe muita campanha contra a termelétricidade. Sou ambientalista e acho que temos que cuidar do meio ambiente, mas também não podemos ‘atrasar’ o progresso. Temos que exigir que se construa termelétricas limpas”. Aponta. Resende admite que as termelétricas antigas realmente poluíam, mas lembra que hoje existe tecnologia capaz de mudar isso. “Mesmo as de carvão (as mais sujas) podem ser limpas. Temos que exigir tecnologia disponível.” Entre os benefícios, cita ele, está a proximidade a áreas industriais e investimento inicial menor do que uma hidrelétrica, além do tempo para ser construída: uma termelétrica leva três anos, enquanto uma hidrelétrica, pelo menos seis. As termelétricas podem usar qualquer energético como carvão, gás, óleos pesados resultantes do petróleo e outros.

Sugestões para economizar

Coloque e retire os alimentos e bebidas da geladeira de uma só vez.

Evite guardar alimentos ou líquidos quentes na geladeira.

Evite banhos quentes demorados; utilize a posição “inverno” somente nos dias frios. A chave na posição “verão” gasta até 40% menos energia.

Não diminua, não emende nem reaproveite resistência queimada.

Prefira lâmpadas fluorescentes ou fluorescentes compactas, pois iluminam melhor, consomem menos energia e duram até dez vezes mais que as lâmpadas incandescentes.

Espere acumular uma boa quantidade de roupa e passe tudo de uma só vez.

Mantenha as portas e janelas fechadas ao usar o ar condicionado.

Atividade 1: faça uma pesquisa sobre o funcionamento das usinas hidrelétricas e termelétricas, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma, comparando os investimentos e os impactos ambientais causados por elas e analise a viabilidade de cada uma. Pesquise também outras formas de produção de energia elétrica.

Atividade 2: faça uma pesquisa sobre o funcionamento dos aparelhos elétricos citados no texto “sugestões para economizar” e, com base nessa pesquisa, explique o motivo de cada uma das sugestões.

Objetivo: ampliar o nível de conhecimento dos alunos em relação às formas de geração de energia elétrica, suas características e problemas. Avaliar criticamente as “sugestões para economizar”, procurando relacioná-las com as características de funcionamento dos aparelhos elétricos citados.

Quadro 6.3: Texto distribuído aos alunos e questões sobre o artigo “País consome pouca energia”, publicado no jornal O Estado do Paraná no dia 18/05/2001,

www.parana-online.com.br

Curitiba, sexta-feira, 18 de maio de 2001.

Economia

economia@parana-online.com.br

País consome pouca energia

<p>Rio (AE) – O consumo médio domiciliar de energia elétrica em todas as regiões do País está abaixo do limite de 250kWh fixado pelo governo para o período de racionamento. Por isso, a incidência da sobretaxa para os consumidores que ultrapassarem este patamar não trará conseqüências no cálculo da inflação. As residências da região metropolitana de São Paulo são as que apresentam maior demanda de energia, num volume muito próximo ao teto sugerido pelo governo: 249kWh, em média, segundo acompanhamento do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).</p> <p>Para o cálculo do índice de inflação ao consumidor feito pelo IBGE são coletados mensalmente junto às concessionárias de energia o preço do quilowatt-hora e a alíquota do ICMS que incide sobre as contas em cada região. O consumo médio em cada região é calculado na Pesquisa de Orçamentos Familiares (POF), um levantamento feito por amostragem para determinar a estrutura das despesas, receita e poupança da população.</p> <p>Ranking mundial</p> <p>O banco de dados do Departamento de Energia (DOE) do governo dos Estados Unidos indica que o Brasil, com a oitava maior economia do mundo, ocupa apenas a 83ª. posição no ranking do consumo per capita de energia elétrica. Em média, os brasileiros consumiram 2.157kWh durante 1999, quase cinco vezes menos do que os norte-americanos e 12 vezes menos do que os noruegueses.</p>	<p>Países como Suriname (4.289kWh), África do Sul (3.839kWh), Trinidad e Tobago (3.533kWh), Casaquistão (2.954kWh) e Guiana Francesa (2.407kWh) encontram-se em uma situação mais confortável do que a nossa.</p> <p>“A idéia de que consumimos muita energia é falsa, opinou ontem em Porto Alegre o engenheiro Roberto Pereira D’Araújo, diretor do Instituto de Desenvolvimento do Setor Elétrico, conhecido por Ilumina. Mesmo descontando a energia gasta pela indústria para efeito de comparação com as economias mais desenvolvidas, de acordo com o engenheiro, os brasileiros continuam perdendo longe para o padrão de consumo de outros países. “O consumo domiciliar no Brasil é de 170kWh por mês, enquanto na Califórnia (Estados Unidos) chega a 800kWh”.</p> <p>Cerca de 20 milhões de casas no Brasil não têm acesso a luz elétrica. O menor consumo domiciliar no território nacional é registrado no Maranhão, onde cada família gastava em média 97kWh por mês em 1998. Essa quantidade de energia mal dá para manter ligada durante o mês uma geladeira, um ventilador e uma lâmpada. A média nacional de consumo é de 179kWh por domicílio, sendo maior no Distrito Federal (237kWh), seguido por Amapá (233kWh), Rio (229kWh) e São Paulo, Roraima e Mato Grosso, todos com 226kWh. Há países em que a situação é pior. O Chade, na África, e o Camboja, na Ásia, vivem com apenas 11kWh por habitante durante o ano inteiro.</p>
--	---

Questões sobre o artigo “País consome pouca energia”, publicado no jornal O Estado do Paraná no dia 18/05/2001.

- 1) Qual o consumo domiciliar de energia elétrica da sua casa?
- 2) Você entendeu como será aplicada a sobretaxa de consumo? Se não, procure pesquisar e, em seguida, descreva como será calculada. Informe-se em jornais, revistas ou ligando para a COPEL. Veja se ela vai incidir em sua residência.
- 3) Em sua opinião, o fato de o consumo de energia elétrica brasileiro não ultrapassar 2200kWh por domicílio, no período de um ano, significa o quê? Será que podemos abrir mão de economizar energia? Ou será que o governo está errado? Explique sua resposta.
- 4) A que você atribui o baixo consumo de energia do brasileiro? Você já vivenciou alguma situação ou conhece alguém que viva na condição apresentada pelo texto?
- 5) Diante do que você conhece da atual situação energética, que soluções você sugeriria para o governo?
- 6) Objetivo: verificar o nível de informação do aluno e a sua capacidade de propor soluções e tecer críticas, bem como o nível de embasamento técnico-científico de tais soluções e críticas.

Podemos enumerar os objetivos específicos da fase preliminar da pesquisa como sendo:

1. levantar as concepções de “aparelho elétrico” manifestada pelos alunos, bem como o reconhecimento de grandezas e unidades de medida envolvidas no tratamento desses objetos.
2. observar a habilidade dos alunos para enfrentar problemas relacionados aos aparelhos elétricos, lançando mão de conhecimentos adquiridos em diversas fontes.
3. verificar como os alunos constróem modelos explicativos para resolver problemas locais relacionados aos aparelhos elétricos com os quais estão interagindo.
4. observar a capacidade de teorização dos alunos, comparando o processo de construção de seus modelos explicativos com o dos conceitos teóricos cientificamente aceitos.

Para atingir tais objetivos, os estudantes deveriam, inicialmente, manipular os equipamentos, ligá-los, observar seu funcionamento e os efeitos que produzem, formular modelos explicativos, mesmo quando esses aparelhos ainda figuravam como “caixas pretas”.

Posteriormente, propusemos que eles interagissem com o aparelho de forma a desmontá-lo, observar seus componentes internos, reformular seus modelos, montar o objeto novamente, alterar as condições de utilização, reproduzi-los em modelo experimental, enfim, agir de forma a buscar a apropriação integral do objeto analisado, chegando a suas primeiras determinações, para vislumbrá-lo não mais como um objeto real caótico ou “caixa preta”, mas sim um objeto concreto.

Estabelecemos a experimentação como ponto de partida, pois:

[...] é uma forma de levar o aluno a participar de seu processo de aprendizagem, sair de uma postura passiva e começar a perceber e a agir sobre o seu objeto de estudo, relacionando o objeto com acontecimentos e buscando as causas dessa relação, procurando, portanto, uma explicação causal para o resultado de suas ações e/ou interações. (CARVALHO et. al., 1999, p.42).

Entretanto, não utilizamos da abordagem tradicional de laboratório, tendo em vista que a mesma está, na visão do aluno, revestida de uma artificialidade em relação à sua experiência cotidiana. Realizamos aqui uma abordagem alternativa do laboratório, mais articulada com a realidade cotidiana do estudante, representada aqui pelos aparelhos elétricos com os quais interagiu, evitando as abordagens criticadas por outras pesquisas (GIL-PÉREZ, 1999; ARRUDA e LABURÚ, 1998).

Para a realização das atividades de ensino, buscamos apoio em alguns textos de ensino de Física, considerados inovadores por sua metodologia e forma de abordagem dos conteúdos, especialmente GREF (1998). Distribuímos entre os estudantes algumas cópias do texto

do GREF “Leituras de Física”, disponíveis para reprodução na página mantida pelo Grupo na Internet. Esses textos traziam alguns esquemas que explicavam o funcionamento de alguns dos aparelhos analisados que poderiam servir de base para que os alunos pudessem formular seus modelos explicativos.

Durante o programa, os sujeitos da pesquisa tiveram oportunidade de testar suas concepções sobre os aparelhos elétricos analisados, inicialmente de uma forma descomprometida com as teorias científicas, mas procurando se aproximar delas no transcorrer das atividades. Note-se aí que a intenção foi de desenvolver a capacidade de teorização, a qual hipoteticamente já se encontra presente, porém ainda não manifestada. Na descrição das atividades no campo de pesquisa, apresentamos as manifestações dos alunos sobre os aparelhos.

Para a resolução dos problemas propostos, utilizamos a técnica das “ilhas de racionalidade” (FOUREZ, 1997), devidamente adaptada à realidade dos nossos sujeitos pesquisados. Uma ilha de racionalidade consiste na resolução de um problema, proposto pelo professor ou levantado na comunidade. O problema pode até ser fictício, mas deve estar revestido da complexidade do mundo real, com todas as suas nuances, não podendo ser um problema marcado por pressupostos de idealização. Essa complexidade envolvida no problema faz, segundo Fourez (1997) com que sua resolução ultrapasse as barreiras disciplinares, pois não apenas um, mas vários campos do conhecimento humano poderão concorrer para a construção da solução mais adequada, porém, como tantas outras, também provisória. Embora Fourez (1997) descreva isso como sendo uma abordagem interdisciplinar, preferimos utilizar o termo multidisciplinar, pois mesmo concorrendo para a resolução do problema, os campos do conhecimento acabaram por permanecer estanques, não ocorrendo a simbiose que seria desejável num contexto interdisciplinar.

Para o tratamento do problema através de uma “ilha de racionalidade”, realiza-se uma reunião preliminar, onde são levantadas, através de um processo de tempestade cerebral (*brain storm*), propostas de solução primárias, prováveis especialidades envolvidas no processo de resolução, instrumentos necessários para o teste das hipóteses levantadas e formas de comunicação das decisões tomadas para a resolução do problema.

No encontro seguinte, é realizada uma outra reunião para debater os resultados da primeira, procurando fazer uma “limpeza” de idéias que possam desvirtuar de uma solução mais objetiva. A partir daí, procura-se levantar as especialidades envolvidas no problema.

Os encontros posteriores servem para que se efetue a investigação experimental e o estudo da teoria envolvida no problema, especialmente conceitos que podem fornecer alguma explicação para que o problema seja efetivamente resolvido.

Segundo Alves Filho (2001), o resultado de uma “ilha de racionalidade” deve ser

algo concreto: um manual, uma carta, um “laudo técnico”, um manifesto, um instrumento ou uma técnica de resolução do problema.

Na descrição das atividades no campo de pesquisa relatamos uma “ilha de racionalidade” realizada em torno do problema da redução da tensão elétrica na rede de distribuição.

Em relação à fase final da pesquisa, procuramos focar apenas um tipo de aparelho elétrico, visando um maior aprofundamento em sua análise, sobretudo no que se refere às relações Ciência, Tecnologia e Sociedade.

Para constituição dos dados dessa fase da pesquisa utilizamos a observação participante realizada durante o programa de atividades didáticas. Segundo Lüdke e André (1986), a observação participante “é uma estratégia que envolve, pois, não só a observação direta mas todo um conjunto de técnicas metodológicas pressupondo um grande envolvimento do pesquisador na situação estudada.” (op.cit., p.28).

Realizamos também intervenções dialogadas nas quais os estudantes iriam manifestando e organizando suas idéias que posteriormente seriam descritas em seus relatórios. Assim, o programa de atividades didáticas foi também considerado um instrumento de pesquisa.

Entretanto, foram necessários também instrumentos para a detecção das representações iniciais dos alunos sobre os equipamentos por eles investigados, impressões e comportamentos diante deles. Portanto, solicitamos aos alunos que elaborassem relatórios das atividades experimentais com as lâmpadas. Com esses relatórios, foi possível realizar um mapeamento inicial de como os alunos entendiam as lâmpadas, seu funcionamento, questões relacionadas à sua produção e aos impactos ambientais inerentes a elas.

O programa de atividades didáticas, durante o qual os alunos tiveram contato com os conceitos científicos envolvidos na explicação do funcionamento das lâmpadas elétricas, consistiu em leituras orientadas de textos que tratavam sobre os conceitos físicos envolvidos na explicação do seu funcionamento. Os textos não traziam referência direta às lâmpadas, deixando para os alunos a tarefa de construir relações entre o conhecimento expresso em tais textos e os dispositivos analisados. A construção dessas relações pelos alunos era algo que, em princípio, era esperado, ou seja, era objeto de investigação neste trabalho de pesquisa. Entretanto, como veremos mais adiante na análise dos resultados, essas relações continuaram a ser construídas erroneamente do ponto de vista científico, pois as representações iniciais que os alunos construíram sobre as lâmpadas eram muito resistentes.

Ao final de cada fase da pesquisa, solicitamos aos professores das turmas para que repassassem os resultados da avaliação rotineira a que os alunos seriam submetidos; através dessa

avaliação procuramos verificar a influência da abordagem didática dos aparelhos elétricos e das lâmpadas na aprendizagem de conceitos físicos.

CAPÍTULO II – FASE PRELIMINAR DA PESQUISA

7. Descrição das atividades didáticas da fase preliminar da pesquisa

Com base nos referenciais teóricos apresentados, verificamos com este estudo preliminar, como os alunos empregam os conhecimentos científicos em sua intervenção nos aparelhos elétricos e como constroem e exploram suas próprias concepções, que hipoteticamente aflorariam durante a interação com os aparelhos elétricos.

Decidimos que o trabalho de sala de aula seria coordenado pelo professor regente da turma e que nós, na qualidade de pesquisadores, prestaríamos um assessoramento às suas atividades de ensino. Entretanto, a produção de material, a obtenção dos aparelhos elétricos que seriam explorados e a instrução técnica para a manipulação desses objetos ficaria sob nossa responsabilidade.

Iniciamos a pesquisa aplicando um questionário cujo objetivo era mapear o que os alunos entendem por aparelhos elétricos e como eles estão presentes em sua vida. O questionário foi mostrado no quadro 6.1, no item “Metodologia”. Com esse questionário buscou-se levantar as concepções iniciais sobre eletricidade, aparelhos e dispositivos elétricos, energia elétrica (produção, distribuição e consumo) e problemas da atualidade relacionados a esse assunto. As respostas ao questionário foram sintetizadas nos quadros 7.1 a 7.5, a seguir. Apesar de termos distribuído o questionário para todos os alunos da turma, apenas sete os devolveram respondidos. Isso se deve ao fato de existir uma cultura de atraso na entrega dos trabalhos dessa turma. O fato de haver apenas cinco quadros para expressar as respostas de sete alunos se justifica pelo caráter de síntese que os mesmos apresentam. Os documentos originais são mostrados na íntegra no anexo 1.

A partir das respostas aos questionários, levantamos quais os tipos de aparelhos elétricos que trabalharíamos nessa fase inicial. Nos pautamos pelo levantamento efetuado pelos alunos porque a idéia era verificar quais os objetos tecnológicos que estão mais relacionados com sua experiência cotidiana. Se definíssemos previamente os objetos tecnológicos a serem tratados, correríamos o risco de abordar problemas distantes da realidade dos sujeitos da pesquisa, fugindo, pois, ao propósito deste trabalho.

O questionário foi respondido individualmente pelos alunos, pois eles ainda não haviam sido divididos em equipes de trabalho. Para responder às questões, os alunos realizaram uma verificação dos aparelhos elétricos que possuíam em suas próprias casas, fazendo assim com que explorassem sua realidade mais próxima, buscando elementos para serem problematizados e discutidos em sala de aula.

Quadro 7.1 – Relação dos aparelhos elétricos domiciliares segundo a percepção dos estudantes. As informações sobre as funções dos aparelhos aparecem de forma muito sintética.

APARELHOS ELÉTRICOS	<i>FUNÇÃO (o que o aparelho faz)</i>	<i>IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)</i>
<i>TV</i>	<i>Imagem, som.</i>	<i>60 Hz Consumo 735</i>
<i>Ventilador</i>	<i>Vento.</i>	<i>60W 127V~ 60Hz</i>
<i>Chuveiro</i>	<i>Temperatura.</i>	<i>127V~ – 5000W 50/60Hz</i>
<i>Ferro Elétrico</i>	<i>Calor</i>	<i>RI – 2105 115V~ 50 – 60Hz</i>
<i>Forno Microondas</i>		
<i>Rádio Relógio</i>	<i>Som, rádio.</i>	<i>Freqüência: AM 540 – 1600KHz, FM 88 – 108MHz AC: 110V/220V 60Hz 160mA DC: 9V for back up</i>
<i>Liqüidificador</i>	<i>Triturar.</i>	<i>127V~ 300W 60Hz Mod. L5 Série HC</i>
<i>Batedeira</i>	<i>Bater</i>	<i>180W Mod. BCA 127V~ 50/60Hz Série KF.</i>
<i>Vídeo Cassete</i>	<i>Som, imagem.</i>	<i>50/60Hz Consumo 25W</i>
<i>Geladeira</i>	<i>Congela.</i>	<i>Tensão 127V~ Freq. 60Hz Corrente 1.6A</i>
<i>Secador</i>	<i>Calor, vento.</i>	<i>110/220V~ Mod. MTA 1000W 50/60Hz Série AL</i>
<i>Freezer</i>		

Quadro 7.2 – Relação dos aparelhos elétricos domiciliares segundo a percepção dos estudantes. Aqui, as funções já são mais detalhadas, preservando contudo o caráter de percepção ingênua do aparelho.

APARELHOS ELÉTRICOS	<i>FUNÇÃO (o que o aparelho faz)</i>	<i>IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)</i>
<i>Rádio</i>	<i>Emite sons a longa distância.</i>	<i>AC – 110V – 220V 50/60Hz 13 watts</i>
<i>Televisão</i>	<i>Permite que vejamos imagens e ouçamos sons que estão a longa distância.</i>	<i>110 – 220V~ 50-60Hz</i>
<i>Ferro de passar roupas</i>	<i>Esquentar e permitir que deslize sobre o tecido, fazendo com que o mesmo desmanche as dobras.</i>	<i>115VCA 1000W VFA – 10 – 10 – T</i>
<i>Rádio toca fitas</i>	<i>Emite sons de longa distância e permite que se ouça fitas que ele mesmo, com sua força, faz gravar.</i>	<i>110V 12A ~</i>
<i>Ferro de passar</i>	<i>Passa roupa.</i>	<i>50 60Hz 1000W 115V~</i>
<i>Secador de cabelo</i>	<i>Serve para secar os cabelos.</i>	<i>50 60Hz 900W 110V~</i>
<i>Frizer</i>	<i>Serve para congelar ou resfriar os produtos.</i>	<i>60Hz 117W 220V~ 1,2A</i>
<i>Ventilador</i>	<i>É utilizado no período (verão) p/ refrescar o ambiente com seu vento.</i>	<i>60Hz 80W 127V~</i>
<i>Vídeo cassete</i>	<i>Utilizamos para gravar filmes e outros. Serve para passar um filme gravado a um tempo atrás</i>	<i>60Hz 13W 90~240</i>
<i>Refrigerador</i>	<i>Refrigeração de alimentos</i>	<i>115VAC 60Hz 30HNR</i>
<i>TV</i>	<i>Imagem, som.</i>	<i>60Hz consumo 735</i>
<i>Rádio</i>	<i>Som.</i>	<i>~ 60Hz 7W</i>
<i>Ferro elétrico</i>	<i>Calor.</i>	<i>RI-2105 115V~ 50-60Hz</i>
<i>Fogão elétrico</i>	<i>Fogo.</i>	<i>Categoria contra choque elétrico: OI tensão 127/220V potência 46/56W 50/60Hz</i>

Quadro 7.3 – Relação dos aparelhos elétricos domiciliares segundo a percepção dos estudantes.
 Novamente as funções aparecem de maneira sintética, não proporcionando uma percepção significativa de como os alunos vêm esses aparelhos.

APARELHOS ELÉTRICOS	FUNÇÃO (o que o aparelho faz)	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)
<i>Geladeira</i>	<i>Refrigerar.</i>	<i>Tensão 127V~ corrente 1,7A frequência 60Hz</i>
<i>Televisão</i>	<i>Emitir imagem e som.</i>	<i>Tensão 127V~ 50/60Hz frequência 56</i>
<i>Liquidificador</i>	<i>Triturar.</i>	<i>Tensão 127V~ corrente 2,4A frequência 50/60Hz potência 300W</i>
<i>Ferro</i>	<i>Aquecer.</i>	<i>Tensão 115V potência 1000W frequência 50/60Hz corrente 12A</i>
<i>Microondas</i>	<i>Aquecer.</i>	<i>Tensão 127V Potência 1300W frequência 2450MHz</i>
<i>Chuveiro</i>	<i>Aquecer.</i>	<i>110V</i>
<i>Aparelho de som (rádio)</i>	<i>Emitir som.</i>	<i>Potência 1800W Tensão 110/220V frequência 50/60Hz</i>

Quadro 7.4 – Relação dos aparelhos elétricos domiciliares segundo a percepção dos estudantes.
 Apesar de apresentar o mesmo caráter sintético das funções, manifestado nos relatórios dos quadros 7.1 e 7.3, esta tabela contempla uma classificação, solicitada na questão 4, e uma suposta ordem de consumo dos aparelhos, atendendo à questão 6

Ordem de consumo	APARELHOS ELÉTRICOS	FUNÇÃO (o que o aparelho faz)	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)
1	<i>Geladeira</i>	<i>Refrigerar.</i>	Tensão: 220V potência: 101W frequência: 60Hz corrente: -
2	<i>Ferro</i>	<i>Passa roupas</i>	Tensão: 115V potência: 1000W frequência: 50-60Hz corrente: -
3	<i>Lava-louças</i>	<i>Lavar as louças.</i>	Tensão: 120V potência: 1850W frequência: 60Hz corrente: 12A
4	<i>Microondas</i>	<i>Esquenta/ prepara alimentos</i>	Tensão: 127V potência: 1300W frequência: 2460MHz corrente: -
1	<i>Freezer</i>	<i>Congelar.</i>	Tensão: 127V potência: - frequência: 60Hz corrente: 3.0A
5	<i>Aparelho de som</i>	<i>Transmissor de som</i>	Tensão: 115V potência: 80W frequência: 50-60Hz corrente: -
5	<i>Televisão</i>	<i>Transmissor de som e imagem</i>	Tensão: 110-220V potência: - frequência: 50-60Hz corrente: -
3	<i>Lava-roupa</i>	<i>Lavar roupas e centrifugar</i>	Tensão: 120V potência: 235W/L 396W/C frequência: 60Hz corrente: -
4	<i>Liquidificador</i>	<i>Triturar alimentos</i>	Tensão: 127V potência: 300W frequência: 50-60Hz corrente: -

Classificação:

<i>Geladeira</i>	<i>Ferro</i>	<i>Lava-louças</i>	<i>Aparelho de som</i>	<i>Liquidificador</i>
<i>Freezer</i>	<i>Microondas</i>	<i>Lava-roupas</i>	<i>Televisão</i>	

Quadro 7.5 – Relação dos aparelhos elétricos domiciliares segundo a percepção dos estudantes. Neste quadro, os alunos separam os aparelhos em 2 classes. Respondem também à questão 6, estabelecendo uma ordem de consumo de energia elétrica, e à questão 7, onde fazem algumas recomendações para conter a demanda.

APARELHOS ELÉTRICOS	FUNÇÃO (o que o aparelho faz)	IDENTIFICAÇÃO E CARACTERÍSTICAS (dados da chapinha ou etiqueta)
<i>Geladeira (1)</i>	<i>Matem os alimentos resfriados.</i>	<i>Potência – 131W Frequência – 60Hz Corrente – 1,72A Tensão – 127V</i>
<i>Vídeo Cassete (2)</i>	<i>Permite assistir ou gravar numa fita imagens e sons.</i>	<i>Potência – 19W Frequência – 60Hz Tensão – 120V</i>
<i>TV (2)</i>	<i>Permite assistir programas com imagens e sons variados.</i>	<i>90 a 250V Frequência – 50/60Hz Potência – 75W</i>
<i>Ferro de passar (1)</i>	<i>Esquentando permite deixar a roupa que está sendo passada lisa.</i>	<i>Potência – 1000W Tensão – 120V</i>
<i>Rádio-relógio (2)</i>	<i>Permite que possamos ouvir estações de rádio e vejamos o horário.</i>	<i>Potência – 7W Tensão – 220 ou 110V Frequência – 50/60Hz</i>
<i>Lâmpada (1)</i>	<i>Mantém o ambiente claro</i>	<i>Tensão – 127V Potência – 100W</i>

Classificação:

(1) aparelhos elétricos cuja função está relacionada à temperatura e luminosidade;

(2) propiciar imagens e sons.

Resposta à questão 6: o ferro de passar gasta mais que os outros. Em seguida vêm a geladeira, a TV, as lâmpadas, o vídeo e o rádio-relógio.

Resposta à questão 7: passar roupas sempre que reúne muitas, alternar o horário de TV e de rádio. Mas não sei explicar o porquê disso.

Nesse mapeamento inicial, observamos os seguintes pontos:

- i) Todos os alunos relacionaram aparelhos elétricos que são ligados à rede de distribuição de energia elétrica. Não houve nenhuma menção a dispositivos ou aparelhos que funcionam alimentados por pilhas ou baterias.
- ii) Somente um aluno citou “lâmpada” como sendo um dispositivo elétrico. Também, em apenas um dos questionários surge o dispositivo “chuveiro elétrico” como sendo um dispositivo elétrico. Presumivelmente os alunos não entendem tais dispositivos como sendo aparelhos elétricos, apesar de declararem como evidente ligação elétrica com a rede.
- iii) Os dados constantes nas “chapinhas” de identificação foram transcritos adequadamente. Porém, isso não significa necessariamente que os alunos tinham pleno conhecimento do que essas informações significavam. No transcorrer do programa das atividades de ensino, abordamos as grandezas e medidas elétricas apontadas nesse levantamento.
- iv) Os critérios de classificação, solicitados nesta questão, quando presentes, foram feitos por apenas dois alunos: um deles, pautou-se pela utilidade do aparelhos, separando-os em dois grupos; outro, fez uma descrição mais detalhada, de acordo com a função de cada aparelho.
- v) Nenhum aluno descreveu a forma de utilização dos aparelhos.
- vi) Apenas dois alunos arriscaram-se em apresentar a ordem dos aparelhos quanto ao consumo de energia elétrica. Provavelmente, isso se deve ao desconhecimento do significado das informações das “chapinhas”, constatado no item (iii).
- vii) Em apenas um dos questionários foi respondida a questão (7), porém sem uma explicação plausível.

Dentre os aparelhos citados pelos alunos, podemos relacionar: aparelho de televisão, ventilador, chuveiro, ferro elétrico, forno de microondas, rádio-relógio, liquidificador, batedeira, geladeira, secador de cabelo, “freezer”, rádio toca-fitas, videocassete, lâmpada, fogão elétrico, máquina de lavar louças, aparelho de som, lavadora de roupas.

A partir dessas observações, evidenciamos que o grupo de alunos se relaciona com diversos aparelhos elétricos. Entretanto, percebemos, pelas respostas aos questionários, que esse relacionamento é bastante superficial do ponto de vista de conhecimento sobre o aparelho e seu funcionamento, não arriscando nem emitir considerações de caráter espontâneo.

Após análise desse questionário, pensamos em reaplicá-lo, pelo menos a partir da questão (4). Entretanto, no transcorrer das atividades, outros instrumentos de constituição de dados supriram essa lacuna, dispensando a reaplicação do questionário, mesmo porque, a essa altura, as concepções dos alunos não seriam mais totalmente “puras” como eram antes do início do estudo.

Na aula seguinte ao recolhimento desse questionário, foram apresentados aos

alunos alguns aparelhos e dispositivos elétricos, com os quais iriam interagir, desmontando-os, montando-os e ligando-os, com o intuito de observar seu funcionamento e lançar hipóteses sobre os mesmos. Esses dispositivos foram selecionados a partir da lista fornecida pelos próprios alunos. São eles: lâmpada incandescente e fluorescente, ferro de passar roupa, chuveiro e ventilador.

Foram trabalhados também outros dispositivos, os quais, apesar de não constarem na lista fornecida pelos alunos, faziam parte do universo de dispositivos conhecidos por eles, a saber: bateria e lâmpadas de farol de carro, transformador, adaptador de corrente alternada para corrente contínua, alternador (gerador de corrente alternada, utilizado em veículos) e inversor (dispositivo destinado a converter corrente contínua de baixa tensão em corrente alternada de alta tensão). Esses dois últimos dispositivos foram incluídos com o intuito de dar aos estudantes uma visão mais ampla do conceito de aparelho elétrico.

A escolha dos dispositivos pautou-se principalmente pela facilidade de manuseio e simplicidade construtiva. A classe foi dividida em equipes e cada uma delas escolheu um tipo de aparelho para investigar. A tabela 7.1 mostra essa divisão.

Tabela 7.1

Equipe	Componentes da equipe	Aparelho escolhido
1	AC, GD e PA	Chuveiro
2	IR, TC, KP, CG e SD	Lâmpadas incandescente e fluorescente
3	AR, ET e RD	Gerador e motor elétricos
4	DL e KC	Bateria e lâmpadas de farol
5	DE, FA, JP e MR	Ferro de passar roupa
6	AM e JG	Transformador
7	KA, LM e SS	Motor de ventilador

Durante três encontros, sendo um a cada semana, os alunos puderam manipular os aparelhos elétricos. Procuramos observar e anotar as atitudes dos alunos nesses encontros.

Constatamos que a maioria dos alunos sentia-se receosa ao manipular os aparelhos, tendo em vista que, durante toda sua vida, não lhes foi dada essa oportunidade. Isso parece advir do fato de que esses estudantes nunca foram incentivados a refletir sobre esses objetos que, em tese, estariam tão próximos deles.

Diante dessa constatação, no quarto encontro, julgamos necessário lhes apresentar alguns aspectos técnicos do funcionamento dos aparelhos. Para começar, descrevemos o funcionamento das lâmpadas incandescente e fluorescente. Utilizando dos materiais que dispúnhamos, efetuamos a ligação de cada um dos tipos de lâmpada, enfatizando o que era necessário para cada uma funcionar. Entretanto, não chegamos a abordar os conceitos físicos

envolvidos no seu funcionamento. Deixamos os alunos com a questão: “por que a lâmpada fluorescente é considerada mais econômica que a incandescente?”. Apesar de tentarmos evidenciar algumas diferenças de funcionamento entre as lâmpadas, tais como o grau de aquecimento de cada uma, os alunos não responderam conclusivamente à questão que lhes foi deixada. Decidimos prosseguir assim mesmo com as atividades.

Consideramos que o processo educacional a que esses estudantes foram submetidos parece ser, pelo menos em parte, o responsável pela atitude passiva que demonstraram. Ano após ano, esses estudantes tinham como tarefa quase que exclusiva a reprodução do conhecimento repassado pelo professor, sem muitas oportunidades de utilizá-lo para a resolução efetiva de problemas com que se defrontam no cotidiano.

Além disso, alguns alunos manifestaram uma certa angústia frente aos dispositivos que manipulavam, reclamando que não tinham noção alguma do que estariam fazendo e demonstrando preocupação em entender o processo. Em resposta às suas questões, procuramos tranquilizá-los afirmando que trata-se de um método diferente de ensino, no qual o aluno é posto em contato com a realidade, com vistas a refletir sobre ela. À medida que fomos nos aprofundando na análise do aparelho ou dispositivo, certos detalhes foram sendo melhor compreendidos, os quais, quando percebidos pelo aprendiz, pareceram constituir-se em elementos balizadores para se chegar a conceitos mais gerais que dão conta do funcionamento do respectivo aparelho ou dispositivo.

A angústia apresentada parece advir de um comportamento imediatista manifestado pelos alunos, fruto de uma cultura escolar na qual as situações problemáticas com que se defrontavam eram fechadas e possuíam uma resposta certa, não proporcionando momentos de discussão das condições envolvidas. Nossa proposta, ao contrário daquela vivida pelos alunos até o momento, era de fazê-los trabalhar em situações complexas, mais próximas da realidade, e observar suas atitudes frente a essa “nova” categoria de problemas.

Além das atividades práticas com os aparelhos e dispositivos elétricos, os alunos receberam artigos de jornal que tratavam da crise no fornecimento de energia elétrica. Solicitamos que eles lessem essas reportagens e que, em seguida, respondessem a algumas questões. O objetivo dessas questões é efetuar um levantamento sobre o nível de conhecimento e acompanhamento dos fatos atuais que dizem respeito à energia elétrica, suas formas de geração e de consumo, suas características e problemas, bem como verificar como o aluno avalia as sugestões para economizar energia e suas implicações sociais, relacionando-as com os princípios de funcionamento dos aparelhos e com o modo de vida da população brasileira. Apresentamos os textos distribuídos aos estudantes nos quadros 6.2 e 6.3 do item anterior (Metodologia). Os comentários escritos dos alunos constam dos quadros 7.6 a 7.12.

A princípio, pode parecer que desvirtuamos de nosso objetivo principal. Contudo, consideramos importante discutir questões relacionadas à demanda de energia elétrica dos aparelhos elétricos, situando-os no contexto da crise, buscando proporcionar aos alunos uma visão ampla sobre o problema e não só a exploração restrita aos detalhes técnicos. Julgamos que, dessa forma, podemos contribuir para que os alunos tenham a oportunidade de criticar a própria realidade em que estão inseridos.

Quadro 7.6 – Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes DE, FA, JP e MR sobre o texto do quadro 6.2 (equipe número 5)

O governo brasileiro lançou uma campanha com a meta de reduzir o consumo de energia em 10%. Mesmo que o Paraná não seja alvo da campanha, também teremos que economizar, pois o sistema elétrico está interligado em todo o Brasil.

Cita-se a sugestão de se construir termelétricas, mas muita gente é contra por não entender o seu funcionamento.

São passadas algumas sugestões como: retirar ou guardar tudo na geladeira de uma só vez; não guardar alimentos e líquidos quentes na geladeira; usar o chuveiro na posição “verão” etc. Essas sugestões são ótimas na economia doméstica, mas só fará efeito em escala nacional, se todas as pessoas passarem a utilizar essas sugestões.

Os alunos desta equipe elaboraram um mero resumo do artigo, não acrescentando nenhum comentário crítico relevante, resultado de uma discussão sobre o tema. Isso parece ser resultado da cultura de reprodução de conhecimento que havíamos comentado anteriormente, refletindo uma passividade diante das recomendações governamentais, evidenciando algo parecido com o “sonambulismo tecnológico” denunciado por Winner.

Quadro 7.7 - Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes IR, TC, KP, CG e SD (equipe número 2).

A energia elétrica

Para podermos economizar energia elétrica dentro de casa, devemos tomar certas atitudes para diminuir os gastos e preservar um pouco mais a natureza. Ao utilizarmos a geladeira, devemos tomar certos cuidados, retirando todos os alimentos de uma só vez para que não seja preciso abri-la freqüentemente.

Acender as lâmpadas somente quando for necessário, para que diminua os gastos.

Não ligar vários aparelhos elétricos ao mesmo tempo sem necessidade etc.

Se agirmos dessa maneira, economizaremos energia elétrica e a teremos por mais tempo.

Pois se nós continuarmos gastando luz sem precisão, chegará um tempo em que não haverá mais energia elétrica, talvez daí o arrependimento chegará, mas será tarde demais. Por isso, economize, enquanto há energia.

Aqui também, a exemplo do quadro anterior, não houve uma significativa

contribuição dos alunos, que resultasse de uma discussão sobre o tema. Apesar disso, podemos destacar a preocupação dos alunos com a preservação da natureza, sem contudo aprofundarem a reflexão.

Quadro 7.8 - Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes AC e JG (equipe 6) e KA, LM e SS (equipe número 7).

Devemos utilizar todos os meios de economizar energia elétrica por que um país que está à beira da racionalização, deve tomar conscientização de que toda economia é pouca, não devemos desperdiçar a energia elétrica se não quisermos ficar sem ela.

Algumas maneiras de economizar é: não tomar banho em horário de pico, não deixar luzes acesas à toa, coisas assim ajudam a manter o consumo baixo.

Agora devemos tomar cuidado porque se a fatura mensal aumenta iremos pagar multa dependendo da quantidade do gasto por exemplo se pagar até 50,00 reais, teremos que pagar o dobro.

São coisas assim que iram fazer com que o consumo diminua e não haja a racionalização.

Na produção desses estudantes, podemos notar uma confusão entre os conceitos de “racionalização” e “racionamento”, ou seja, em vez de utilizar o segundo termo, empregam erroneamente o primeiro. Além disso, apesar do texto expressar que o Paraná não entrará na campanha, os estudantes demonstram estarem mal informados, especificamente quando afirmam que “... se a fatura mensal aumenta iremos pagar multa...” (equipe 7).

Quadro 7.9 - Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes AR, ET e RD (equipe número 3).

Banhos curtos.

Ascender a lampada apenas nas repartições que estiver pessoas.

Procurar abrir menos o possível a geladeira; etc.

Tomar banhos curtos, por que?

A partir que tomar banho com menos tempo de duração você estará economizando não só energia como também água.

Trocar as lâmpadas normais por fluorescentes pois a normal ela esquenta portanto gasta mais do que as fluorescentes, estas são lâmpadas frias e sua economia pode chegar a 60%.

Abrir menos a geladeira possível porque quando abrimos a geladeira o calor entra dentro dela o que faz ela gastar mais energia para resfriar, ou seja, voltar para temperatura normal novamente.

Apesar da dificuldade de expressão escrita demonstrada pela equipe, podemos notar uma certa “habilidade técnica” no discurso dos alunos, pois foram os únicos a apresentar um motivo relativamente plausível para o fato das lâmpadas fluorescentes demandarem menos energia que as incandescentes, chamadas por eles de “normais”. Além disso, discutem também a questão da

geladeira, apresentado uma concepção bastante próxima da explicação científica para a recomendação que lhe diz respeito.

Quadro 7.10 - Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes DL e KC (equipe número 4).

<p><i>Na opinião do grupo é sim: Porque se todos aderir à campanha ela terá força e aos poucos será reduzido o uso excessivo de energia elétrica. Ex.: a geladeira em vez de colocar todos os alimentos de uma vez só em vez de colocar de um em um. Sugestões de economia do texto. São validas e ajudam a economizar.</i></p>

A equipe demonstrou pouca habilidade de reflexão e de argumentação, reproduzindo as informações de forma ingênua, utilizando frases de efeito, embora laconicamente, além de revelar problemas estruturais relativos ao domínio da língua portuguesa.

O discurso da equipe número 1, constante do quadro 7.11, apresenta concepções espontâneas sobre o funcionamento do ferro de passar e do chuveiro, o que fica evidenciado quando declaram que “... o ferro de passar ... ao ligar dá um impulso na corrente elétrica...” e “o chuveiro usa muita resistência para aquecer toda a água”. Atribuem a essas “características” o fato de demandarem uma quantidade significativa de energia elétrica, utilizando-as para justificarem as “sugestões para economizar”.

Quadro 7.11 - Texto produzido pela equipe formada pelos estudantes AC, GD e PA (equipe número 1).

<p><i>É válida essas sugestões porque sabemos do problema do racionamento quanto ao ferro de passar não se deve ligar e desligar a todo momento porque ao ligar dá um impulso na corrente elétrica e depois normaliza. O chuveiro usa muita resistência para aquecer toda a água. A geladeira quando aberta entra ar quente do ambiente e o motor vai ter que gastar mais energia para expulsar o ar quente de dentro dela.</i></p>

Não houve contestação quanto à questão ambiental envolvida no funcionamento das termelétricas, apesar da grande repercussão que tal assunto tem gerado na mídia. Em relação às “sugestões para economizar”, apenas um grupo de alunos aprofundou suas discussões, tentando expressar os motivos de cada uma delas. Nos demais grupos, apenas houve uma repetição passiva das sugestões, com pequenas mudanças na apresentação, sem contudo alterar a essência. Há que se considerar que o tempo de uma aula é de apenas cinquenta minutos e, descontando o tempo necessário para a organização do trabalho em classe, o tempo que eles tiveram para produzir o texto

foi de apenas trinta minutos, fato que, de certa forma, prejudicou o desenvolvimento das idéias.

Na atividade 1, do texto apresentado no quadro 6.2, havíamos solicitado uma pesquisa sobre o funcionamento das usinas hidrelétricas e termelétricas, destacando as vantagens e desvantagens de cada uma, comparando os investimentos e os impactos ambientais causados por elas e análise a viabilidade de cada uma, como também outras formas de produção de energia elétrica. Dispensamos a elaboração de material escrito, pois consideramos que seria meramente copiado das fontes. Recomendamos que apenas lessem sobre o tema solicitado e reunissem elementos para discussão em sala de aula. Contudo, nenhum aluno realizou a atividade, nem mesmo diante da dispensa de trazer algo escrito. Julgamos que o fato de não ser atribuída nenhuma nota para o trabalho fez com que não dessem importância para o mesmo, o que evidencia um caráter de “fisiologismo”, ou seja, os alunos só realizam atividades que lhes rendam nota, não se importando muito com a aquisição de conhecimento. Novamente, evidenciamos uma influência significativa da cultura escolar em que esses estudantes estão imersos, a qual valoriza o quantitativo em detrimento do qualitativo.

No quadro 7.12, apresentamos as respostas, dadas pelas equipes de alunos às questões sobre o texto do quadro 6.3 (item 6, “metodologia”). Essas respostas foram resultado de consenso entre eles, utilizando dados fornecidos por um dos componentes da equipe ou discutindo as respostas de cada um, sintetizando-as em apenas uma.

Os alunos mostraram estar bem informados quanto às medidas de racionamento do governo, tecendo comentários bastante interessantes, havendo porém alguma divergência na percepção manifestada pelos grupos, como podemos ver nesses dois trechos:

Abaixo de 100kWh não será cobrada sobretaxa, mas a cada 1 real economizado a conta terá um desconto de R\$ 2,00. A partir de 200kWh até 500kWh será cobrada uma taxa de 20% sobre a quantia passada de 200kWh. E o que passou de 500kWh será cobrada uma taxa de 80%

Para quem gasta até 200kWh por mês não haverá sobretaxa. De 200kWh a 500kWh por mês haverá sobretaxa de 50%. Para quem gasta acima de 500kWh por mês haverá sobretaxa de 200%. Não vai incidir em minha residência.

Alguns desses comentários chamam a atenção para a questão social do país, a baixa renda da população e as alternativas legalmente inviáveis para terem acesso ao benefício da energia elétrica. Exemplo disso é o trecho a seguir:

O baixo consumo de energia brasileira se deve ao fato de que muitas

peçoas não tem energia em sua casa, que é o caso de favelas, muitos não utilizam dos eletrodomésticos existentes, ou roubam energia.

Houve também comentários que dão uma idéia sobre a condição social de alguns dos alunos da própria turma. Um aluno respondeu dessa forma à questão 2:

É um pouco complicado, mas foi possível entender. Ela não tem a menor possibilidade de incidir na minha casa, pois aí nós vamos ter que viver às escuras.

Quadro 7.12 – Respostas ao questionário sobre o texto “País consome pouca energia”.

Cada equipe compilou as respostas dadas por seus componentes, chegando a um consenso.

<i>Questões:</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Equipe 1</i>	<i>Média de 100kW</i>	<i>Abaixo de 100kWh não será cobrada sobretaxa, mas a cada 1 real economizado a conta terá um desconto de R\$ 2,00. A partir de 200kWh até 500kWh será cobrada uma taxa de 20% sobre a quantia passada de 200kWh. E o que passou de 500kWh será cobrada uma taxa de 80%</i>	<i>Significa que se levarmos em conta as médias de outros países, o consumo é baixo devido ao fato de 20 milhões de casas no Brasil não têm energia elétrica, o brasileiro não faz tanto uso de eletrodomésticos como os norte-americanos. Mas não significa que podemos esbanjar energia, afinal as áreas consumidoras se encontram em regiões super dependentes de hidrelétricas, que devido ao clima estão vazias. No Brasil o governo não investiu em outros tipos de geradores, por isso a crise.</i>	<i>Como já falei anteriormente, isto é devido ao fato de 20 milhões de casas não terem acesso a eletricidade. Já ouvi muitas histórias a respeito de formação de “gatos”.</i>	<i>Investir na construção de termoeletricas, movidas a gás ou outro tipo de combustíveis, sem esquecer do meio-ambiente cuidando para que essas usinas sejam limpas. Construindo mais linhas de transmissão das grandes hidrelétricas do Sul e Norte para as regiões mais necessitadas, já que sabe-se que elas ainda podem produzir muito mais. Incentivar ou até mesmo criar leis, que façam que empresas extremamente consumidoras criem meios de produzir para seu gasto energia própria.</i>
<i>Equipe 2</i>	<i>145kWh / mês</i>	<i>Será calculada da seguinte maneira: consumos menores ou iguais a 100kWh / mês estarão isentos da redução obrigatória de 20%. Quem consumir acima de 100kWh / mês, terá uma meta correspondente a 80% do consumo médio dos meses de maio, junho e julho de 2000, com um mínimo de 100kWh / mês. Quem não cumprir as metas, terá acréscimo nas tarifas, além de estar sujeito a corte do fornecimento.</i>	<i>Significa que estão no limite e se assim continuarem não precisará ser feito o racionamento e será bom tanto para as hidrelétricas quanto para os consumidores.</i>	<i>O baixo consumo de energia brasileira se deve ao fato que muitas pessoas não têm energia em sua casa, muitos não utilizam dos eletrodomésticos existentes, muitas pessoas fazem usos de gatos, roubando energia.</i>	<i>Construção de novas hidrelétricas conforme a taxa de consumo de cada região.</i>
<i>Equipe 3</i>	<i>Entre 100kWh a 140kWh por mês</i>	<i>É um pouco complicado, mas foi possível entender. Ela não tem a menor possibilidade de incidir na minha casa, pois aí nós vamos ter que viver às escuras.</i>	<i>O fato de que o consumo brasileiro não ultrapassa 2200kWh por domicílio já é uma economia meio que involuntária. Na crise que estamos, economizar sempre é bom, não precisa exagerar. O brasileiro já é econômico. Não deveria ser feita a campanha para economizar energia, mas também para economizar água, pois a energia brasileira praticamente necessita de água.</i>	<i>O baixo consumo deve-se ao fato de que um grande número da população ainda não tem acesso à energia elétrica.</i>	<i>Só que ele se preocupar também com a água, pois há um grande desperdício de água no país.</i>
<i>Equipe 4</i>	<i>80 a 90kWh</i>	<i>O governo estabeleceu que cada residência poderá gastar até 250kWh, se passar desta taxa paga uma multa. Não [vai incidir</i>	<i>Em relação a outros países a taxa é considerada baixa, mas podemos talvez ter menos aparelhos domésticos do que a</i>	<i>Talvez por ter poucos eletrodomésticos, ou não utiliza-los tanto.</i>	<i>A situação energética é séria, pois se não chover podemos ficar no escuro, e agora o único modo é economizar ao máximo, já que chegou a esse</i>

		<i>na minha residência] porque está bem abaixo do limite.</i>	<i>Califórnia, por exemplo. Por isso consumimos menos e não podemos abrir mão de economizar porque o volume de água é muito baixo e podemos ficar sem energia.</i>		<i>ponto.</i>
<i>Equipe 5</i>	<i>353kWh, na média nos últimos três meses foi de 392kWh.</i>	<i>Sobretaxa será da média entre os meses maio, junho e julho, do ano anterior. Na região Sul não vai ter incidência e no Sudeste o governo quer que reduza a 20kWh.</i>	<i>Devido aos baixos salários no país, o brasileiro se obriga a economizar, não podendo abrir mão de economizar energia elétrica. Não podemos abrir mão de economizar para que não haja falta de energia elétrica no futuro. O governo está certo em pedir que o brasileiro faça economia. Resumindo falta de dinheiro, o excesso de consumo de energia e a falta de chuva principalmente na região Sudeste e Centro-Oeste do país.</i>	<i>Em virtude de uma grande parte da população brasileira recebe um salário mínimo, aí a necessidade de consumir menos energia elétrica.</i>	<i>Que o governo se disponibilize verbas destinadas e que sejam usadas na construção de mais linhas de transmissão, entre a região Sul e a Sudeste tendo em vista que na região Sul ainda há sobra de energia produzida.</i>
<i>Equipe 6</i>	<i>100kWh</i>	<i>Para quem gasta até 200kWh por mês não haverá sobretaxa. De 200kWh a 500kWh por mês haverá sobretaxa de 50%. Para quem gasta acima de 500kWh por mês haverá sobretaxa de 200%. Não vai incidir em minha residência..</i>	<i>Na minha opinião 183kWh por mês é um gasto razoável. Devido à crise, nós devemos economizar. O governo deveria ter investido antes, mas como isso não aconteceu, essa foi a solução encontrada.</i>	<i>1.º O brasileiro pode não usufruir de tantos aparelhos de tantos países desenvolvidos. 2.º Mesmo que tivéssemos tantos aparelhos não teríamos dinheiro para pagar o alto valor da fatura. Em minha casa vivemos economizando, pois não temos tanto dinheiro para pagar a conta em excesso.</i>	<i>Investimentos em geradores de energia que não utilizem água, como as termelétricas. Usar da tecnologia para aproveitar toda a energia gerada em hidrelétricas, para não ser desperdiçada na transmissão.</i>
<i>Equipe 7</i>	<i>130kWh / mês</i>	<i>Consumos menores ou iguais a 100kWh / mês, terá uma meta correspondente a 80% do consumo médio dos meses de maio, junho e julho de 2000, com um mínimo de 100kWh / mês. Quem não cumprir as metas terá o acréscimo nas tarifas, além de estar sujeito a corte do fornecimento.</i>	<i>Significa que estão no limite, e se assim continuarem não precisará ser feito o racionamento, e será bom tanto para as hidrelétricas quanto para os consumidores.</i>	<i>O baixo consumo de energia brasileira se deve ao fato que muitas pessoas não têm energia em sua casa, muitos não utilizam dos eletrodomésticos existentes, ou roubando energia.</i>	<i>A construção de novas hidrelétricas, conforme a taxa de consumo de cada região do país.</i>

Em outra resposta, o mesmo aluno manifesta uma percepção das inter-relações existentes no sistema energético brasileiro:

O fato de o consumo brasileiro não ultrapassar 2200kWh por domicílio já é uma economia meio involuntária. Na crise que estamos economizar é

sempre bom, não precisa exagerar, o brasileiro já é econômico. Não deveria ser feita a campanha para economizar energia, mas também para economizar água, pois a energia brasileira praticamente necessita de água.

Aqui, podemos notar que a percepção dos alunos da equipe extrapola a questão abordada, adentrando um aspecto que tem relação com problemas ambientais, mais especificamente da falta de água potável (embora eles não tenham utilizado essa expressão).

De maneira geral, os estudantes, a partir do texto, concluíram que o agravamento da crise energética não é devido ao excesso de consumo por parte de cada consumidor individual. Atribuem a responsabilidade à ineficácia do governo para investir na construção de novas usinas, de modo a acompanhar o crescimento na demanda de toda a sociedade, causado pelo próprio aumento da população e das necessidades energéticas do setor industrial para produzir mais riquezas. Isso fica evidenciado em todas as respostas à questão número 5, como é possível constatar no quadro 7.12.

Percebemos que, de alguma maneira, os alunos estavam começando a emergir do chamado estado de “sonambulismo tecnológico”, arriscando tecer comentários sobre questões que, aparentemente, poderiam não lhes interessar ou não serem do seu domínio de conhecimento. Isso nos dá uma perspectiva promissora para esse tipo de atividade, pois, mesmo oriundos de um processo educacional que privilegia a reprodução e inibe a criatividade, os alunos se mostraram passíveis de uma mudança de mentalidade frente a esse tipo de problema.

Dessa maneira, encerramos a análise dos artigos, prosseguindo, nos encontros seguintes, com as atividades programadas.

Na etapa seguinte, os alunos iniciaram a montagem de circuitos elétricos em plataformas de madeira previamente cortadas, utilizando os aparelhos elétricos explorados na fase anterior. Os materiais empregados para essa montagem foram os mesmos que são utilizados em instalações elétricas residenciais. Entretanto, as equipes que trabalharam com as baterias de motocicleta apenas acompanharam a construção feita pelas equipes que exploraram as lâmpadas, o ferro de passar roupa, o chuveiro e o motor de ventilador.

O intuito dessa atividade era fazer com que os alunos construíssem módulos de instalação elétrica residencial ou circuitos independentes, desenvolvendo a habilidade de trabalhar manualmente com os dispositivos tratados, verificando a aplicação dos conhecimentos abordados. A figura 7.1 mostra as construções feitas pelos alunos.

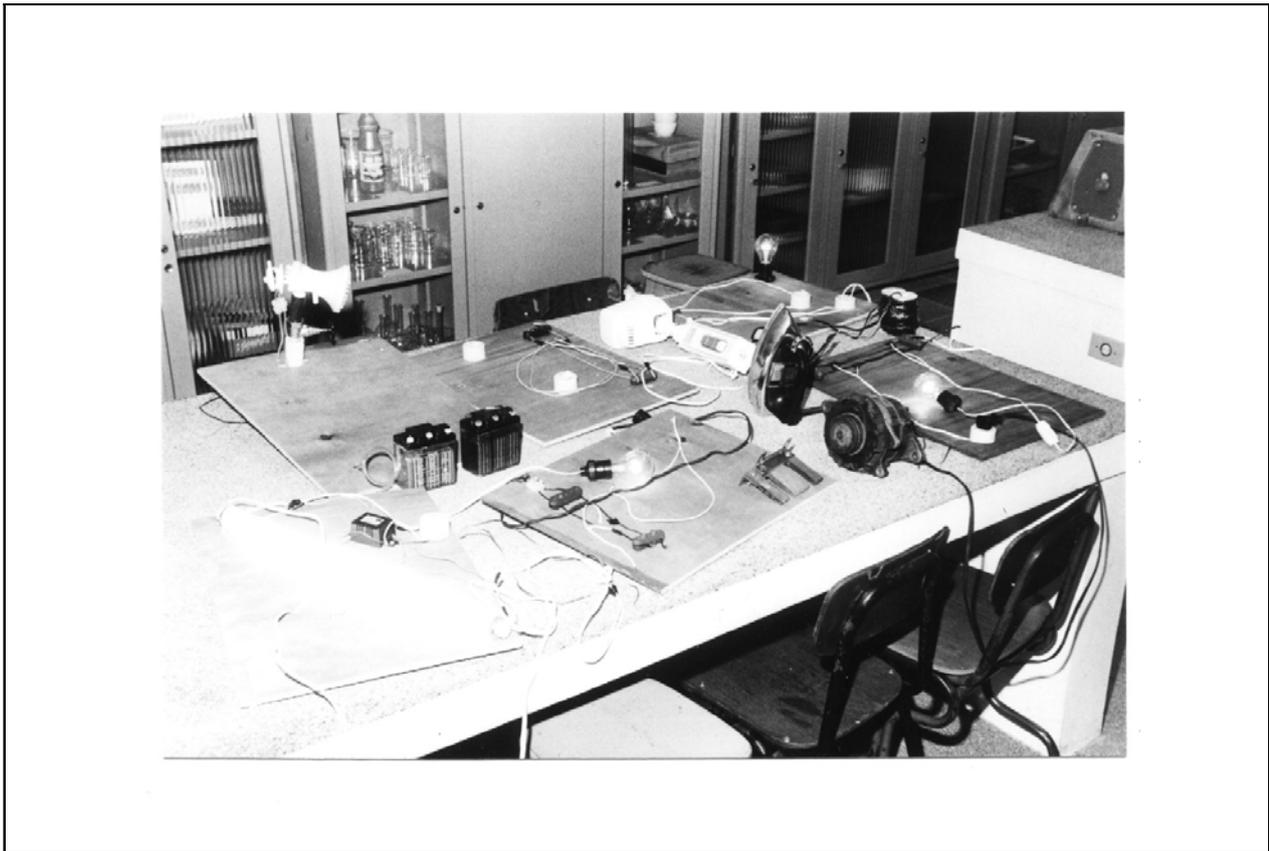


Figura 7.1: Fotos das plataformas construídas pelos alunos.

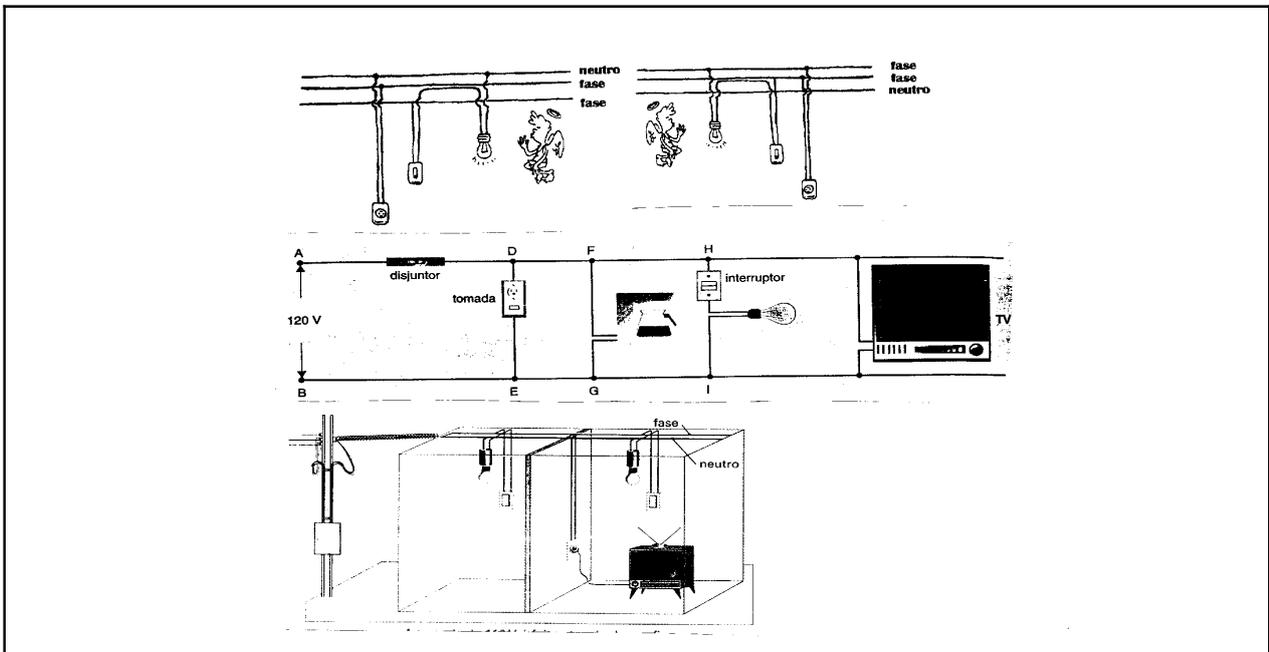


Figura 7.2: Diagramas de instalações elétricas contidas nos livros didáticos (GREF, 1998; Máximo – Alvarenga, 1997; Gonçalves – Toscano, 1997).

Cada módulo, montado sobre a plataforma de madeira, deveria possuir iluminação, fiação elétrica necessária e pelo menos uma tomada elétrica. Poucos alunos, que já tinham uma noção de circuito elétrico, apresentaram facilidade na montagem. A maioria não tinha idéia por onde começar. Fez-se necessário a consulta a alguns autores que tratavam, de forma didática, desse assunto, sem maiores aprofundamentos. Indicamos a eles a consulta a livros didáticos disponíveis no Colégio (GREF, 1998; Máximo – Alvarenga, 1997; Gonçalves – Toscano, 1997), os quais continham ilustrações e diagramas esquemáticos de instalações elétricas residenciais (figura 7.2). Os alunos teriam que fazer adaptações dos diagramas indicados ao objeto real que estavam manipulando. Mesmo assim, foi necessária uma intervenção expositiva.

Resolvidas as principais dúvidas e feitos os principais alertas de segurança, os alunos prosseguiram com suas montagens.

Os critérios de escolha dos aparelhos se pautaram primeiramente pelo vínculo com a realidade vislumbrada pelo aluno; segundo, pela facilidade de aquisição; e em terceiro lugar, procuramos escolher dispositivos menos complexos, pois o nível de compreensão dos alunos é elementar em relação aos aparelhos elétricos.

Abaixo transcrevemos os relatos dos alunos, comentados trecho a trecho:

Bom, no primeiro dia, nós desmontamos o chuveiro. A PA e o professor queriam abrir onde não abria, quebramos a parte de cima do chuveiro e agora não encaixa; levamos duas aulas para descobrir a posição verão e inverno. (AC, GD e PA).

A equipe demonstrou bastante interesse, mas também grande dependência da palavra do professor. Era evidente a expressão de frustração quando o problema lhes era devolvido para que discutissem entre si. Percebe-se uma tendência à busca de respostas prontas. Mesmo assim, elas continuaram a explorar o objeto, sem atentar para alguns detalhes importantes. Pode-se perceber isso quando elas conectaram o chuveiro a um “plugue macho” inadequado. As informações contidas no plugue indicavam que a corrente máxima que ele poderia suportar era de 10 ampères e o chuveiro, que também continha informações sobre suas características, demandava, quando ligado à tensão nominal, uma corrente de 25 ampères. Procuramos apontar o problema através de indicações indiretas. Por fim, os integrantes da equipe acabaram compreendendo que, da forma que fizeram, haveria problemas de aquecimento no “plugue”, devido ao excesso de corrente elétrica em relação à especificada pelo fabricante.

Como os módulos deveriam ser interligados, solicitamos que a equipe criasse um meio para que isso pudesse ser feito. Dissemos que as outras equipes estavam utilizando plugues

machos para efetuar essa ligação. A equipe havia ligado o chuveiro a um conector adequado à corrente elétrica demandada por ele e desse conector deveria sair a ligação para outro módulo. A exemplo das outras equipes, recolocaram o plugue, sem nenhuma contestação. A propósito disso, comentaram:

Na outra aula, a AC ficou na dúvida de como é que nas aulas anteriores tentamos colocar o plug de 10 A diretamente no fio do chuveiro e constatamos que não daria certo porque o chuveiro exigia 25 A, e agora colocamos o mesmo plug. Ela pensou, e não comentou, que ela achava que o conector agiria como num transformador agindo sobre a corrente. (AC, GD e PA).

Percebe-se novamente uma tendência a privilegiar a palavra do professor, mesmo que ela venha a contrariar a lógica. Bernardo (2000) atribui esse privilégio à falta de uma “cultura de argumentação”, ou seja, o aluno é educado apenas para reproduzir, em detrimento da argumentação para defender idéias, fundamentado pela lógica.

É interessante notar também que a concepção de que o “conector agiria como um transformador, agindo sobre a corrente” pode estar relacionada à construção de um modelo alternativo sobre o funcionamento do dispositivo, atribuindo tal “transformação” a causas misteriosas ou inexplicáveis, conforme verificado em Tagliati (1991, p.86).

A outra equipe de alunos, formada por IR, TC, KP, CG e SD, trabalhava com a instalação de uma lâmpada fluorescente, em conjunto com uma incandescente. No caso da lâmpada fluorescente, foi necessária uma intervenção do professor, pois, embora as componentes da equipe já possuíssem a noção teórica de circuito elétrico, a relação com o objeto real ficou prejudicada em parte pela posição física dos fios condutores. Podemos notar aí que as alunas não conseguiram articular adequadamente os diagramas representativos dos circuitos elétricos com o objeto em si, o que pode indicar uma lacuna no que se refere à representação da realidade através da linguagem simbólica própria da teoria eletromagnética. Em outras palavras, o aluno pode ter aprendido a utilizar a simbologia dos circuitos, mas por algum motivo não consegue estabelecer a relação dessa simbologia com o objeto que representa, focalizando sua aplicação em si mesma.

Em determinada ocasião, surgiu a dúvida sobre o local onde deveria ser instalado o interruptor. Sugerimos que elas experimentassem diversas configurações. Em duas dessas configurações houve o efeito desejado, ou seja, a interrupção da corrente elétrica e o conseqüente desligamento da lâmpada. Em outra configuração, o interruptor, quando fechado, iria provocar um curto-circuito (figura 7.3-a). Além disso, contestamos uma das ligações e lançamos dúvida sobre a outra. A contestação foi feita devido ao fato de o interruptor desligar apenas a lâmpada, sem

desligar o reator (figura 7.3-b). Perguntamos aos alunos se isso poderia ser feito e quais seriam as conseqüências. Como elas já haviam experimentado, disseram que daria certo, pois a lâmpada estava sendo desligada. Entretanto, um deles disse que, mesmo quando a lâmpada era desligada, o reator continuaria consumindo energia elétrica. Diante disso, essa configuração foi abandonada. Na outra configuração, questionamos se o interruptor poderia ser ligado no fio de “entrada” (figura 7.3-c) ou no de “saída” (figura 7.3-d). A pergunta foi formulada propositadamente dessa maneira, buscando verificar se havia a concepção de “fluido elétrico” entrando no aparelho e fazendo-o funcionar, ou seja, não haveria circuito elétrico. De fato, tal concepção se verificou nas declarações do grupo, segundo as quais se o interruptor fosse ligado ao fio de “saída”, a lâmpada continuaria funcionando, mesmo quando o interruptor era desligado. Então, foi sugerido que o interruptor fosse ligado tanto no fio de “entrada”, quanto no de “saída”. Diante da verificação de que tanto em um quanto no outro fio, o efeito era o mesmo, os alunos viram sua concepção abalada. Entretanto, não acreditamos que a idéia de circuito ficou bem clara para essa equipe.

Merece destaque a constatação dessa equipe de uma situação que ocorreu com a lâmpada incandescente:

Quando uma lâmpada incandescente queima, os fios visualmente metálicos de dentro da lâmpada se arrebentam; então a corrente não passa por aquele local. (IR, TC, KP, CG e SD).

Pode-se notar nessa afirmação uma tendência à localização da corrente elétrica em um determinado trecho do circuito. Em outras palavras, pode-se denotar que a corrente não passaria somente “naquele local” (no caso, o filamento), passando nos demais elementos do circuito, o que vem de encontro ao que afirmou Tagliati (1991, p.85) quanto ao que chamou de “eletricidade localizada”.

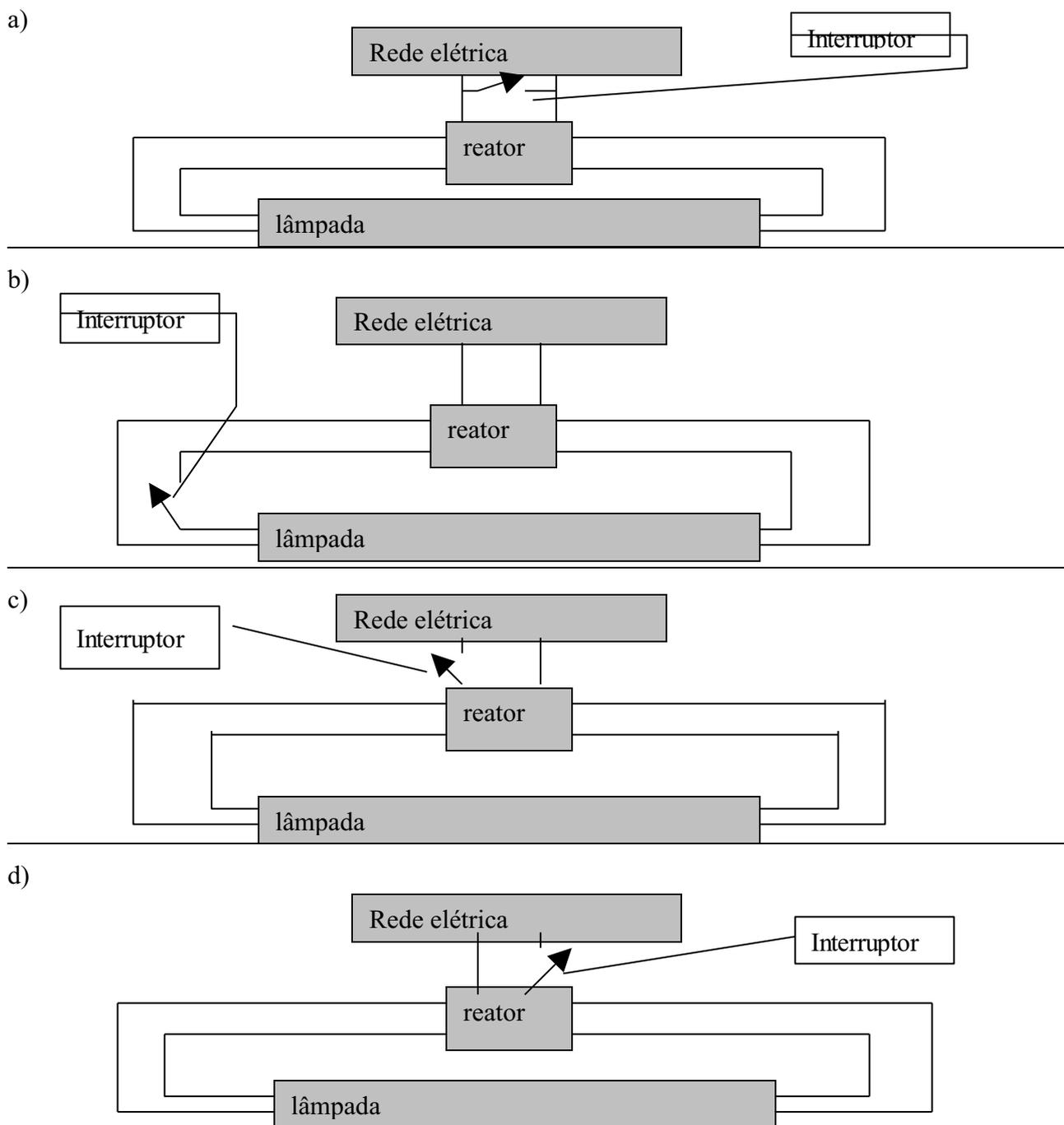
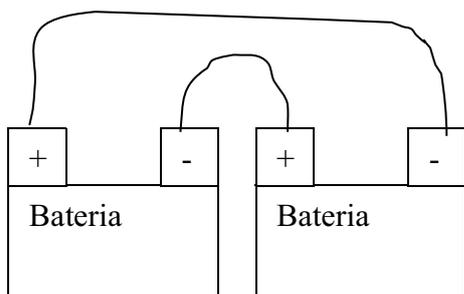


Figura 7.3: Diagramas demonstrando as ligações elétricas propostas pela equipe formada por IR, TC, KP, CG e SD.

A outra equipe, composta pelos alunos AR, ET e RD, teve como sugestão de problema a construção de um gerador de energia elétrica, que utilizasse energia mecânica. Devido à falta de alguns elementos necessários, não foi possível tal construção. Entretanto, foi atribuída a essa equipe a tarefa de auxiliar a equipe que trabalhava com baterias de motocicleta, equipe esta composta por DL e KC.

Os alunos da equipe receberam a incumbência de, inicialmente, fazer funcionar, a pleno brilho, uma lâmpada de farol de automóvel, cuja tensão nominal de trabalho é de 12 volts, utilizando-se duas baterias de motocicleta, cada uma fornecendo 6 volts entre seus terminais. A questão principal a ser discutida era de que maneira deveriam ser ligadas as duas baterias de forma a fornecer a tensão necessária para acender a lâmpada a pleno brilho.

a) ligação em curto circuito (“soltava faíscas”)



b) ligação em série (acendia a lâmpada)

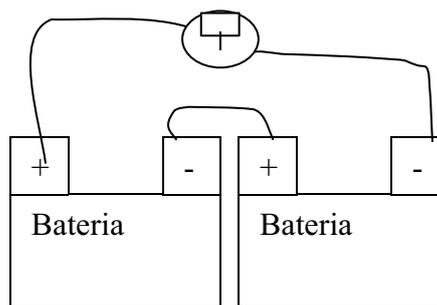


Figura 7.4: Ligações elétricas das baterias experimentadas pela equipe composta por DL e KC.

A equipe foi indagada sobre o conhecimento de ligações em série e paralelo, ao que responderam afirmativamente. Entretanto, não foram capazes, ao menos inicialmente, de aplicar esse conhecimento. Um dos motivos da inércia da equipe frente ao equipamento explorado era o receio de que ele era potencialmente perigoso e que os fios “davam choque” ao serem tocados. Incentivada a experimentar algumas configurações de ligação, a equipe finalmente iniciou a exploração. Porém, logo em seguida, diante da formação de uma centelha de curto-circuito em uma das configurações tentadas, manifestaram o mesmo temor. Foi então que a equipe formada por AR, ET e RD, informou que estava sendo fechado o circuito sem que houvesse “alguma coisa” para consumir a energia e, por isso, “soltava faísca” (figura 4-a).

Finalmente, com o auxílio da equipe AR, ET e RD, DL e KC conseguiram cumprir a meta antes estipulada (figura 4-b). Percebemos que, apesar de já terem estudado os conceitos relacionados aos circuitos elétricos, DL e KC demonstraram pouca habilidade em articular o conhecimento com o qual já haviam tomado contato e o objeto real que lhes era apresentado. Em parte, tal fato se deve a um certo desinteresse pelo assunto tema das intervenções didáticas, o que foi evidenciado pelas constantes ausências de DL e KC nos encontros.

Mostrando-se mais à vontade em relação à manipulação dos aparelhos, os alunos

AR, ET e RD construíram um circuito elétrico completo, para acender uma lâmpada e alimentar uma tomada elétrica (figura 7.5).

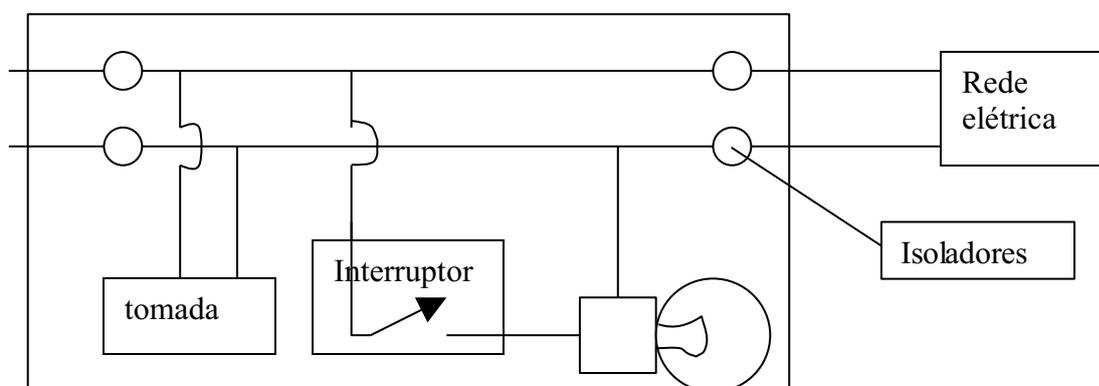


Figura 7.5: diagrama das ligações elétricas efetuadas pela equipe de AR, ET e RD.

Notando a falta do interruptor, os mesmos tomaram a iniciativa de retirar o interruptor de um dos banheiros da escola para utilizarem em sua montagem. Encaramos o fato como um indicativo da habilidade dos alunos dessa equipe em manipular equipamentos elétricos. De fato, os componentes da equipe declararam que tinham certo conhecimento de instalações elétricas e que a tarefa seria trivial. Entretanto, apesar da habilidade em manipular o circuito elétrico, os alunos não conseguiam articular bem os conceitos de eletromagnetismo envolvidos, sendo que as concepções manifestadas pela equipe denotavam existência de um modelo de “fluido elétrico”, ou seja, que havia uma espécie de sentido preferencial para a corrente elétrica que, segundo eles, “fluía” do fio “fase” para o fio “neutro”.

Encerramos esta etapa, fazendo uma discussão sobre os circuitos que os alunos montaram e tirando deles algumas percepções e impressões sobre as atividades. De maneira geral, eles acharam bastante interessante essa abordagem, chamada por eles de “aprender na prática” o que vêm apenas em teoria. Mesmo assim, ainda mostravam-se preocupados com questões relacionadas ao conteúdo e à cobrança do assunto em provas.

Na etapa seguinte da investigação, deixamos as equipes de alunos com o seguinte problema:

A Câmara de Gestão da Crise de Energia Elétrica resolveu determinar que as Companhias Distribuidoras de Energia Elétrica abaissem em 5% a tensão da rede elétrica, esperando, com isso, uma economia da ordem de

2% no consumo de energia elétrica. Será que esta medida vai realmente atingir o objetivo esperado?

Até então, discutimos superficialmente sobre o assunto e os alunos, juntamente com o professor, efetuaram um cálculo de potência de um determinado aparelho elétrico submetido a uma tensão 5% menor que a usual. O tratamento do problema lançado foi feito através de um exercício de *ilha de racionalidade*, conforme Fourez (1997) e Alves Filho (2001), realizado durante os quatro encontros ocorridos no mês, quando foram discutidos aspectos teóricos e práticos referentes à redução de tensão determinada pelo problema.

Inicialmente, discutimos com os alunos as possíveis conseqüências vislumbradas, tendo por base os conhecimentos de caso já vivenciados por eles. Foi cogitada uma situação que já havia sido discutida: o caso da lâmpada cuja tensão nominal de funcionamento é 220V ligada a um circuito cuja tensão seja de 127V. Entretanto, no caso a que se refere o problema, a tensão nominal do aparelho sob análise é de 127V e o mesmo será ligado a uma tensão de, aproximadamente, 120V (o que corresponde a aproximadamente 5% de decréscimo em seu valor).

Da mesma forma como foi feito no caso anterior, calculamos, para uma lâmpada, qual seria a redução de potência experimentada se o valor da tensão fosse de 120V (e não 127V). Na tabela abaixo podemos constatar a metodologia de cálculo utilizada

Tabela 7.2: Comparação da potência dissipada por uma lâmpada de 150W – 127V – quando ligada a tensões de 127V e 120V.

Tempo de uso (h)	Potência da lâmpada (W)	Tensão aplicada ao filamento (V)	Corrente que circula pelo filamento (A)	Resistência do filamento* (V/A)	Energia (Wh)	Energia/mês (kWh)	% redução de consumo
5	150,00	127,00	1,18	107,53	750,00	22,50	
5	133,92	120,00	1,12	107,53	669,60	20,09	10,72

Observação: no experimento, consideramos o mesmo valor de resistência para o filamento nas duas condições de funcionamento. Apesar disso, devemos estar cientes que o filamento da lâmpada varia sua resistência com a temperatura. Mesmo assim, podemos considerar que, entre as duas condições de funcionamento a temperatura apresenta pequena variação.

A potência expressa na segunda linha da tabela (~133,92W) foi calculada tendo por base a nova tensão (120,00V) e a nova corrente (~1,12 A), considerando que a resistência elétrica da lâmpada permanece a mesma.

No caso, a energia elétrica mensalmente consumida pela lâmpada ligada em 120,00V foi cerca de 10,72% menor que se a lâmpada fosse ligada em sua tensão nominal de funcionamento.

O nível de iluminação proporcionado pela lâmpada nessa nova configuração foi discretamente menor, sem comprometer o padrão de visibilidade obtido a partir da configuração anterior.

A partir do raciocínio expresso nesse exemplo, pedimos aos alunos para que procedessem uma análise similar de outros aparelhos elétricos, buscando constatar se ocorreriam, além do benefício do menor consumo, prejuízos decorrentes da ligação de tais aparelhos a tensões menores que a nominal.

Para a parte experimental da resolução do problema, foi utilizado um transformador (figura 6) que, além dos 127V da rede elétrica, fornecia tensões de 118V, 107V e 12V, todas em corrente alternada, semelhante ao tipo de corrente disponível na rede elétrica.

Além da lâmpada, os alunos puderam observar também o funcionamento de alguns aparelhos. O chuveiro e o ferro de passar roupa não puderam ser ligados ao transformador devido à alta potência dissipada por tais aparelhos, o que poderia comprometer a integridade física do dispositivo experimental.

Na tabela 7.3, procuramos coletar as impressões que os estudantes manifestaram ao experimentarem ligar os aparelhos às tensões fornecidas pelo transformador. Apesar de não aparecer no levantamento inicial, a furadeira, que estava sendo usada como ferramenta de montagem, foi colocada no experimento por sugestão dos próprios alunos. Até então, ela estava servindo apenas como ferramenta para a montagem das plataformas.

Tabela 7.3: Características de funcionamento de aparelhos elétricos em tensões diferentes segundo a visão dos estudantes pesquisados.

ligados em: Aparelho	127V	118V	107V	12V
Lâmpada incandescente	<i>Funcionamento normal</i>	<i>Brilho um pouco abaixo do normal, sem comprometer a iluminação</i>	<i>Brilho menor que a situação anterior, mas sem comprometimento da iluminação</i>	<i>Não acende</i>
Lâmpada fluorescente	<i>Funcionamento normal</i>	<i>Funcionamento normal</i>	<i>Funcionamento normal</i>	<i>Não acende</i>
Furadeira elétrica (motor)	<i>Funcionamento normal</i>	<i>Rotação um pouco reduzida</i>	<i>Rotação menor que a situação anterior</i>	<i>Não gira, apenas emite um ruído.</i>



Figura 7.6: Transformador utilizado no experimento. O dispositivo mostrado na figura era originalmente um estabilizador de tensão elétrica, utilizado para a ligação de equipamentos de informática. A parte de estabilização automática, constituída de um circuito eletrônico foi retirada e foram aproveitadas as derivações do transformador interno.

Com esta atividade experimental os alunos puderam constatar os efeitos práticos da redução da tensão da rede nos aparelhos, prevista através do cálculo anteriormente efetuado.

Devido à similaridade de funcionamento, o ferro de passar e o chuveiro foram relacionados à lâmpada incandescente. Contudo, eles atestaram que as conseqüências desse novo regime de funcionamento poderiam não ser tão favoráveis, como aconteceu com a lâmpada, conforme podemos notar na transcrição de um dos relatórios, de autoria da equipe formada por AC, GB e PA:

“Nosso aparelho o chuveiro é baseado no efeito Joule da corrente elétrica. De acordo com a fórmula $P = u \cdot i$ se diminuirmos a tensão, o chuveiro funcionará com menos potência e momentaneamente será mais econômico. Mas se formos analisar todo o funcionamento, veremos que com menor

potência ele não esquentará mais como antes. Vai necessitar usar menos água, para que ela fique na mesma temperatura que o volume anterior. Então automaticamente dá para perceber que com um volume menor, as pessoas ficarão mais tempo no chuveiro, revertendo o lucro anterior, podendo até causar prejuízos, pois poderá aumentar o consumo de energia. E como o chuveiro possui um dispositivo que impede que ele funcione com falta de água, utilizando ele por tempo determinado com diminuição do volume de água poderá causar danos a sua estrutura.”

A equipe formada por DE, FA, JP e MR analisou o funcionamento do ferro de passar roupa, atestando um problema similar ao do chuveiro, chegando à seguinte constatação:

“Em nosso estudo sobre esta questão, surgiram várias dúvidas sobre a eficiência do plano de diminuição da tensão. Alguns acharam que não iria adiantar, outros que iria dar na mesma e, alguns, que iria economizar. No caso das lâmpadas, até economizaria, pois o brilho não diminui. Mas os outros aparelhos precisam ficar mais tempo ligados para realizar a mesma coisa que realizariam com sua potência normal. O ferro de passar roupa, por exemplo, precisaria ficar mais tempo ligado, já que sua potência diminuiria, conseqüentemente, a temperatura também diminuiria, e demoraria mais para desamassar a roupa. Portanto, não é válida a redução em 5% na tensão, pois não haverá economia e, muitas vezes, se gastará mais. Além disso, muitos aparelhos com sua potência reduzida, podem vir a queimar.”

Esses dois relatos, apesar de parecerem expressar uma compreensão mais aprofundada do assunto, simplesmente se constituem em construções baseadas mais nas idéias provenientes do discurso do professor do que em idéias próprias, fruto de uma aprendizagem significativa. De fato, esperava-se que os alunos pudessem compreender melhor as conseqüências de um rebaixamento da tensão elétrica da rede. No entanto, tal compreensão ficou aquém do esperado. Constatamos esse problema quando pedimos aos alunos para que redigissem cartas destinadas à Câmara de Gestão da Crise de Energia. Com base nos relatórios, foi solicitado para que os alunos construíssem uma argumentação em torno das vantagens e desvantagens da medida que, hipoteticamente, seria tomada por aquele Órgão Governamental.

Apesar de os relatórios terem sido razoavelmente construídos, nenhuma equipe conseguiu apresentar argumentos consistentes em relação ao assunto. Na tentativa de entender os motivos que levaram a esse resultado, levantamos algumas suposições, algumas delas passíveis de verificação através de instrumentos mais específicos, outras evidenciadas pela observação das atitudes manifestadas pelos alunos:

- i) pouca habilidade com recursos computacionais; em vez de escrever a punho, os alunos foram convidados a redigir a correspondência nos computadores da sala de informática da Escola; observou-se que muitos deles não tinham grande familiaridade com o equipamento, o que se constituiu um obstáculo para a redação;
- ii) interesse pelo problema não era muito significativo; isto talvez se deva ao fato de que os alunos julgaram que a medida governamental não os afetaria significativamente, pois eles não conseguiram vislumbrar conseqüências além das tratadas em laboratório;
- iii) há que se considerar, também, que esses alunos foram submetidos, em toda sua vida escolar, a um processo de “adestramento”, durante o qual tanto perguntas quanto respostas eram sempre fornecidas pelo professor; a evidência dessa suposição é o fato de que os alunos sempre esperavam que o professor desse “a palavra final” sobre a investigação; parte do que está expresso nos relatórios provém dessa “última palavra”, evidenciando a dependência desses alunos da figura de detentor do conhecimento que é relacionada ao docente;
- iv) foram, talvez, poucos os momentos em sua vida escolar durante os quais os alunos foram incentivados a uma atividade verdadeiramente investigativa; prova disso é que muitos dos denominados “trabalhos de pesquisa escolar” não passam de meras cópias de textos de livros e enciclopédias; falta-lhes um problema para resolver, algo que os faça buscar o conhecimento para servir como ferramenta de resolução;
- v) embora exaustivamente abordado e discutido, o conhecimento científico, que poderia ser utilizado para a compreensão do funcionamento dos aparelhos e resolução dos problemas afetos a eles, não foi adequadamente articulado, mesmo diante de demonstrações práticas; deve-se considerar que as aulas de física, além de curtas e pouco freqüentes, estão temporalmente distantes na semana, o que pode contribuir para um certo “esquecimento” por parte dos alunos;
- vi) contudo, a questão mais preocupante é a falta de argumentação que pode ser atestada pelos textos das cartas produzidas pelos alunos; em alguns deles, apenas se dignaram a repetir exemplos ilustrativos que foram dados durante a tentativa de articulação entre teoria e problema; outros apenas citaram que suas experiências de laboratório “comprovaram” que o rebaixamento da tensão proposto pelo problema não teria efeitos significativos, sem, no entanto, apresentar, defendendo seu ponto de vista, uma argumentação razoável, fundamentada nos conceitos científicos que foram estudados ou, pelo menos, descrevendo detalhadamente os detalhes do experimento que possam corroborar suas afirmações.

8. Considerações sobre a fase preliminar da pesquisa

Diante das constatações expostas no item anterior, podemos inferir que esses estudantes estariam na situação que Winner (apud Bazzo, 1998, p.125) chama de “sonambulismo tecnológico”. De fato, ao interagirem de maneira tão superficial e dependente com um objeto que, em primeira análise, está presente em sua experiência cotidiana, os alunos passam a impressão de estarem pouco preocupados com tais questões, que interferem de maneira direta ou indireta na sociedade em que vivem. Em se perpetuando uma atitude passiva dos estudantes como a que evidenciamos até agora, eles serão futuros cidadãos “conformados”.

Segundo Bazzo (1998), “a tecnologia, com maiores ou menores impactos, tem conformado nossa vida. Estamos à mercê de sistemas interconectados, transistores, *bytes*, *hardware*, *software* e, o que é mais grave, estamos nos sentindo subservientes à sua autoridade, moldando-nos ao seu funcionamento” (p.124-125). Bazzo (1998) defende a idéia de que os cidadãos devem “acordar” para refletir sobre a situação em que se encontram, pois a Tecnologia, através de seus processos e produtos, “vem entupindo a sociedade de aparatos tecnológicos que na maioria das vezes os usuários nem sequer imaginam como operar” (p.128). Assim, “grande parcela dos cidadãos os adquire mas geralmente ignora suas características de funcionamento, os seus riscos, as suas vantagens ou outras possíveis conseqüências ou inconvenientes” (p.128).

Portanto, julgamos bastante oportuna esta investigação, a partir da qual podemos evidenciar que a metodologia até agora empregada para se ensinar Física não tem surtido um efeito significativo no que diz respeito à instrumentalização do indivíduo para compreender a realidade tecnológica à sua volta.

Assim, investigar a possibilidade de ensinar Física para estudantes de Ensino Médio utilizando objetos tecnológicos do cotidiano surgiu como principal meta deste estudo. Entretanto, como estipulamos objetivos mais específicos, é preciso estabelecer as relações entre os dados levantados no campo de investigação com os mesmos, que foram apresentados no item “Metodologia”.

Em relação ao primeiro objetivo, pudemos atestar uma certa familiaridade dos alunos com os objetos tecnológicos utilizados nas intervenções. Já o reconhecimento da importância das grandezas e unidades de medida utilizadas para caracterizar os aparelhos só ficou bem configurado após algumas intervenções teórico-práticas realizadas no desenvolvimento da proposta.

Sobre a habilidade de resolução de problemas, tendo por ferramentas os conhecimentos científicos adquiridos no processo, não observamos uma melhoria significativa.

Diversos fatores e obstáculos concorreram para que não houvesse uma fluência razoável do processo de tratamento dos problemas, dando margem a conclusões apressadas e sem o devido aprofundamento. Este aspecto em particular nos leva a criticar a fragmentação excessiva da matriz curricular do Ensino Médio, a qual reserva apenas dois momentos de cinquenta minutos por semana para as aulas de física, o que se configura em um tempo bastante exíguo para a realização de atividades de caráter investigativo. O que se poderia sugerir é que houvesse uma certa flexibilidade nessa matriz curricular, de modo que as atividades pudessem ser levadas a termo sem interrupções.

O terceiro objetivo está relacionado com a construção de modelos explicativos para a resolução dos problemas. Observamos, neste aspecto, uma tendência a vincular seus pareceres e conclusões à palavra do professor, atestando sua significativa dependência da palavra de alguém que deveria figurar no processo apenas como orientador dos procedimentos. Os modelos explicativos próprios dos alunos não foram claramente manifestados, sendo possível divisar apenas alguns indícios de sua existência nos textos dos relatórios e respostas a questionários. Há que se destacar que a tradição de formação desses alunos sempre foi alicerçada na dependência da palavra final do professor, vista como um poderoso instrumento de distinção entre o certo e o errado. Pudemos notar que os alunos tidos como “indisciplinados” pelo sistema escolar vigente foram os que apresentaram maior habilidade prática, deixando transparecer em suas atitudes a existência de um modelo explicativo um pouco mais elaborado que os demais alunos. Esses alunos manifestaram um comportamento de ruptura com o sistema vigente, buscando, mesmo que inconscientemente, um processo de ensino que valorizasse mais o seu potencial criativo.

O quarto objetivo está intimamente relacionado com o terceiro, de tal maneira que o que foi observado em relação aos modelos explicativos, ocorreu também com as teorizações. Via de regra, uma concepção mais elaborada sobre determinado fenômeno esbarrava no obstáculo representado pela dificuldade de articulação de idéias e de argumentação consistente. Entretanto, observou-se uma redução dessa dificuldade ao longo do processo, tanto que, no questionário final, vários alunos fizeram construções textuais bastante interessantes, embora pouco articuladas com os fundamentos estudados durante a aplicação da proposta.

Devido a diversos obstáculos de ordem temporal, organizacional do sistema escolar e de interesse dos alunos, houveram algumas falhas no desenvolvimento da *ilha de racionalidade* (FOUREZ, 1997) que realizamos a princípio. Entretanto, conforme descrevemos anteriormente, os alunos puderam experimentar pelo menos uma amostra de uma cultura investigativa e problematizadora, relacionada à educação por projetos, que seria o primeiro passo para se implantar um sistema de ensino baseado nessa opção educacional, utilizando a metodologia das *ilhas de racionalidade* como eixo principal da ação pedagógica.

Há que se notar que a falta tempo foi um fator decisivo para o desenvolvimento precário desse exercício de resolução de problemas locais, o que nos leva a sugerir que, em se fazendo uma opção por um ensino de caráter mais investigativo, a matriz curricular seja revista em seus aspectos de flexibilidade e adequação à abordagem por projetos.

Mesmo diante dos obstáculos apontados, procuramos relacionar os quatro objetivos da ACT selecionados no item 2 (escolha do referencial teórico e articulação com a pesquisa) com os resultados desta fase da pesquisa:

- a) Utilizar conceitos científicos e integrar valores e saberes para adotar decisões responsáveis na vida corrente.

Como pudemos constatar durante o exercício de ilha de racionalidade, a habilidade dos alunos em atingir esse objetivo ficou aquém do esperado, pois, como dissemos anteriormente, suas conclusões acabaram ficando fortemente vinculadas à palavra final do professor. Contudo, os alunos tentaram aplicar os conceitos científicos no processo de construção dos experimentos. Embora isso não indique uma habilidade de utilizar o conhecimento para adotar decisões responsáveis, consideramos que, num processo de ensino formal e de maior duração, tal objetivo pode ser atingido.

- b) Conhecer os principais conceitos, hipóteses e teorias científicas, e ser capaz de aplicá-los.

A aplicação dos conceitos científicos por parte dos estudantes ocorreu de uma forma um tanto confusa. Isso se deve ao fato de que o contexto cultural em que esses estudantes vivem já incorpora alguns termos científicos e técnicos, apesar de não estarem estruturados como no discurso científico. Dessa forma, a idéia de aplicação dos conceitos expressa pelos alunos aparece bastante influenciada pelo seu universo cultural, consistindo num obstáculo para a aquisição de um discurso mais próximo do científico.

- c) Compreender as aplicações das tecnologias e as decisões implicadas na sua utilização.

As tecnologias estão cada vez mais presentes no dia a dia dos cidadãos, através de diversos produtos que são comercializados ou disponibilizados para seu uso. Contudo, o processo de produção e a construção dos produtos da tecnologia crescem em complexidade à medida em que novas soluções vão sendo incorporadas. Isso acaba por afastar do cidadão leigo a possibilidade de conhecer e dominar os detalhes técnicos e, conseqüentemente, fica cada vez mais difícil para esse cidadão participar processo decisório relacionado a essas tecnologias. Apesar disso, consideramos que, mesmo dotados de uma complexidade intrínseca, os objetos tecnológicos podem ser

compreendidos, pelo menos superficialmente, através da aplicação de conceitos científicos, devidamente relacionados às aplicações tecnológicas. A decisão de prosseguir na abertura das “caixas pretas” pode ser delegada ao cidadão.

- d) Conhecer as fontes válidas de informação científica e tecnológica e saber recorrer a elas quando precisa tomar decisões. (FOUREZ, 1997, p.25-36).

Essa é uma condição básica para que o cidadão possa tomar a decisão de ir além da visão superficial da tecnologia. Em nosso estudo, durante a intervenção didática realizada com os objetos tecnológicos, procuramos apresentar aos alunos algumas dessas fontes de informação. De fato, consideramos que não é necessário, nem produtivo, o aluno memorizar os conceitos, método geralmente utilizado por eles para “se defender” de provas e testes. O que julgamos necessário é a interação dos alunos com as fontes de conhecimento, de forma que, quando precisarem, saibam recorrer a elas. Devido à exigüidade do tempo para a realização desta investigação, não pudemos verificar se os alunos atingiram esse objetivo, pois seria necessário um lapso de tempo considerável entre a aplicação da proposta de ensino aqui apresentada e o surgimento de situações nas quais os estudantes pudessem recorrer às fontes de conhecimento. Acreditamos que isso exigiria uma mudança cultural na escola.

Diante desses apontamentos, seria necessário que o sistema educacional fosse estruturado de forma a priorizar aspectos como argumentação, imaginação, criatividade e habilidade de resolução de problemas, desde as primeiras séries escolares, fomentando uma cultura de não dependência da palavra do professor, visto que ele não é o detentor do conhecimento nem a escola é sua fonte. Um ensino ajustado com os avanços da sociedade humana, tendo sua matriz curricular atrelada aos fatos cotidianos, às realizações da ciência e da tecnologia, das artes e da literatura, da política, da economia, enfim, ao que é realmente relevante para se formar um cidadão crítico e consciente.

CAPÍTULO III – FASE FINAL DA PESQUISA

9. Fase final da pesquisa

Nesta fase, como já dissemos anteriormente, foram escolhidos outros sujeitos da pesquisa, pois os anteriores já haviam concluído o Curso de Ensino Médio, não possibilitando mais que fizessem parte desta nova tomada de dados. A exemplo dos anteriores, os sujeitos escolhidos para esta fase da pesquisa foram alunos da terceira série do Ensino Médio, turno vespertino, de um Colégio Estadual, na cidade de Ponta Grossa, Estado do Paraná. Trata-se de uma escola da Rede Pública de Ensino, mantida com recursos do Governo Estadual e da comunidade, através de sua APM (Associação de Pais e Mestres). Consideramos que seria importante realizar a pesquisa na mesma escola do grupo anteriormente investigado, pois, caso contrário, teríamos que nos balizar por outras diretrizes pedagógicas.

Pelo que foi declarado por parte dos alunos, todos conhecem os objetos tecnológicos que foram tratados durante a experiência didática, as lâmpadas elétricas, sendo que alguns já interagiram com tais objetos de forma mais técnica.

Para constituição dos dados da pesquisa utilizamos, conforme exposto na “Metodologia” (item 6), a observação participante, realizada durante o programa de atividades didáticas, bem como intervenções dialogadas com grupos, realizadas com as equipes de estudantes. O programa de atividades didáticas foi também considerado como um desses instrumentos. Entretanto, foram necessários também instrumentos para a detecção das representações iniciais dos alunos sobre os equipamentos por eles investigados, impressões e comportamentos diante deles. Dos diversos instrumentos possíveis escolhemos um que nos pareceu mais adequado a uma abordagem naturalística, ou seja, um instrumento que possibilitasse aos estudantes livre expressão sobre suas impressões e representações: solicitamos aos alunos que elaborassem um relatório das atividades experimentais com as lâmpadas. Com esses relatórios, foi possível realizar um mapeamento inicial de como os alunos entendiam as lâmpadas, seu funcionamento, questões relacionadas à sua produção e aos impactos ambientais inerentes a elas. Descartamos a aplicação do questionário inicial da fase preliminar pois focamos apenas um objeto de investigação: as lâmpadas elétricas.

O programa de atividades didáticas, durante o qual os alunos tiveram contato com os conceitos científicos envolvidos na explicação do funcionamento das lâmpadas elétricas, consistiu em leituras orientadas de textos que tratavam sobre os conceitos físicos envolvidos na explicação do funcionamento das lâmpadas e de conseqüências ambientais relacionadas a esses dispositivos, especialmente problemas de contaminação por mercúrio. Esses textos constam do

apêndice 1 e do anexo 1.

Os textos sobre conceitos físicos não traziam referência direta às lâmpadas, deixando para os alunos a tarefa de construir relações entre o conhecimento expresso em tais textos e a explicação do funcionamento das lâmpadas. A construção dessas relações pelos alunos era algo que, em princípio, era esperado, ou seja, era objeto de investigação neste trabalho de pesquisa. Entretanto, como veremos mais adiante na análise dos resultados, essas relações continuaram a ser construídas erroneamente do ponto de vista científico, pois as representações iniciais que os alunos construíram sobre as lâmpadas eram muito resistentes.

Os textos foram utilizados como base teórica para as atividades experimentais com as lâmpadas. Os alunos, enquanto interagiam com elas, buscavam na leitura do texto conceitos que pudessem esclarecer detalhes do seu funcionamento. Houve, porém, a necessidade de uma intervenção por parte da professora da turma com vistas a orientar a leitura dos textos.

As atividades experimentais auxiliadas pela leitura dos textos foram objeto de observação, assim como as atitudes e os procedimentos adotados pelos alunos no decorrer dos encontros programados.

Além dos resultados obtidos através da abordagem observacional participante, solicitamos à professora da turma para que repassasse os resultados de um instrumento de avaliação através do qual verificou a influência da referida abordagem na aprendizagem de conceitos físicos.



Figura 9.1: Modelos de lâmpadas utilizados nos experimentos realizados durante a intervenção didática.

10. Descrição das atividades didáticas da fase final da pesquisa

Descrevemos neste item detalhes sobre as abordagens experimentais realizadas pelos alunos, visando extrair suas representações sobre o funcionamento das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, bem como suas idéias em relação a prováveis impactos sociais e ambientais que esses dispositivos poderiam causar.

Procuramos desenvolver as atividades numa perspectiva de fusão entre os momentos pedagógicos enumerados por Gil-Pérez (1999), ou seja, aprendizagem de conceitos, prática de laboratório e exercícios de lápis e papel. Seguindo a estratégia indicada pelo autor, as abordagens experimentais foram desenvolvidas concomitantemente à busca de conceitos que pudessem fornecer uma explicação para o funcionamento dos dispositivos analisados, no caso específico, lâmpadas incandescentes e fluorescentes.

Inicialmente, apresentamos aos alunos os dispositivos: lâmpadas incandescentes e fluorescentes, pranchetas com interruptor, fiação conector e soquete (bocal onde será inserida a lâmpada). Foram dadas algumas explicações básicas para que os próprios alunos pudessem pôr em funcionamento seus aparatos experimentais.

Após as orientações iniciais, foi solicitado que os alunos inserissem a lâmpada incandescente no bocal, ligassem o conector à tomada de 127 volts e acionassem o interruptor para acender a lâmpada. Pedimos para que os alunos observassem todas as características relacionadas a essa lâmpada, tais como, brilho, cor, nível de iluminação (através de uma avaliação qualitativa), fidelidade das cores dos objetos, aquecimento do ambiente, entre outros que pudessem vir a ser notados. Além dessas características, solicitamos que os alunos discutissem sobre a questão do valor de compra dessa lâmpada, sua durabilidade e conseqüências do seu descarte no lixo comum.

Em seguida, solicitamos que os alunos repetissem o procedimento com as lâmpadas fluorescentes compactas.

Após essa atividade experimental, sugerimos aos alunos que discutissem sobre as lâmpadas, estabelecendo comparações entre ambas, procurando levantar a idéia do grupo sobre as vantagens e desvantagens de cada uma.

O passo seguinte de nosso trabalho foi entrevistar os alunos, buscando evidenciar suas representações e idéias em relação aos dispositivos com que tiveram contato na abordagem experimental.

10.1. Experimento com lâmpadas incandescentes

Na primeira abordagem experimental, os alunos tiveram a oportunidade de manipular lâmpadas incandescentes comerciais, projetadas para a tensão elétrica de 127 volts, com uma potência de 40 watts. A escolha desse modelo de lâmpada está relacionada com a possibilidade de se estabelecer uma comparação das mesmas com lâmpadas fluorescentes compactas de 7 watts, as quais, segundo o fabricante, teriam o mesmo poder de iluminação. Além disso, a baixa potência luminosa permite que os alunos possam observá-las sem grandes problemas de ofuscamento da visão, característicos de uma iluminação mais intensa.

O roteiro da atividade experimental é mostrado no quadro 10.1. Pretendíamos fazer com que os alunos tivessem uma diretriz de atividades para que pudessem organizar suas anotações. Refutamos a hipótese de fornecer aos alunos uma espécie de “receita de cozinha”, a qual direcionaria para um produto preconcebido. Avaliamos, através dessas anotações, a capacidade de descrição detalhada da situação apresentada aos alunos, como também obtivemos, através desses registros escritos, elementos para caracterizar as representações dos alunos sobre os referidos objetos tecnológicos.

Além das atividades propostas, foram feitas algumas demonstrações que, hipoteticamente, forneceriam pistas para a formulação de um modelo explicativo do funcionamento das lâmpadas.

Demonstramos, por exemplo, a incandescência de um pedaço de palha de aço ao ser percorrido por uma corrente elétrica. De antemão, foi dito para os alunos que os dois processos tinham algo em comum. Entretanto, solicitamos a eles que dessem uma solução para o fato da palha de aço “se consumir”. Durante a discussão, os alunos lançaram a hipótese de que o oxigênio do ar atmosférico seria o responsável pelo “consumo” da palha. A partir daí, conceberam uma função para o bulbo de vidro da lâmpada. Porém, questionados sobre o que haveria no interior do bulbo da lâmpada, não souberam responder conclusivamente, arriscando hipóteses que ali dentro poderia haver gás carbônico, já que a existência de oxigênio, componente do ar atmosférico, estava descartada.

Quadro 10.1: Roteiro de atividade experimental sobre lâmpadas elétricas apresentado aos alunos.

<p>Roteiro de Atividade Experimental sobre Lâmpadas Elétricas</p> <p>Prezados Alunos:</p> <p>Este roteiro de atividades faz parte de uma pesquisa que está sendo conduzida com o objetivo de estabelecer uma relação entre a Física ensinada na escola e algumas de suas aplicações tecnológicas.</p> <p>A colaboração de vocês para o bom andamento deste trabalho contribuirá significativamente para a busca de alternativas de melhoria do ensino da disciplina de Física.</p> <p>Portanto, pedimos que sigam as orientações abaixo para que este trabalho possa ser bem realizado. Anotem todos os detalhes em um relatório.</p> <p>Formem grupos de 5 ou 6 integrantes. Cada grupo deverá trabalhar com um equipamento. Tomem seus lugares nas bancadas e iniciem a atividade.</p> <ol style="list-style-type: none">1) Vocês tem à disposição pranchetas dotadas de um circuito elétrico preparado para a instalação de lâmpadas elétricas e outros dispositivos. Pedimos que vocês se familiarizem com o equipamento e verifiquem como ele deve ser ligado. Descrevam em seu relatório o equipamento, com todos os detalhes, inclusive os tipos de materiais envolvidos em sua construção, identificando sua função no circuito.2) Observem a lâmpada que lhes foi fornecida. Identifiquem seus detalhes construtivos, buscando entender como ela funciona. Anotem todos os detalhes, inclusive com diagramas (desenhos) se for necessário. Quais os materiais empregados na construção da lâmpada? Em suas opiniões, por que esses materiais foram escolhidos? Qual a função de cada um?3) Identifiquem o local onde deve ser conectada a lâmpada. Vejam como é o bocal por dentro e como está ligado no circuito. Identifiquem também as partes da lâmpada que farão o contato para que a lâmpada possa efetivamente funcionar. Respondam: qual(is) o(s) material(is) responsável(is) pela condução e pela não condução da eletricidade?4) Conectem a lâmpada ao bocal até estabelecer contato. Liguem o conector à tomada e acionem o interruptor, fazendo com que a lâmpada funcione. Caso sua prancheta não possua interruptor, a simples conexão com a tomada já acionará a lâmpada. Observem o funcionamento da lâmpada, procurando estimar o grau de iluminação a uma distância fixa (anotem o valor dessa distância pois no experimento com outro tipo de lâmpada essa distância deve permanecer a mesma). Avalie também a fidelidade das cores em comparação com o objeto iluminado à luz do Sol. Avalie também o aquecimento do ambiente provocado pelo funcionamento da lâmpada, estabelecendo uma distância fixa para essa avaliação, a qual será feita também com o outro tipo.5) Concluam o relatório, discutindo as vantagens e as desvantagens desse tipo de lâmpada, segundo suas opiniões. Por que será que esse tipo de lâmpada é considerado não econômico?6) Para finalizar a atividade, façam uma pesquisa de preço dos diversos tipos de lâmpada que se pode encontrar no mercado e procure saber as vantagens e desvantagens de cada uma delas.

Deixando em suspenso a questão de que tipo de gás existiria no interior da lâmpada, passamos à demonstração que, em hipótese, forneceria algumas pistas sobre a natureza do referido gás.

Para o experimento, construímos um gerador de alta tensão, composto de um

circuito eletrônico de oscilação ligado a uma “bobina” de ignição (utilizada em automóveis), o qual gerava uma tensão de aproximadamente cinco mil volts. Comunicamos aos alunos as características do referido dispositivo, enfatizando a sua tensão de trabalho. Quando questionados sobre o que aconteceria, alguns alunos disseram que se a lâmpada fosse ligada ali ela queimaria.

Colocando o gerador em funcionamento, iniciamos o experimento. Inicialmente, aproximamos do eletrodo da “bobina” a parte metálica de uma chave de fenda, obtendo com isso uma centelha de aproximadamente meio centímetro. Perguntamos aos alunos por que isso acontece. Suas respostas não foram muito conclusivas, mas alguns afirmaram que isso poderia ter algo a ver com os relâmpagos, sendo que, segundo ouviram falar, objetos de metal como a chave de fenda têm a capacidade de atraí-los

Na seqüência, tocamos um dos terminais da lâmpada no eletrodo da “bobina”, obtendo assim centelhas no interior da lâmpada, entre o filamento e o bulbo de vidro, exatamente nas posições em que era seguro pelos dedos. A previsão dos alunos de que a lâmpada iria queimar não se confirmou, o que lhes causou estranheza, pois eles já sabiam que, por exemplo, se ligarem uma lâmpada de 127 volts em uma fonte de tensão de 220 volts, essa lâmpada fatalmente será queimada, quanto mais se for ligada em 5 mil volts. Porém, eles perceberam o fato de que apenas um dos terminais era posto em contato com o eletrodo de alta tensão.

Os alunos puderam observar que as centelhas no interior da lâmpada eram maiores em tamanho que as obtidas no ar atmosférico, através da chave de fenda. Pedimos que os alunos registrassem esse fato para ser discutido posteriormente. Esperávamos que os estudantes relacionassem esse fenômeno com o funcionamento das lâmpadas fluorescentes, analisadas logo em seguida.

A seguir, os alunos passaram à realização do experimento, orientados pelo roteiro do Quadro 10.1, produzindo um relatório de suas observações, o qual, como já dissemos, serviu como instrumento para a constituição de dados.

Pudemos constatar que, devido ao fato de ter seus detalhes construtivos mais visíveis, os alunos conseguiram construir um modelo explicativo do funcionamento das lâmpadas incandescentes, orientados pelas pistas fornecidas. Entretanto, esse modelo não se preocupava com a explicação do fenômeno em seus aspectos mais intrincados.

No encontro seguinte, realizamos o experimento com as lâmpadas fluorescentes, aplicando o mesmo roteiro apresentado no Quadro 10.1.

10.2. Experimento com lâmpadas fluorescentes compactas

Seguindo o mesmo roteiro utilizado para a investigação das lâmpadas incandescentes, os alunos interagiram também com as lâmpadas fluorescentes compactas, através de um modelo que é oferecido em supermercados.

Antes de iniciar a prática com as pranchetas de circuito elétrico, chamamos a atenção dos alunos para o comportamento dessa lâmpada quando posta em contato com o terminal do gerador de alta tensão já utilizado no ensaio com lâmpadas incandescentes. Eles observaram que, diferente da lâmpada incandescente, a fluorescente compacta adquiria uma luminosidade semelhante à emitida em seu funcionamento normal, porém com menos intensidade. Pedimos a eles que lembrassem desse fato quando fossem expressar suas representações sobre o funcionamento da lâmpada. Apesar de já ter sido feita uma abordagem anterior, em que verificamos o mesmo fenômeno na lâmpada incandescente, novamente não observamos nenhuma referência que indicasse sua incorporação a seu modelo explicativo.

Em seguida, foram distribuídas a eles lâmpadas fluorescentes para que fossem fixadas no soquete em que antes haviam fixado a lâmpada incandescente. Foi solicitado especial cuidado para não pegá-las pelo vidro na hora de parafusá-las no soquete, pois a torção poderia quebrar o tubo da lâmpada.

Além das lâmpadas inteiras, em pleno funcionamento, foram passadas para os alunos duas lâmpadas quebradas, para que pudessem observar os detalhes construtivos internos. Entretanto, conforme foi declarado pelos próprios alunos, os detalhes construtivos da lâmpada incandescente pareceram mais evidentes do que da lâmpada fluorescente, pois a estrutura desta é mais complexa. Com isso, não se verificou a construção de um modelo explicativo plausível do funcionamento, ao contrário do que ocorreu com a lâmpada incandescente.

11. Análise dos relatórios

Para efeito de referência, os relatórios foram numerados aleatoriamente, sendo que a ordem dessa numeração não coincide com a que foi atribuída às equipes. Esses relatórios estão no anexo 3.

Os relatórios 1 a 3 foram produzidos pela equipe 2, formada pelos estudantes SCP, KCB, JLS, JMM e JAN. Embora apresentem concepções e modelos diferentes dentro da mesma equipe, preservam entre si traços comuns, como as funções atribuídas aos elementos das lâmpadas. Transcrevemos a seguir um trecho do relatório 1 que consideramos interessante analisar, tendo em vista as concepções que apresenta.

“Condução de eletricidade

Material para sua condução(): laminado (a sua sustentação), o qual poderia ser diferente, como por exemplo o plástico e até mesmo o metal.*

Obs.: É menos provável o uso do metal, pois pode haver um contato com os fios, causando uma alta condução de eletricidade (choque).

() provavelmente quiseram dizer “material para sua construção”.*

Fios condutores todos revestidos com plásticos, até mesmo plásticos prendidos com prego, bocal (sustentador de lâmpadas) contido em seu interior um alumínio, tomada com a finalidade principal de ligar as correntes elétricas, mas sem o interruptor de liga e desliga ele ainda não conduz eletricidade ao menos que esteja ligado, e por fim a lâmpada com seu objetivo de acender, em seu interior contém vários aluminios e também um elemento químico chamado “Tungstênio” (74 números atômicos, 184,0 massa atômica aproximadamente e 2, 8, 18, 32, 12 e 2 elétrons em suas camadas, seu símbolo é a letra “W”), o qual não é compatível ao ar, acho que é como na lei da física “Dois corpos não ocupam o mesmo espaço.

Seu revestimento é de plástico para interferência de cargas em sua parte externa. Contém uma espécie de alumínio em forma de espiral que é ligado a mais dois aluminios (podendo ser positivo ou negativo, não tenho certeza) o qual, quando o tungstênio entra em combustão ele acende ao contato do estanho com o bocal em uma distância.”.

A descrição da lâmpada continha um desenho com as seguintes legendas:

“Filamento que se acende devido a combustão do tungstênio. Alumínio condutor ao filamento. Plástico isolador do ar. Metal. Isolante. Estanho.”

Pudemos notar algumas concepções errôneas do ponto de vista científico nesse texto. Observamos a existência dos termos “alta condução” e “choque”, numa relação direta de causalidade, ou seja, segundo os autores do relatório, se a prancheta sobre a qual o circuito elétrico

foi construído fosse de metal, existiria o risco de ocorrer uma “alta condução”, o que ocasionaria um “choque”. A palavra “choque” empregada pelos autores do relatório não se refere à reação fisiológica de um organismo vivo à passagem da corrente elétrica, mas sim a algo que aparenta estar relacionado a curto-circuito, o que denota haver confusão entre os dois fenômenos.

Observamos também o fato de se denominar “alumínio” todo tipo de metal visto no interior da lâmpada, apesar de termos dito aos estudantes que a lâmpada utilizava o tungstênio na construção do filamento. O fato mais curioso é que eles assimilaram a idéia do tungstênio como sendo um elemento químico que estaria disperso no interior da lâmpada (descreveram inclusive suas características químicas), sendo o responsável pela incandescência do filamento, a qual os alunos denominaram “combustão”. Provavelmente, a idéia de combustão possa estar associada ao experimento realizado com a palha de aço.

Diante da confusão entre incandescência e combustão, lembramos aos alunos que esta última só ocorre quando há oxigênio, cuja presença no interior da lâmpada foi por eles mesmos descartada. Os alunos sugeriram ainda que a presença do tungstênio seria incompatível com o ar sob o argumento de que “dois corpos não ocupam o mesmo espaço”. Portanto, devido à presença do tungstênio, não haveria ar dentro do bulbo de vidro, o que explicaria o fato do filamento não se consumir, o que ocorreria se o interior da lâmpada fosse preenchido pelo ar. Em síntese, notamos a existência de um “modelo de combustão”, construído para explicar o funcionamento da lâmpada. Esse modelo identifica a incandescência do filamento como sendo produto da combustão do tungstênio sobre o filamento, supostamente constituído de alumínio, o que faria com que a lâmpada incandescente tivesse seu funcionamento muito parecido com o de uma vela.

Além disso, notamos que o bulbo de vidro foi chamado de “plástico isolador do ar”, demonstrando que os autores do relatório não conseguiram estabelecer diferenças entre os dois materiais, confundindo-os. Pode ser que essa confusão se deva ao fato de nunca terem manuseado uma lâmpada quebrada anteriormente, por receio ou até mesmo por falta de oportunidade.

Ainda sobre o relatório 1, surgiu um modelo interessante para explicar por que a lâmpada fluorescente apresenta maior durabilidade.

“A lâmpada fluorescente tem todos os componentes de uma lâmpada comum, tem algumas químicas a mais, seu tempo de iluminação é mais demorado para acender, pois a lâmpada incandescente é ligada diretamente ao alumínio condutor e o espiral, pelo contrário da fluorescente que é ligada indiretamente, são individuais.”

Nesse trecho, podemos notar que os alunos atribuíram à presença do reator entre o

bocal e a lâmpada o fato dela demorar mais para acender. Entretanto, não se arriscaram a atribuir uma função a esse reator e nem enfatizar a necessidade de sua presença para o funcionamento desse tipo de lâmpada.

Segundo os autores do relatório,

“a lâmpada fluorescente ela (sic) dura mais tempo em trabalho, pois ela possui menos átomos que demoram mais para seu atrito (sic), por isso ela ilumina menos.”

Explicando melhor: os estudantes atribuíram a maior durabilidade e o suposto menor grau de iluminação ao fato de que a lâmpada fluorescente possui menos “átomos” que a incandescente, fazendo com que, ao mesmo tempo que iluminam um pouco menos, durem mais, pois a existência de poucos átomos faria com que eles sofressem “menos atrito”. Percebemos que os autores do relatório apresentam uma tendência de tentar empregar termos científicos para descrever o objeto de investigação, embora de forma errônea. Consideramos isso bastante positivo, pois é uma excelente oportunidade de se trabalhar essas concepções, coletando-as junto aos alunos, analisando-as frente a um referencial teórico que apresente os conceitos cientificamente aceitos e discutindo com os estudantes a aplicação dos mesmos.

O relatório 2, produzido também pela equipe 2, apresentou uma descrição sucinta mas bastante plausível do funcionamento das lâmpadas.

*“Material: 1 prancheta, tomada, interruptor, bocal e lâmpada.
Procedimento: um plug é colocado na tomada e dois fios conduzem a energia até um outro plug que é encaixado numa tomada que segue até um interruptor que segue os dois fios até o bocal onde se encaixa a lâmpada.
Geralmente esses materiais são de cobre no seu interior e são revestidos de plástico, que não conduz energia.
No interior da lâmpada não pode ter oxigênio, por isso que a lâmpada é toda revestida de vidro.
E a madeira usada também serve para isolar a corrente elétrica.
Geralmente as lâmpadas fluorescentes apresentam uma espécie de transformador que acende a lâmpada mais rapidamente.”*

Observamos uma confusão entre os conceitos de corrente elétrica e energia elétrica. De fato, o conceito científico prevê que a energia elétrica está associada à corrente elétrica, o que, quando interpretado ingenuamente, pode acarretar confusão.

Destacamos também o trecho que trata sobre a concepção de funcionamento do reator da lâmpada fluorescente, chamado de “transformador”, ao qual foi atribuída apenas a função

de tornar mais rápido o acendimento da referida lâmpada, contrariando o que expressaram no relatório 1. Isso poderia sugerir que a lâmpada poderia funcionar sem o reator, embora com acendimento mais lento, o que foi objeto de questionamento.

A mesma equipe produziu o relatório 3, o qual apenas limitou-se à descrição do equipamento e a algumas possibilidades relacionadas com detalhes construtivos. Podemos notar nesse relatório, a concepção de que o plástico de revestimento dos fios serve apenas para prevenir choques elétricos, não atribuindo a eles a função de isolamento para prevenção de curtos-circuitos. No relatório, os estudantes chamam a corrente elétrica de “corrente de energia”, novamente evidenciando a confusão entre os conceitos de corrente elétrica e energia elétrica. Na descrição que fazem da lâmpada, escrevem que o “fio de tungstênio foi usado porque ele não queima e o aço sim”, numa provável alusão à experiência com a palha de aço.

“Para a experiência foi usado tábua para sustentação, fios para conduzir a eletricidade, mas os fios são recapados com plástico para não levarmos choque na hora do manuseio. (observação: a sustentação poderia ser de plástico, e metal teria o risco de dar choque).

Os fios são ligados a tomada, ao interruptor e ao bocal, no bocal que colocamos a lâmpada. E o interruptor é para ligar e desligar a corrente de energia, os conectores são para emendar os fios, e eles são revestidos de plástico.

Fio de tungstênio, foi usado porque ele não queima e aço sim.

Vidro, foi usado... (sem conclusão).

Metal, foi usado pois ele é condutor de energia.

Isolante, é usado para não dar curto (curto-circuito).

Estanho, é usado para o contato de um dos pólos.”

O relatório 3 apresenta ainda a atribuição do caráter de condutor de corrente elétrica ao metal, o que é correto do ponto de vista científico. Contudo, notamos aí novamente a confusão entre corrente e energia. Aparece também a atribuição de evitar o curto-circuito para o isolante do bocal da lâmpada, o que vai contra o que declararam anteriormente em relação à capa isolante dos condutores.

O que se pode notar claramente é que, embora produzidos pela mesma equipe, os relatórios apresentam contradições. Consideramos que isso pode ter ocorrido por falha de comunicação entre os próprios membros da equipe, já que os relatórios 2 e 3 foram produzidos, cada um, por um membro da equipe, respectivamente os alunos JAN e SCP (mesmo tendo SCP participado da elaboração do relatório 1). De fato, os relatórios 2 e 3 surgiram após a discussão do relatório 1 e foram elaborados com o intuito de retificar tal relatório. Embora tenhamos considerado tal procedimento interessante, pois mostra uma modificação das concepções iniciais, a equipe 2 foi

a única a proceder dessa maneira. Procuramos incentivar as demais equipes para seguirem o mesmo caminho, mas elas acabaram por apresentar apenas um relatório cada.

A seguir, destacamos alguns trechos do relatório 4 que consideramos interessantes de se analisar. Esse relatório foi elaborado pela equipe 4, formada pelas alunas PA, RP e JF. Destacamos o fato dessa equipe ser formada apenas por membros do sexo feminino. Dessa forma, não haveria possibilidade de ocorrer um fato comum em equipes experimentais mistas: às garotas é atribuído o mero papel de secretárias. As três alunas manipularam com razoável habilidade os experimentos, discutindo cada resultado obtido. Isso ficou particularmente evidenciado pela riqueza descritiva apresentada no relatório, como se pode verificar na descrição do equipamento, por exemplo:

“... consiste em uma prancheta de madeira que serve para fixar o mesmo, um interruptor que tem como função interromper ou liberar a passagem da corrente elétrica, com um fio subdividido em dois que faz com que circule essa corrente, receptada da ‘tomada fêmea’ para a ‘tomada macho’ e é conduzido através do fio até o soquete que fará com que a lâmpada acenda. É interessante frizar que todo o material é recoberto por outro isolante exceto o receptor (tomada macho) e o liberador (interior do soquete).

Em referência a lâmpada, tendo como base que sua tensão equivalente a 127 volts, potência de 40 watts, emissão de luz de 516 lúmens, durabilidade de 750 horas aproximadamente; podemos dizer que ela é composta de um bulbo de alumínio que é diretamente ligado a um bico de vidro com um pequeno filamento de tungstênio preso por dois filamentos de metal que ligados a corrente transmitida pelo bulbo de alumínio, ao centro do filamento de tungstênio; notamos a presença de um finíssimo filamento ligado somente ao bico de vidro, que por ser um material isolante, compreendemos servir apenas para controlar a incandescência e isso é revestida de uma parede de vidro que impede a entrada de ar que é retirado, antes de ser colocado o bulbo de alumínio através do bico de vidro.”

Podemos notar que as alunas utilizaram diversas informações, inclusive aquelas expressas na embalagem da lâmpada. Com elas, construíram um significado interessante para cada componente da lâmpada, atribuindo nomes e funções. Isso demonstra uma razoável habilidade em se utilizar de informações referentes ao aparelho elétrico para tentar explicar seu funcionamento. Essa equipe demonstrou ser possível suplantar o estado de “sonambulismo tecnológico” denunciado por Winner através de Bazzo (1998). Mesmo assim, as concepções apresentadas não estão completamente de acordo com aquelas cientificamente aceitas.

A equipe expressou a concepção de sentido preferencial do “fluxo de energia

elétrica”. Essa concepção fica clara quando as alunas dizem que a energia elétrica é “*receptada da tomada fêmea para a tomada macho...*”. A idéia expressa pelos autores do relatório sugere a construção de um modelo de energia elétrica como um fluido que supostamente sai da tomada fêmea para a lâmpada. Além disso, notamos a criação de termos julgados adequados à função: “*receptor*” e “*liberador*”.

No relatório, notamos que as alunas denominam bulbo a parte metálica da lâmpada em forma de rosca, a qual é encaixada no soquete. A princípio, julgamos que essa denominação não interfere no modelo de funcionamento concebido pelos alunos.

Em relação à forma espiral do filamento, as alunas escreveram o seguinte: “*cremos que o filamento tungstênio (sic) em forma de espiral para a energia incandescente seja passada em forma circular*”. A construção da frase revela alguns vícios oriundos da linguagem verbal, mas é possível perceber que os alunos atribuem maior intensidade à chamada “energia passada em forma circular”. Não foi possível retirar um significado dessa expressão, embora se possa pensar que a base para a afirmação das alunas tenha sido um modelo que atribui maior energia para movimentos circulares.

Quando tratam da questão da luminosidade, as autoras do relatório confundem a expressão “durabilidade” com a própria luminosidade. Isso fica evidenciado no texto abaixo:

“... também notamos que a temperatura aumenta rapidamente e progressivamente; o ambiente também se aquece, já com a lâmpada fluorescente, que tem a durabilidade mais parecida com a luz branca, não aquece o ambiente e ilumina mais.”

Entretanto, não se observa um comprometimento da mensagem que queriam expressar. Surgiu aqui o modelo do aquecimento da lâmpada como fator de redução do grau de luminosidade, ou seja, as alunas atribuíram o baixo índice de iluminação da lâmpada incandescente ao fato de que ela se aquece muito mais que a fluorescente.

O relatório 5, produzido pela equipe 5, formada pelos alunos PRI, EME, DAN, DEN e TAI, apresentou uma construção bastante sintética, sem adentrar maiores reflexões sobre os fatos, restringindo-se apenas a descrições sumárias. Entretanto, os autores expressaram seu entendimento de forma inteligível. Observamos nesse relatório, uma tendência de conceber a eletricidade como energia transmitida, o que sugere uma semelhança com o conceito de calor. Os autores do relatório foram informados previamente da presença de mercúrio no interior da lâmpada fluorescente através do texto “Leituras do GREF (Óptica – 10 a 17)”, citado anteriormente, sendo que acabaram atribuindo ao elemento químico a função de fazer acender os filamentos, através de

uma suposta “transmissão de temperatura”.

“Bem, a nossa experiência é sobre as lâmpadas fluorescente e incandescente. Estamos vendo como funciona, como é feita, seu material, e o porque de cada produto usado.

Incandescente -> usamos para fazer: vidro, plástico, ferro.

Essa lâmpada tem o filamento que serve para transmitir energia.

Essa lâmpada não tem muitas vantagens pois não ilumina muito, sua cor é amarelada, esquenta muito.

Para ser ligada é preciso: madeira, ferro, plástico, vidro, metal.

[incluíram desenho explicativo].

Por que esses materiais?

Madeira -> porque madeira é isolante.

O fio é de plástico -> para não dar choque por que tem cobre dentro.

O plugue é de ferro -> para transmitir energia.

Elas tem uns rebites que são pontos de ligação.

Sua iluminação é um pouco escura.

Sua única vantagem é o preço.

Lâmpada fluorescente – fizemos agora a experiência com essa lâmpada e vimos que ela tem bastante coisas para ela funcionar.

Ela é mais cara mais dura anos. Sua cor ajuda na iluminação e achamos que não prejudicam. Não esquenta tanto como a outra.

Achamos que dentro dela tem mercúrio e quando esquenta sua temperatura sobe indo para os filamentos e ascendendo a lâmpada, pois não tem um fio entre um filamento e outro.”

Aqui notamos também que o isolamento dos fios de cobre simplesmente foi relacionado ao fato de evitar choque elétrico, não sendo cogitado que servem para evitar curto-circuito.

Na descrição da lâmpada fluorescente, os alunos apenas se limitaram a declarar que ela precisa de “muita coisa” para funcionar, não arriscando nenhum palpite sobre o que seria essa “muita coisa”. Aqui, podemos evidenciar que eles decidiram não abrir a “caixa preta”, permanecendo apenas na descrição superficial.

O relatório 6 apresenta uma boa descrição do experimento, incluindo detalhes quantitativos sobre as lâmpadas, material empregado e algumas idéias sobre a função de cada um deles no experimento. Contudo, não houve nenhum aprofundamento em relação aos fenômenos descritos, ou seja, os autores do relatório não arriscaram palpites sobre a explicação do funcionamento dos dispositivos. O relatório 6 foi apresentado pela equipe 3, formada pelos alunos TIC, GIS, MAU e JOR, nos seguintes termos:

“Temos em mãos uma prancheta, preparada para uma instalação de lâmpadas elétricas. Uma lâmpada encandescente de 40W, com voltagem de

127, com um filamento na parte interior revestido com uma pequena camada de vidro com uma ponta de metal a qual é ligada em um bocal.

A parte interior do bocal é de metal, e a parte exterior é de plástico, possuindo dois fios de cobre revestidos de plástico ligado atrás do bocal preso com dois parafusos, esse mesmo fio na outra ponta possui uma tomada, onde cada fio é ligado a um pino da tomada. Quando ligamos essa tomada a lâmpada se acende.

Com a lâmpada acesa, foi colocado um material a uma certa distância, quanto maior a distância menor a luminosidade recebida, e perto da lâmpada o material recebe calor.

Quando acendemos a lâmpada em um local fechado, a iluminação é bem maior do que quando acendida em um local aberto com a luz do dia. [talvez estivessem se referindo apenas à iluminação proporcionada pela lâmpada]. Já a lâmpada fluorescente é bem diferente da encandescente, possui 20W. Ela é maior com formato cilíndrico, revestido com vidro branco. Cada uma das pontas é de metal, fixada a uma pontinha de plástico onde é ligado os fios; esse fio é ligado a um retentor eletrônico que possui dois fios ligado a uma tomada.

A qualidade dessa lâmpada pois é mais clara e gasta menos energia.

Ela é mais embranquecida que a outra.

Quando estamos em um local fechado precisamos de mais de uma lâmpada, pois a iluminação é mais fraca. A temperatura da lâmpada encandescente no seu exterior é maior do que a lâmpada fluorescente, já no seu interior a temperatura da lâmpada fluorescente é maior do que a lâmpada encandescente.

A lâmpada encandescente é mais barata, porém gasta mais energia e dura menos enquanto a fluorescente dura mais tempo.”

No último trecho, notamos informações obtidas junto à professora da turma, com base nos textos sobre conceitos físicos que foram utilizados durante a experiência didática.

O relatório 7 descreve o experimento sem se ater aos dados quantitativos fornecidos na embalagem das lâmpadas.

“Lâmpadas elétricas (incandescentes)

Para que uma lâmpada elétrica possa acender, é necessário uma série de etapas, compostas por diversos materiais. São eles:

- *um retângulo de compensado que servirá como base;*
- *sobre ela um plugue que será ligado a um fio de cobre recoberto por um plástico isolante, que será utilizado para ligar à tomada.*

O fio está conectado a um interruptor que auxiliará a transmissão de energia a outro fio que está ligado ao bocal.

O bocal é constituído por um material isolante, que em seu interior contém um encaixe de metal, que ao entrar em contato com a parte metálica da lâmpada, produzirá a energia suficiente para que ela possa acender.

É preciso também que a parte central do seu encaixe que é feito de estanho, encoste no bocal.

Em volta do estanho, possui um plástico isolante, que por sua vez é circado

(?) de uma rosca de metal.

Interiormente, possui uma base de vidro, que sustentará dois fios que conduzirão a energia até ao espiral de tungstênio que ao entrar em combustão farão que a lâmpada acenda.

Ao colocarmos um material próximo à lâmpada, podemos perceber que sua cor se alternará, tornando-se mais forte, já à medida em que se afasta, sua cor gradativamente se torna mais fraca.

A temperatura aumentará conforme o material se aproxima da lâmpada, e esfria com o afastamento.

Vantagens: custo (valor), não é tão prejudicial aos olhos.

Desvantagens: maior gasto de energia, menor capacidade de iluminação e menor durabilidade.

Fluorescente

É semelhante à incandescente em relação aos materiais de funcionamento, só apresenta algumas diferenças na parte química que é composta.

Podemos notar que ela demora mais para acender e é ligada diretamente ao alumínio condutor e ao espiral mas também há uma maior durabilidade, pois permanece mais tempo em trabalho, ao contrário da incandescente que dura menos, pois possui um número maior de átomos que a fluorescente. Ela é uma lâmpada fria.

Vantagens: maior durabilidade, maior capacidade de iluminação, é mais econômica.

Desvantagens: é mais cara que as outras, prejudica os olhos.

Observamos que a expressão “auxiliará a transmissão de energia...” denota, de forma semelhante aos relatórios anteriores, uma concepção “calórica” para a eletricidade, ou seja, da mesma forma que o calor, a energia elétrica seria “transferida” de um corpo para outro.

Numa outra expressão, os autores escreveram que o contato entre os metais da lâmpada e do bocal “produzirá a energia suficiente para que ela possa acender”, percebendo-se aí a tendência de “localizar” a fonte de energia no ponto de contato. A expressão pode até ser um emprego impróprio de palavras, mas a forma como a frase foi construída sugere a citada concepção. Tal expressão sugere que a equipe imagina que a energia para acender a lâmpada provenha de algum atrito ou do contato entre os metais.

Não notamos nenhuma idéia de circuito elétrico em nenhum dos relatórios e, de maneira geral, pudemos perceber idéias de transferência de energia, de forma semelhante à transmissão de calor, e de incandescência como combustão, provavelmente devido ao fato de que a lâmpada incandescente trabalha em temperaturas elevadas, facilmente relacionadas com a presença de fogo. Essas idéias prévias sobre o funcionamento das lâmpadas sugerem uma tendência a se imaginar a eletricidade como um fluido combustível, que provém da tomada e é consumida no filamento.

Observamos, de maneira geral, uma tendência a se incorporar conceitos

científicos aos modelos alternativos de explicação do funcionamento das lâmpadas. Entretanto, essa incorporação ocorreu de forma imprópria, levando em conta conceitos que estão relacionados a fenômenos térmicos e mecânicos. Verificamos concepções que já haviam sido detectadas no estudo de Tagliati (1991), no que se refere a situações de perigo atribuídas à eletricidade e a sua origem misteriosa e inexplicável. Diante do caráter “misterioso” das lâmpadas fluorescentes, já que não era possível “ver” o seu interior, a maioria das equipes se absteve de expressar suas concepções sobre o funcionamento dessa lâmpada. A exibição de um exemplar dessa lâmpada quebrado e aberto não contribuiu significativamente para diminuir a aura de mistério desse dispositivo. Contudo, julgamos bastante positivo o fato de eles terem percebido que as lâmpadas fluorescentes podem se constituir numa ameaça de contaminação do meio ambiente, já que possuem mercúrio em sua constituição.

12. Análise das intervenções dialogadas

Após a abordagem experimental e a produção do relatório sobre a mesma, os alunos foram submetidos a uma intervenção dialogada, conforme um roteiro semi-estruturado, apresentado no quadro 12.1. Utilizamos essa estratégia com o grupo porque julgamos que os alunos não teriam o mesmo desempenho se fossem entrevistados individualmente, tendo em vista que durante a abordagem experimental, as tarefas foram divididas entre os membros da equipe. Embora alguns membros de cada equipe tenham agido como porta-vozes, eleitos pelo grupo para falar por todos, registramos algumas intervenções dos demais membros, fato que ocorreu em todas as equipes, variando de uma para outra. Em uma delas, a equipe 3, todos os membros declararam alguma coisa sobre as questões. Desta forma, o processo da intervenção dialogada se mostrou bastante dinâmico e poucas questões ficaram efetivamente sem resposta.

Uma intervenção dialogada que tenha perguntas fechadas como ponto de partida parece não ser adequada. No entanto, utilizamos as questões apenas como diretriz para o diálogo, algo como um referencial para o assunto que está sendo tratado. O processo transcorreu num clima muito próximo a uma conversa informal.

Realizamos a análise dos discursos dos alunos através de um método de comparação entre as respostas das equipes, buscando detectar categorias comuns de pensamento dos alunos, estabelecendo paralelos entre as concepções levantadas neste estudo com as que foram categorizadas por Tagliati (1991).

A primeira equipe (equipe 1) teve seu discurso registrado em vídeo VHS-C. Entretanto, devido a problemas técnicos no equipamento, essa intervenção ficou bastante prejudicada, motivo pelo qual a descartamos.

No encontro seguinte, dialogamos com mais três equipes (a 2, a 3 e a 4), sendo que, no mesmo encontro, havíamos distribuído o material que trata dos conceitos científicos e problemas ambientais relacionados às lâmpadas que foram objeto de análise durante a abordagem experimental. A equipe 2 foi inquirida antes da leitura. Pudemos notar que os conceitos que utilizavam estavam fortemente influenciados por sua estrutura de pensamento baseada no senso comum. A equipe 3 foi submetida ao instrumento enquanto fazia a leitura. Notamos que alguns conceitos que já haviam lido, entraram na fundamentação de seu discurso, porém sem uma efetiva atribuição de significado. No que se refere à fala da equipe 4, percebemos que após terem lido uma grande parte do material, muito do que pensavam antes foi modificado, indicando que foi significativamente assimilado por eles.

Quadro 12.1: Roteiro de intervenção dialogada para identificação das representações iniciais sobre lâmpadas

Roteiro de intervenção dialogada para identificação das representações iniciais sobre lâmpadas

Através deste roteiro, foi estabelecida uma intervenção dialogada com os estudantes sujeitos da pesquisa, tendo como objeto suas representações sobre o funcionamento das lâmpadas incandescentes e fluorescentes, bem como suas idéias iniciais sobre impactos sociais, econômicos ou ambientais provocados pelos referidos dispositivos, impactos esses que surgem tanto como consequência do seu processo produtivo, quanto da sua utilização e descarte.

Os diálogos foram gravados em fitas cassete, tendo sido realizados com grupos de cinco ou seis integrantes, procurando fazer com que todos pudessem manifestar suas representações.

Estabelecemos os diálogos logo após a abordagem fenomenológica dos dispositivos, durante a qual foram apresentadas aos alunos lâmpadas dos dois tipos, incandescentes e fluorescentes compactas, que foram postas em funcionamento para que eles pudessem resgatar suas representações, analisando qualitativamente os efeitos de seu funcionamento.

Foi recomendado que os alunos anotassem tudo o que fosse discutido pelo grupo quanto ao funcionamento, grau de iluminação e fidelidade de cores dos objetos iluminados, bem como questões relacionadas à produção, comercialização, utilização e descarte das lâmpadas. Essas anotações foram posteriormente recolhidas.

As questões submetidas aos estudantes após a atividade experimental foram as seguintes:

1. Vocês acompanharam as notícias referentes à crise no sistema de energia elétrica brasileiro? Quais os fatos que mais chamaram a atenção de vocês?
2. Uma das recomendações para economizar energia elétrica foi a substituição de lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas. Em suas casas ou na casa de alguém que vocês conheçam foi feita essa substituição? Em caso afirmativo, por que foi feita? Caso não tenha sido feita, justifiquem também o motivo.
3. Em relação ao preço das lâmpadas, qual vocês acham mais barata? Vale à pena substituir a lâmpada incandescente pela fluorescente? Por quê?
4. Vocês saberiam explicar por que a lâmpada fluorescente é considerada mais econômica do que a incandescente? Por que motivo ela consome menos energia?
5. Quanto à iluminação proporcionada pelas duas lâmpadas, vocês julgam que são equivalentes como dizem? Há diferença no grau de iluminação? Como ficam as cores quando iluminadas por uma e por outra lâmpada?
6. O que vocês poderiam dizer sobre a forma de funcionamento de cada uma das lâmpadas? São iguais? São diferentes? Em que aspectos?
7. O que vocês saberiam dizer sobre o processo produtivo dessas lâmpadas? Onde são produzidas? Que consequências esse processo acarreta?
8. Que impactos ambientais essas lâmpadas poderiam causar? Elas poderiam ser descartadas no lixo comum? O que vocês podem dizer sobre isso?
9. Em qual tipo de lâmpada recairia as suas preferências pessoais? Justifique sua resposta.

As respostas à questão 1 evidenciaram que os alunos não deram muita

importância para as notícias referentes à crise de energia, alegando que as medidas de racionamento não seriam aplicadas no Sul do País, região da qual o Paraná faz parte. Entretanto, em suas respostas, os alunos demonstraram certa preocupação, mesmo que repentina e superficial, com as conseqüências que o prolongamento da crise poderia trazer para nosso Estado. Algumas das falas enfatizaram a importância da conscientização sobre o uso racional da energia elétrica. Houve também constatações de sentimento de revolta quanto às medidas de racionamento, as quais “pegaram de surpresa” toda a população das regiões afetadas. As respostas registradas para a questão (1) foram:

Eu acho que o que afetou mais foi que as pessoas ficaram sem iluminação pública... na minha opinião, essas pessoas foram as mais prejudicadas...(equipe 2).

Olha... eu não acompanhei muito porque não me interessei, né? ... não me interessei porque a gente não teria racionamento. (equipe 2)

Eu acho que, com a crise de energia, todas as pessoas, mesmo aqui no Sul, que não precisavam economizar... foi feito economia para que ninguém... eu acho que... ninguém ficar no escuro. Houve uma conscientização das pessoas... Imagine como que a gente vai guardar um alimento na geladeira sem luz... (equipe 3).

Ah!... primeiramente, a partir do momento em que houve essa ampla divulgação, aconteceu de muitas pessoas ficarem revoltadas até mesmo porque elas desconheciam o assunto até aí. Então, chegou o momento que expandiu... a hora que explodiu o assunto, que foi divulgado. E a gente... assim... achou que deveria ter uma divulgação no início do assunto, para as pessoas se conscientizarem e não ficarem assustadas diretamente com a decisão. (equipe 4)

As questões (2) e (3) tiveram, na maioria dos casos, suas respostas fundidas, pois tratavam sobre a troca de lâmpadas sugerida pelos órgãos governamentais e empresas de distribuição de energia elétrica.

Os componentes da equipe 2 declararam não haver necessidade de troca das lâmpadas incandescentes por fluorescentes, primeiro, devido ao preço destas ser cerca de dez vezes maior do que o daquelas e, segundo, porque o maior gasto financeiro com a troca de lâmpadas não seria compensado, tendo em vista que, na visão desses estudantes, as lâmpadas não são o maior consumidor de energia elétrica nas suas residências.

Por outro lado, as declarações da equipe 3 evidenciaram uma preocupação em trocar as lâmpadas nos cômodos onde são mais utilizadas. Contrariamente ao que foi declarado pela equipe 2, os estudantes da equipe 3 acharam que a troca da lâmpada acaba compensando.

Tipo... na minha casa foi trocado nos lugares onde usa mais a lâmpada, por causa que gasta menos energia. (equipe 3).

Porque essa lâmpada (a fluorescente) é um pouco mais cara que aquela (incandescente), mas o que a gente gasta na lâmpada vai economizar na conta de luz... Ah!... ela é bem mais cara (a fluorescente)... essa aqui (a incandescente) custa um real mais ou menos e esta aqui (a fluorescente) deve custar uns nove reais... então a diferença é grande, mas posteriormente vai economizar na conta, porque você vai gastar mais num mês, mas depois a tua conta vai diminuir. E eu acho que esta aqui (a fluorescente) é mais moderna e clareia mais o lugar. Ela vai durar mais porque o material dela é mais moderno... (equipe 3)

Em resposta à questão 4, os componentes da equipe 2 atribuíram a maior economia da lâmpada fluorescente ao fato de que ela tem sua vida útil maior que a incandescente. A maior durabilidade da lâmpada fluorescente foi relacionada à suposta existência de “menos átomos”, que seriam responsáveis pelo seu funcionamento, ou seja, a lâmpada incandescente dura menos porque “possui mais átomos” que a fluorescente. É um modelo explicativo bastante interessante. Porém, não houve maiores aprofundamentos sobre ele, sendo, em princípio, bastante sujeito a anomalias que, se forem bem trabalhadas pelo professor, poderão provocar alterações em sua estrutura.

As equipes 3 e 4 trataram a questão 4 de maneira simples: atribuíram a maior economia da lâmpada fluorescente ao fato de que ela não necessita “esquentar” para funcionar, como acontece com a incandescente. Assim, entenderam que a energia elétrica “consumida” pela lâmpada fluorescente é, em sua maior parte, convertida em luz. Pudemos notar uma aproximação do modelo científico, pois observando o diagrama de radiação do corpo negro (o filamento da lâmpada é um exemplar de tal corpo) podemos notar que a maior parte da radiação emitida por um material aquecido à temperatura de 2000 kelvin (temperatura do filamento da lâmpada) está na faixa do infravermelho do espectro de radiações eletromagnéticas, radiação essa que corresponde à emissão de calor (para maiores esclarecimentos, veja o Apêndice 1)

Quando questionados sobre o grau de iluminação das lâmpadas, objeto da questão 5, houve algumas divergências, situadas no campo da preferência pessoal. A equipe 2, por exemplo, concluiu que a lâmpada fluorescente ilumina melhor, sem dar maiores explicações sobre o fato constatado por eles. Já a equipe 3, apesar de constatarem que a lâmpada fluorescente iluminaria melhor por emitir luz branca, acharam que a luz produzida pela lâmpada incandescente seria mais agradável. A equipe 4 estava convicta de que a luz emitida pela lâmpada fluorescente é melhor por ser branca, proporcionando assim melhor iluminação e maior fidelidade nas cores dos objetos,

comparativamente à luz do Sol.

Os discursos das equipes estão transcritos abaixo.

Eu reparei que a fluorescente ... ela iluminava mais do que a incandescente ... tipo você pega uma de 7 watts e uma de ... 40 watts ... ela (a de 7 watts, fluorescente) ilumina melhor que a de 40... (equipe 2).

Esta lâmpada aqui (fluorescente) dá uma impressão assim que é uma lâmpada branca, né? ... parece que ilumina ... tipo ... digamos assim, branco. E essa aqui (incandescente) já parece uma lâmpada mais amarela, parece uma chama de vela (equipe 3).

Sem dúvida, a fluorescente (é melhor), porque a incandescente se aproxima de uma luz mais amarelada e já a fluorescente, ela se aproxima mais da luz do Sol, a luz branca... Não só pelas nossas deduções, mas pelo que a gente pesquisou, a gente viu que os produtos que são utilizados na fabricação da fluorescente ajudam a fazer com que a corrente circule toda dentro dela, para que... se aproxime da luz branca. Por isso, a tonalidade do “pozinho” que tem dentro dela é o branco já para que ilumine melhor (equipe 4).

Notamos no discurso da equipe 4 uma considerável influência do material que já haviam lido, denotando que os conceitos ali expostos foram significativamente assimilados, sugerindo um modelo semelhante ao proposto por Moreira e Masini (1982), pois houve uma razoável transformação daquilo que foi lido. Entretanto, isso não colaborou para a concepção de um modelo explicativo do funcionamento da lâmpada, pois na resposta à questão 6, declararam não estarem certas de como as lâmpadas funcionam. As outras equipes (2 e 3) não apresentaram resposta para a questão 6.

Em relação ao processo de fabricação e ao local onde são produzidas as lâmpadas, os estudantes expressaram opiniões diferentes sobre o fato de as fluorescentes serem importadas: enquanto uns declararam que isso contribuiria para encarecer essas lâmpadas, outros manifestaram-se favoráveis à importação, pois, segundo eles, o país de origem teria uma tecnologia de produção mais avançada, possibilitando preços menores, apesar de, mesmo assim, não serem baixos. Registramos as seguintes falas dos estudantes:

A lâmpada fluorescente ... ela é fabricada na China e a incandescente é fabricada no Brasil mesmo. Na minha opinião, a lâmpada fluorescente é produzida na China porque lá eles têm uma tecnologia mais avançada que no Brasil... mas ... não vamos falar mal do Brasil, porque ele não está muito atrás... (equipe 2).

... também não está muito atrás, mas por exemplo, a lâmpada fluorescente lá na ... China, os componentes devem ser mais baratos por causa da tecnologia avançada e, também a maior parte dos produtos que vêm de lá

são mais baratos. Se, mesmo vindo da China, a lâmpada fluorescente é cara, se fosse produzida aqui iria ser bem mais cara (equipe 2).

Eu acho que esta lâmpada incandescente, né, ela é mais fraca, ela é produzida no Brasil e, esta aqui (a fluorescente), que é uma lâmpada melhor, mais econômica, é produzida fora. Eu acho que esta lâmpada (a fluorescente) tinha que ser produzida no Brasil, porque iria diminuir o custo dela e todas as pessoas teriam acesso a uma lâmpada desta (equipe3).

A gente analisou até quanto ao preço. Porque esta aqui (a fluorescente), por ser produzida longe, ela tem mais tecnologia. Como em nosso país não tem muito estudo e tudo mais em tecnologia, então são produzidas em outros países, ou até dentro do país em lugares com bastante avanço. Já essas não (as incandescentes). São produzidas em quase todos os Estados. Elas têm um custo menor até por causa disso. Elas são mais simples (equipe 4).

Com relação aos impactos ambientais, objeto da questão 8, a primeira hipótese levantada pelos estudantes foi a de que o vidro das lâmpadas acarretaria, além de problemas ambientais, riscos de acidentes. Entretanto, como já era de seu conhecimento que havia mercúrio nas lâmpadas fluorescentes, atribuíram a esse elemento o caráter de contaminante do meio ambiente. Em grande parte, essa afirmação teve base em informações dadas pelos meios de comunicação, especialmente a televisão. Podemos inferir dessa análise que, pelo menos em parte, os estudantes passaram a refletir melhor sobre os riscos inerentes ao objeto tecnológico analisado. De fato, essa reflexão sobre tais aparatos se faz importante, pois, segundo Bazzo (1998), “estas situações contraditórias de riscos e vantagens que a ciência e a tecnologia apresentam requerem que se tenha um maior conhecimento sobre os processos envolvidos no seu desenvolvimento e produção” (p.128).

Além disso, uma das equipes (a número 3), atribuiu o caráter de contaminante ao pó branco que é depositado na face interna do vidro. Há nessa afirmação uma influência do senso comum, pois os alunos declararam já ter ouvido falar que o chamado pó branco seria cancerígeno, anticicatrizante, tóxico etc. A equipe 4, quando foi entrevistada, já havia lido o texto sobre a contaminação por mercúrio, sendo que sua resposta estava bastante influenciada pelo que haviam lido.

Quando questionados sobre a preferência pessoal sobre um dos tipos de lâmpada, objeto da questão 9, os estudantes, em sua maioria, declararam preferir a lâmpada fluorescente, justificando sua escolha em função das vantagens apresentadas, entre as quais destacaram baixa demanda de energia elétrica e o nível de iluminação. Notamos que, apesar de estarem conscientes

que o preço da lâmpada fluorescente é bem mais alto do que o da incandescente, os estudantes declararam ser possível recuperar o investimento a médio ou longo prazo, devido ao fato de que as lâmpadas fluorescentes demandam menos energia e duram mais que as incandescentes.

Apesar das constatações dos alunos não apresentarem um caráter de decisão, identificamos em seus pensamentos algumas percepções sobre o contexto econômico e social relacionado ao processo de produção do aparato tecnológico, como também questões relacionadas aos problemas ambientais causados pelo seu descarte indiscriminado. Acreditamos que isso já seja um indicador de que, devidamente instrumentalizadas, as pessoas podem “acordar” de seu “sonambulismo tecnológico” (WINNER apud BAZZO, 1998, p.134), tomando uma posição mais ativa diante das determinações, evitando, portanto, se submeter humildemente a cada nova exigência da Tecnologia, questionando os seus produtos no que se refere tanto ao seu processo de fabricação, como à sua utilização e o seu descarte.

CAPÍTULO IV – NOTAS CONCLUSIVAS

13. Síntese dos resultados

Mesmo que a decisão tomada pelos estudantes pareça estar vinculada às determinações governamentais, comunicadas sem maiores justificativas, podemos dizer que o programa de atividades de ensino aplicado teve uma importância significativa para que refletissem antes de decidirem qual dispositivo escolheriam. Temos consciência que haveria muito mais a se fazer em termos de aprofundamento do conhecimento dos dispositivos tecnológicos para se proceder a tomada de decisão plenamente fundamentada. Entretanto, julgamos que o fato de possibilitar aos estudantes uma oportunidade de reflexão é algo que fará uma grande diferença em sua formação, desenvolvendo algumas competências fundamentais no processo de tomada de decisão consciente em relação aos processos e produtos da tecnologia.

Aqui podemos estabelecer um paralelo em relação aos objetivos traçados por Fourez (1997). Observamos, durante o desenvolvimento das atividades, que os alunos aplicaram, pelo menos em parte, os conhecimentos adquiridos nas leituras, especialmente a que tratava dos impactos ambientais inerentes aos dispositivos. Percebemos, com isso, que as atividades proporcionaram uma oportunidade de utilizar os conceitos científicos e de integrar valores e saberes para adotar suas decisões em relação aos objetivos. É claro que, para saber se estenderiam essa competência para outros campos da atividade humana, seria preciso um trabalho de investigação mais amplo, o qual foge ao escopo da presente pesquisa.

Quanto ao conhecimento dos conceitos, hipóteses e teorias científicas e à compreensão das tecnologias, pudemos notar que os estudantes os empregam de uma forma que ainda não é adequada do ponto de vista científico, notando-se uma forte influência do senso comum na explicação do funcionamento dos dispositivos. Pudemos verificar também aplicações errôneas (do ponto de vista científico), tais como a incandescência como combustão e o “consumo” da eletricidade no filamento da lâmpada.

Em particular, o modelo de incandescência como “combustão” pode ser considerado como fato novo, pois em nosso referencial teórico (TAGLIATI, 1991) não foi apontada nenhuma concepção desse tipo. Apesar de necessitar de uma investigação específica, consideramos que tal modelo surgiu da comparação da lâmpada com uma chama. A comparação guarda uma certa coerência interna pois, apesar das diferenças de nível de iluminação, ambas proporcionam sensação térmica semelhante, ou seja, são quentes. Isso facilita inclusive a concepção de que a eletricidade se “consume” no filamento, como se fosse um combustível.

Podemos considerar que, após as intervenções didáticas, muitas das concepções

espontâneas dos alunos foram, pelo menos, colocadas em xeque. Havia um compromisso com a professora regente da turma para que esses assuntos fossem retomados e, conforme declarado pela própria professora, os conceitos seriam bem melhor trabalhados, tendo em vista que os alunos já teriam experimentado situações reais em que eles se aplicam. Após o fechamento do período avaliativo dos alunos (efetuado pela professora da turma), foi possível observar que muito daquilo que foi tratado durante as intervenções didáticas foi significativamente aprendido.

Em relação ao conhecimento das fontes válidas dos conceitos científicos, podemos dizer que foram possibilitados contatos com livros, artigos científicos e de divulgação científica, de forma que tais produções tiveram um papel relativo na tomada de decisão em relação aos dispositivos analisados pelos estudantes. Isso se deve ao fato de que, no caso da situação investigada, havia uma forte influência de conceitos de senso comum e das determinações passadas pela mídia, o que se constituiu num obstáculo considerável à apropriação das idéias apresentadas pelos textos.

Face a esses resultados, podemos concluir que o processo de aplicação do conhecimento científico pelos estudantes para resolução de problemas reais afetos aos objetos tecnológicos não é algo trivial. No entanto, uma abordagem metodológica que traga esses problemas para o âmbito da sala de aula se mostra como uma alternativa viável para se superar essa dificuldade. Assim, acreditamos que, com este trabalho, contribuímos, mesmo que de forma tímida, para apontar alguns rumos que podem ser seguidos.

14. Considerações finais

Na introdução a este trabalho de pesquisa, abordamos brevemente a situação em que se encontra a Física no Ensino Médio. Apesar de as novas Diretrizes Curriculares já fazerem parte do cenário da Educação Básica há algum tempo, na prática elas são pouco aplicadas (e muitos as julgam pouco aplicáveis). Afirmamos também que, de maneira geral, a Física ensinada na escola média brasileira ainda guarda um profundo comprometimento com o caráter propedêutico atribuído ao Ensino Médio, ou seja, ela ainda é encarada como um obstáculo à aprovação no vestibular.

Sendo assim, julgamos fundamental aproveitar todas as oportunidades de discussão do atual modelo de ensino de Física, buscando alternativas curriculares e metodológicas ao presente modelo, visando sempre proporcionar um salto qualitativo no processo de formação do cidadão. Assim, a Física ensinada na escola deve cumprir o seu papel na promoção da autonomia do aluno, no desenvolvimento da consciência crítica desse futuro cidadão e na instrumentalização do ser humano para a tomada de decisões que possibilite a ele ser um gestor dos processos sociais.

Embora sua contribuição seja pontual e de pequeno impacto no macrosistema, acreditamos que deste trabalho de pesquisa poderão surgir novas oportunidades de discussão, críticas e propostas que, em conjunto, venham a contribuir de forma mais significativa para a melhoria do processo de formação do cidadão.

Concordamos com Bazzo (1998), quando alerta para o fato de que vivemos numa época em que a tecnologia conforma nossa sociedade, fazendo com que nos tornemos admiravelmente dependentes. Portanto, julgamos que é fundamental entender a tecnologia, não só como produto final que nos conforma, mas também como processo, com todos os benefícios e impactos inerentes a ela, entendida como criação humana.

Mas aí cabe a questão: por onde começar? Por excelência, a instituição que se mostra mais adequada para iniciar o cidadão no exercício da discussão sobre sua realidade é a Escola. É nela que, bem ou mal, o cidadão aprende a praticar as regras de produção e reprodução do conhecimento (acreditamos que esta última tem ganhado mais ênfase). Mas então, como fazer para que tais problemas sejam trazidos para o âmbito da Escola? Responder positivamente a essa questão não é algo trivial. Se fosse, não teríamos tantas pesquisas buscando caminhos alternativos para um tipo de ensino mais comprometido com a realidade do cidadão.

Os resultados deste trabalho apontam para uma possibilidade de se trazer problemas reais, mais próximos da realidade do aluno, para se tornarem objeto de discussão no

ambiente escolar, muitas vezes estendendo a abrangência dessa discussão para cenários mais amplos. De fato, percebemos que os alunos, após participarem da experiência pedagógica levada a efeito durante a pesquisa, construíram uma nova relação com os objetos tecnológicos analisados, pelo menos quanto ao aspecto de consumo de energia e de impactos ambientais.

Contudo, no que diz respeito à aplicação dos conceitos na explicação do funcionamento dos objetos analisados, os alunos manifestaram concepções inadequadas do ponto de vista científico. Seria isso um indicador de falha de aprendizagem? Entendemos que não. De fato, se considerarmos as aplicações que os alunos deram para os conceitos de átomo, carga elétrica, corrente, resistência e tensão elétricas, entre outros, podemos afirmar que houve uma assimilação desses conceitos à sua estrutura cognitiva. Podemos notar que isso ocorreu na fase preliminar da pesquisa, quando uma determinada equipe realiza em um de seus relatórios uma discussão sobre a redução na tensão da rede elétrica (p.64), argumentando que com menor potência, a temperatura da água também diminuirá, o que obriga o usuário a utilizar um volume menor para que essa temperatura não diminua. Isso acarretaria, segundo as alunas da equipe, um tempo maior de banho, o que anularia a economia de energia elétrica. Na fase final também pudemos notar esse tipo de percepção, quando ao analisar as lâmpadas, os alunos diferenciaram apropriadamente materiais condutores e isolantes para a corrente elétrica.

Outro fato detectado em nossas observações, foi o interesse despertado pelas questões sociais, ambientais e energéticas relacionadas à produção, utilização e descarte das lâmpadas, bem como as questões ligadas ao consumo de energia elétrica dos demais objetos tecnológicos, analisados na fase preliminar da pesquisa. Nesse aspecto, podemos constatar que é possível, através da discussão desses problemas, incrementar o nível de consciência da população em relação aos impactos causados pela tecnologia, os quais não são divulgados pela mídia. Assim, entendemos que o debate dessas questões no âmbito escolar contribui significativamente para a formação de um cidadão crítico, consciente e capaz de participar do processo decisório na sociedade. É claro que, para se verificar o resultado final de um processo educacional mais investigativo e crítico, seria necessário um trabalho de vários anos de atuação junto à comunidade estudantil. A contribuição desta pesquisa é, como já dissemos, bastante pontual. Contudo, acreditamos que ela possa servir como amostra do que é possível alcançar utilizando-se de uma metodologia investigativa e de discussão de problemas reais. Construir um modelo de ensino baseado nessa metodologia é uma tarefa bastante complexa, porém possível para um grupo coeso de professores comprometidos com a boa formação de seus alunos.

Procuramos aplicar nesta pesquisa a metodologia da fusão dos momentos pedagógicos, proposta por Gil-Pérez (1999). É muito comum entre os professores, especialmente os

da área de Ciências, a prática da separação entre aprendizagem de conceitos, resolução de exercícios de lápis e papel e atividades de laboratório. Essa afirmação está fundamentada não só nas observações do citado pesquisador, como também é corroborada pela nossa experiência profissional, levada a efeito durante quatro anos de atuação na Rede Pública de Ensino do Estado do Paraná, quando tivemos a oportunidade de levantar algumas concepções junto aos colegas de profissão. A contribuição do programa de atividades didáticas vinculado a esta pesquisa é a demonstração de que é possível trabalhar numa perspectiva de fusão dos três momentos citados, não delimitando fronteiras visíveis entre eles. Para o aluno, isso acaba se tornando natural, de forma que ele não percebe conscientemente a diferença entre as metodologias de ensino, mas acaba se envolvendo mais no seu trabalho, o que pode vir a contribuir mais significativamente para a sua aprendizagem.

Acreditamos que cumprimos o objetivo de contribuir para o processo de construção de um ensino de Física menos preocupado com resultados em exames vestibulares, menos vinculado à reprodução, à memorização sem propósitos, e mais comprometido com a busca de possibilidades de se fazer o cidadão pensar, refletir e interferir decisivamente em sua realidade, que possa realmente transformá-lo num gestor de seu próprio destino.

Talvez, uma geração inteira formada dentro desses princípios possa efetivamente tirar a sociedade do estado de “sonambulismo tecnológico” apontado por Winner (apud BAZZO, 1998). Talvez, no futuro, não tenhamos tantos cidadãos com dificuldades de interagir com um caixa eletrônico de um banco, ou que não saibam o que fazer numa situação de crise energética, dependendo quase que exclusivamente do que a mídia disser para fazer. Refletir sobre esses problemas é uma atitude que deve começar a ser fomentada na escola, da qual o cidadão deve sair alfabetizado em todos os sentidos, podendo lançar mão de todos os instrumentos que essa condição lhe oferece.

Consideramos que a decisão de converter o ensino de Física em uma atividade investigativa de problemas relacionados à realidade vivida pelo aluno cabe exclusivamente ao professor. Este trabalho de pesquisa procurou apontar alternativas para um trabalho pedagógico diferenciado. Tivemos que transpor os obstáculos impostos pela cultura escolar da reprodução, a qual permeia o processo educacional de nossos alunos há muito tempo. Contudo, entendemos que se houver uma mudança na opção pedagógica das escolas e dos professores, poderemos então trabalhar com o intuito de formar cidadãos ativos, críticos e conscientes, capazes de utilizar o conhecimento para guiar suas decisões.

BIBLIOGRAFIA, APÊNDICES E ANEXOS

15.Referências Bibliográficas e Bibliografia Consultada:

ALVES, Rubem. *Filosofia da ciência*. São Paulo: Ars Poetica, 1996.

ALVES Filho, José de Pinho. Alfabetização científica e técnica: ilhas de racionalidade (Curso). In: *Simpósio Nacional de Ensino de Física*, 14, Natal, julho/2001.

ARRUDA, Sérgio M., LABURÚ, Carlos E.. Considerações sobre a função do experimento no ensino de ciências. In: *Questões atuais no ensino de ciências*. Roberto Nardi (org.). São Paulo: Escrituras, 1998.

AUTH, Milton A. et alii. Prática educacional dialógica em física via equipamentos geradores. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*. v.12, n.1, abril/1995, pp.40-46.

BACHELARD, Gaston. *A formação do espírito científico*. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BAZIN, Maurice. O cientista como alfabetizador técnico. In: ANDERSON, S. e BAZIN, M. *Ciência e (in)dependência*. Lisboa: Livros Horizonte, 1977, v.2.

BAZZO, Walter A.. *Ciência, tecnologia e sociedade: e o contexto da educação tecnológica*. Florianópolis: Ed. Da UFSC, 1998.

BERNARDO, Gustavo. *Educação pelo argumento*. Rio de Janeiro: Rocco, 2000.

BORN, Max e outros. *Problemas da física moderna*. 2.ed. - São Paulo: Perspectiva, 1990.

BRASIL. Ministério da Educação. *Parâmetros curriculares nacionais: ensino médio*. MEC, 1999.

BUENO, F. S.. *Dicionário escolar da língua portuguesa*. Rio de Janeiro: FENAME, 1976.

CARVALHO, Ana Maria Pessoa de; CASTRO, Ruth Schmitz de; LABURU, Carlos Eduardo; MORTIMER, Eduardo Fleury. *Pressupostos epistemológicos para a pesquisa em ensino de ciências*. In: *Cadernos de Pesquisa*, São Paulo, n.82, ago.1992, p.85-89.

CARVALHO, A. M. P. et alii. *Termodinâmica*. São Paulo: EdUSP, 1999.

CAVALCANTE, Marisa Almeida. O ensino de uma nova física e o exercício da cidadania. *Revista Brasileira de Ensino de Física*. São Paulo, SBF, v.21, n.4, 550-551.

CHASSOT, Attico. *A ciência através dos tempos*. São Paulo: Moderna, 1994.

_____. *Alfabetização científica: questões e desafios para a educação*. Ijuí: Unijuí, 2001.

DE BASTOS, Fábio da Purificação. *Alfabetização técnica na disciplina de física: uma experiência educacional dialógica*. Florianópolis: UFSC/CED, 1989 (dissertação de mestrado).

DELIZOICOV, Demétrio, ANGOTTI, José André Peres. *Física*. São Paulo: Cortez, 1992.

- FOUREZ, Gérard. *Alfabetización científica y tecnológica: acerca de las finalidades de la enseñanza de las ciencias*. Buenos Aires: Colihue, 1997.
- FREIRE, Paulo. *Pedagogia do oprimido*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.
- GIL PÉREZ, Daniel et alii. ¿Tiene sentido seguir distinguiendo entre aprendizaje de conceptos, resolución de problemas de lápiz y papel y realización de prácticas de laboratorio? *Enseñanza de las ciencias*, v.17, n.2, 1999, p.311-320.
- GOLDENBERG, Mirian. *A arte de pesquisar: como fazer pesquisa qualitativa em ciências sociais*. Rio de Janeiro: Record, 2000.
- GONÇALVES Filho, Aurélio, TOSCANO, Carlos. *Física e realidade*. Vol.3. São Paulo: Scipione, 1997.
- GRAF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física*. v.3: eletromagnetismo. 3 ed. – São Paulo: EdUSP, 1998.
- HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. *Fundamentos de física – v.4: óptica e física moderna*. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- HILL, Ann Marie, SMITH, Howard A. Practice meets theory in technology education: a case of authentic learning in the high school setting. *Journal of Technology Education*, v.9, n.2, spring 1998, p.29-45.
- HOEPFL, Marie C. Choosing qualitative research: a primer for technology education researchers. *Journal of Technology Education*, v.9, n.1, fall 1997, p.47-63.
- IRESON, Gren. The quantum understanding of pre-university physics students. In.: *Physics Education*, 35(1) January 2000, p.15-21.
- KAWAMURA, Lili.. *Novas tecnologias e educação*. São Paulo: Ática, 1990.
- KOSIK, Karel. *A dialética do concreto*. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1995.
- KUENZER, Acácia Z.. *Ensino de 2º. grau: o trabalho como princípio educativo*. São Paulo: Cortez, 1997.
- KUHN, Thomas S.. *A estrutura das revoluções científicas*. São Paulo: Perspectiva, 1998
- LACEY, Hugh. *Valores e atividade científica*. São Paulo: Discurso Editorial, 1998.
- LAKATOS, Imre. O falseamento e a metodologia dos programas de pesquisa científica. In: *A crítica e o desenvolvimento do conhecimento*. Imre Lakatos e Alan Musgrave (orgs.). São Paulo: Cultrix/EdUSP, 1979, p.109-243.
- _____. *La metodología de los programas de investigación científica*. 1 ed. – Madrid: Alianza Editorial, 1993.
- LAUDAN, Larry. *El progreso y sus problemas*. Madrid: Encuentro, 1986.
- LUDKE, Menga; ANDRE, Marli E. D. A.. *Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas*. São Paulo: EPU, 1986, 99p.

- MAIA, Newton Freire. *A ciência por dentro*. 5.ed. – Vozes, 1998, p. 119-137.
- MANACORDA, M. A.. Depoimento. *Revista da ANDE* (São Paulo), v.5, n.10, p.59-64, 1986.
- _____. *Marx e a pedagogia moderna*. São Paulo: Cortez, 2000.
- MARCONDES HELENE, Maria Elisa. *Ciência e tecnologia de mãos dadas com o poder* - São Paulo: Moderna, 1996.
- MARX, K. O método da economia política. 1996 (mimeo).
- MÁXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz. *Física*: volume único. São Paulo: Scipione, 1997.
- MOREIRA, Marco A.; MASINI, Elcie F. Salzano. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. – São Paulo: Moraes, 1982.
- MOTOYAMA, Shozo. Educação técnica e tecnológica em questão. Os caminhos do passado, presente e futuro. In: *Educação técnica e tecnológica em questão. 25 anos do CEETEPS*. História vivida. Shozo Motoyama (organizador). São Paulo: EdUnesp, 1995.
- NUNES, Eliana dos Reis. *Goiânia, Tchernobyl e a tecnologia nuclear: a informação científica entre alunos do 2º. grau*. Dissertação de mestrado. Florianópolis: CCE-UFSC, 1991.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. Física básica – v.3: eletromagnetismo. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- _____. Física básica – v.4: ótica, relatividade, física quântica. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.
- OSTERMANN, Fernanda. A epistemologia de Kuhn. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13, n.3, p.184-196, dezembro 1996.
- PIETROCOLA, Maurício et alii. As ilhas de racionalidade e o saber significativo: o ensino de ciências através de projetos. *Ensaio*, v.2, n.1, março 2000, p.99-122.
- RAPOSO, Cláudio, ROESER, Huber Mathias. Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio. *Revista REM*, Escola de Minas, Ouro Preto, UFMG, jan./mar 2000
- SAMPAIO, Marisa Narcizo, LEITE, Lígia Silva. *Alfabetização tecnológica do professor*. Petrópolis: Vozes, 2000.
- SANTOS, Clodogil F. R. dos, SCALVI, Luis Vicente de Andrade. Ensino de física com o auxílio de tecnologias contemporâneas – efeitos de centelhas de alta tensão em aparelhos e dispositivos. In: *Congreso Iberoamericano de Educación en Ciencias Experimentales*, 2, Córdoba, setembro/2000a, arquivo T4-083 (mídia eletrônica).
- SANTOS, Clodogil F. R. dos. Ensino de física com o uso de aparatos tecnológicos contemporâneos. *Reunião Técnica do Programa de Pós-Graduação em Educação para a Ciência*, 5, Bauru, outubro/2000b, p.33
- SANTOS, Clodogil F. R. dos, SCALVI, Luis Vicente de Andrade. Conexão entre ensino de física e tecnologia via objetos tecnológicos: o caso do tubo de raios catódicos. In: *Simpósio Nacional de*

Ensino de Física, 14, Natal, julho/2001.

SAVIANI, D.. *Escola e democracia*. Campinas: Autores Associados, 2000.

_____. *Pedagogia histórico-crítica: primeiras aproximações*. Campinas: Autores Associados, 2000.

SEVERINO, Antônio Joaquim. *Metodologia do trabalho científico*. São Paulo: Cortez, 2000.

TAGLIATI, José Roberto. *Um estudo dos conceitos espontâneos em eletricidade*. São Paulo: IFUSP/FEUSP, 1991 (dissertação de mestrado).

TERRAZZAN, Eduardo A. *Perspectivas para a inserção da Física Moderna na Escola Média*. Tese de doutorado. São Paulo: FEUSP, 1994.

THIOLLENT, Michel. *Metodologia da pesquisa-ação*. 9.ed. – São Paulo: Cortez: Autores Associados, 2000.

TOSCANO, Carlos. *Acendendo algumas "luzes" e tomando uns "choques": a proposta para o ensino do eletromagnetismo do GREF numa perspectiva de formação continuada de professores*. São Carlos: UFSCar/CECH, 1991 (dissertação de mestrado).

TRIVELATO, Silvia Luzia Frateschi Trivelato. Ensino de ciências e o movimento CTS (Ciência/Tecnologia/Sociedade). *Escola de Verão para Professores de Prática de Ensino de Física, Química e Biologia*, 3. Atas. São Paulo: FEUSP, 1995.

UTGES, Graciela, FERNÁNDEZ, Patricia, JARDÓN, Alberto. Física e tecnología. Una integración posible. *Caderno Catarinense de Ensino de Física*, v.13, n.2, agosto de 1996, pp.108-120.

VALE, José Misael Ferreira do. Educação científica e sociedade. In: *Questões atuais no ensino de ciências*. Roberto Nardi (org.). São Paulo: Escrituras, 1998.

VARGAS, Milton. *História da técnica e da tecnologia no Brasil*. Milton Vargas (org.). São Paulo: UNESP/CEETEPS, 1994.

VILLANI, Alberto. *Reflexões sobre o ensino de física no Brasil: práticas, conteúdos e pressupostos*. *Revista de Ensino de Física*, v.6, n.2, dezembro de 1984, p. 76-95.

WINNER, Langdon. Tienen política los artefactos? Publicación original: "Do Artifacts Have Politics?" (1983), en: D. MacKenzie et al. (eds.), *The Social Shaping of Technology*, Philadelphia: Open University Press, 1985 (versión castellana de Mario Francisco Villa, documento eletrônico obtido em WWW no endereço www.campus-oei.org/salactsi/winner.htm)

Apêndice 1:

Texto sobre conceitos de eletromagnetismo utilizados nas intervenções didáticas.

Conceitos Básicos de Eletromagnetismo

1. Força Elétrica e Lei de Coulomb

Os físicos têm uma maneira particular de interpretar a natureza. Nessa interpretação, são utilizados diversos conceitos, modelos e hipóteses, criados por esses cientistas, de forma que possam estabelecer uma representação da natureza. Entre esses conceitos, encontramos o que os físicos chamam de *interações fundamentais*, cuja validade estende-se a todos os fenômenos naturais até hoje observados.

As *interações fundamentais* são: *gravitacional*, *eletromagnética*, *nuclear forte* e *nuclear fraca*. Durante o curso de Física ministrado no Ensino Médio, nos restringimos apenas aos dois primeiros tipos de interação. Os outros dois requerem um pouco mais de aprofundamento em aspectos relacionados à estrutura da matéria.

Quando estudamos a interação gravitacional, verificamos que dois corpos têm a propriedade de se atrair, sendo que a força com que se atraem é diretamente proporcional às suas *massas* e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre seus *centros de massa*. A partir da interação gravitacional, tínhamos estabelecido o conceito de *massa gravitacional* para indicar a propriedade dos corpos de se atraírem mutuamente. Esse conceito não coincide com o de *massa inercial*, que é a propriedade do corpo resistir à ação de uma força que tende a modificar seu estado de repouso ou de movimento retilíneo uniforme, apesar de que tanto a massa gravitacional quanto a inercial são medidas pela mesma unidade, sendo dimensionalmente equivalentes.

No caso da *interação eletromagnética*, precisamos definir um conceito similar àquele estabelecido para a *interação gravitacional*. Podemos observar em diversos fatos de nosso cotidiano, a existência de uma propriedade dos corpos que recebe o nome de eletricidade. A ocorrência de relâmpagos, o funcionamento de aparelhos elétricos, a atração de pedacinhos de papel por um pente atritado contra cabelos secos, são alguns dos fenômenos que estão relacionados com a eletricidade. Mas, de onde vem essa tal eletricidade?

Na antigüidade, os gregos observaram que o âmbar (um tipo de resina solidificada de certas árvores), quando atritado com lã de carneiro seca, adquiria a propriedade de atrair objetos leves, tais como fragmentos de palha de milho. Como em grego o âmbar era chamado de *elektron*, essa propriedade recebeu o nome de eletricidade.

Demorou muito tempo para que os estudiosos se interessassem pelos fenômenos elétricos. “Em 1600, William Gilbert, médico da corte da Inglaterra, publicou seu tratado *De magnete*, onde menciona outros corpos que se eletrizam por atrito, tais como o vidro, o enxofre e o lacre.” (NUSSENZVEIG, 1997, p.3). Mas por que demorou tanto tempo para que a eletricidade despertasse interesse científico, apesar de seus efeitos serem muito mais intensos que a gravitação? A resposta a essa questão está na interpretação segundo a qual se considera a existência de dois tipos de eletricidade: uma chamada “vítrea” e a outra “resinosa”, conforme a denominação de Charles François du Fay, às quais Benjamin Franklin denominou respectivamente *positiva* e *negativa*. A interação entre as componentes positiva e negativa de eletricidade de um corpo anularia a eletricidade total, ou seja, em sua condição natural, os corpos são eletricamente *neutros*. Mas a que se atribui essa propriedade denominada eletricidade?

O próprio Benjamin Franklin, que estudou profundamente os fenômenos elétricos, pensava na eletricidade como fluido imponderável, de forma similar ao calor que, na época, os estudiosos interpretavam como sendo um fluido desprovido de peso e que não ocupava volume.

Embora a atual teoria eletromagnética tenha outra interpretação, muito do que é

aceito como fundamental no estudo da eletricidade foi concebido por volta do final do século 18, principalmente por Franklin, que estabeleceu a primeira formulação do *princípio da conservação da carga elétrica*, embora pensasse se tratar de um fluido. Esse princípio, ao lado dos princípios da *conservação do momento e da energia*, constituem-se em alicerces da Física, sendo válidos inclusive em suas interpretações mais atuais.

Mais tarde, a interpretação da eletricidade como fluido perdeu seu significado, sendo substituída pela noção de *carga elétrica*. Esta, de maneira similar ao conceito de *massa gravitacional*, é o elemento básico para a definição da *força eletrostática*, dada pela *lei de Coulomb*. Entretanto, antes de ser quantificada por Charles Augustin de Coulomb, a lei das forças eletrostáticas foi inferida por Joseph Priestley, o descobridor do elemento oxigênio. Em 1766, ele verificou, através de experimentos, que um recipiente metálico eletrizado não apresentava forças eletrostáticas em sua superfície interna. Com esse experimento, ele atribuiu à interação eletrostática uma similaridade com a interação gravitacional. Entretanto, foi Charles Augustin de Coulomb que, em 1785, realizou um experimento com a mesma balança de torção que, mais tarde, Cavendish utilizaria para medir a Constante de Gravitação (NUSSENZVEIG, 1997, p.6). Assim, Coulomb chegou à lei que leva seu nome.

Através de experimentos, du Fay inferiu a maneira como as cargas elétricas positivas e negativas interagem. A interação eletrostática básica se dá entre cargas elétricas localizadas no vácuo.

Ainda em 1729, Stephen Gray descobriu que “as cargas elétricas podiam ser transmitidas através de diferentes materiais” (NUSSENZVEIG, 1997, p.4). Por se atribuir a esses materiais a propriedade de “conduzir” eletricidade, eles foram denominados *condutores*. Dessa categoria de materiais, fazem parte os metais, o solo, o corpo humano, as soluções ácidas, básicas ou salinas e o carbono na forma de grafite. Existe ainda uma outra categoria de materiais que por sua propriedade de não conduzirem eletricidade foram denominados *isolantes*. São isolantes: os plásticos, as borrachas, a madeira, as resinas (entre as quais, o âmbar), o vidro, as cerâmicas comuns (como a porcelana), a lã, a água destilada e os gases em condições normais de temperatura e pressão (CNTP), especialmente o ar seco.

Há vários processos através dos quais podemos eletrizar corpos: atrito, contato com outro corpo eletrizado e indução eletrostática. Em condições especiais (ar seco, principalmente), um corpo pode permanecer eletrizado indefinidamente. Na prática, a umidade do ar faz com que, aos poucos, esse corpo perca sua eletrização.

Até o começo do século 20, a carga elétrica era concebida como algo de natureza contínua, ou seja, poderia ser fracionada em infinitas partes. Entretanto, em 1910, R. A. Millikan realizou um experimento através do qual determinou o valor da carga elétrica elementar (e), que é o menor valor de carga elétrica que pode ser encontrado na natureza. Essa carga elétrica elementar corresponde à carga do elétron (quando negativa) ou do próton (quando positiva). Um átomo neutro possui o mesmo número de prótons e elétrons. Se ele ganha ou perde elétrons, fica eletricamente carregado e passa a ser denominado *ion*. Tanto elétrons quanto íons podem ser portadores de carga. Nos metais, os portadores de carga são os elétrons e nas soluções ácidas, básicas ou salinas, bem como nos gases rarefeitos, são os íons. Um corpo eletricamente carregado tem diferentes quantidades de cargas positivas e negativas. Por exemplo, se determinado corpo possui 10^{23} cargas positivas contra 10^{24} cargas negativas, ele estará carregado negativamente.

Além do estado de eletrização dos corpos, as cargas elétricas são responsáveis pelo que se pode denominar de *corrente elétrica*. Para que se estabeleça uma corrente elétrica através de um condutor, é preciso que se aplique convenientemente um Campo Elétrico, de forma a fazer surgir sobre os portadores de carga do condutor uma força elétrica de natureza coulombiana.

2. Campo Elétrico

Da mesma forma que a presença de uma *massa gravitacional* cria no espaço ao seu redor uma região denominada *campo gravitacional*, a uma *carga elétrica* situada no espaço também podemos associar um *campo elétrico*. Da mesma forma que o campo gravitacional, o campo elétrico também se estende ao infinito.

Suponhamos que dispomos de uma carga de prova, ou seja, uma carga de valor tão pequeno que seu campo elétrico pode ser considerado desprezível. Vamos colocar essa carga de prova imersa num campo elétrico, produzido por uma carga elétrica fixa no vácuo. Vamos observar que a carga de prova será submetida a uma força que é proporcional ao valor dessa carga e à intensidade do campo elétrico em que está imersa. A intensidade do campo se reduz de maneira exponencial, sendo nula no infinito. Assim, “*uma carga ou distribuição de cargas no vácuo afeta todos os pontos do espaço, produzindo em cada um deles um valor do campo elétrico, e a carga de prova revela a existência deste campo pela força nela exercida.*” (NUSSENZVEIG, 1997, p.15). Podemos interpretar a *carga elétrica* como sendo fonte do *campo elétrico*.

Para representar o campo elétrico, é utilizada a noção de linha de força. Essas linhas constituem-se em curvas tangentes ao vetor campo elétrico num ponto considerado. As linhas de força divergem da carga positiva e convergem para a carga negativa. Se as cargas estiverem distribuídas por uma superfície, as linhas tendem a se distribuir perpendicularmente a cada elemento de área da superfície. Se essa superfície for plana, as linhas de campo são paralelas e o denominamos *campo elétrico uniforme*.

Para maiores detalhes, veja GREF (v.3, 1998, pp.37-71).

3. Potencial Elétrico

Quando estudamos o *campo gravitacional*, interpretamos que a capacidade ou possibilidade da força gravitacional realizar trabalho era medida pela sua *energia potencial gravitacional* (U_g). Tal grandeza depende diretamente da *massa gravitacional* (m) do corpo, da *intensidade do campo gravitacional* (g) e da *altura* (h) do corpo em relação ao solo (desde que não seja grande a tal ponto de ocorrer variação no valor do campo).

O *campo eletrostático* pode receber um tratamento similar nesse aspecto, ou seja, podemos definir uma grandeza denominada *energia potencial eletrostática* (U), a qual, neste caso, depende do valor da *carga elétrica de prova* (q), da *intensidade do campo elétrico* (E) e da *distância* entre a fonte do campo e a carga de prova (r).

No caso do *campo gravitacional*, denominamos *potencial gravitacional* o valor da *energia potencial gravitacional* por unidade de *massa* do corpo. Da mesma forma, podemos definir como *potencial eletrostático* ou *elétrico* (V) a grandeza que expressa o valor da *energia potencial eletrostática* (U) por unidade de *carga* de prova (q). Assim, se tivermos uma determinada *carga elétrica* colocada num ponto do campo cujo *potencial* seja conhecido, podemos determinar que valor de *energia potencial eletrostática* essa carga terá no citado ponto.

A noção de potencial nos remete ao conceito de diferença de potencial, bastante importante para compreender os fenômenos relacionados à corrente elétrica, resistência elétrica, etc.

Se a energia potencial eletrostática (U) está relacionada com a força elétrica (F) exercida sobre uma carga ao longo de um caminho possível (Δl) para ela (veja o conceito de trabalho), o potencial elétrico (V) está relacionado com o campo elétrico (E) ao longo desse caminho, ou seja:

$$U = F \cdot \Delta l = q \cdot E \cdot \Delta l \qquad V = U/q = E \cdot \Delta l$$

A diferença de potencial (ΔV) está relacionada com a energia potencial por unidade de carga elétrica em dois pontos do campo elétrico, de forma que:

$$\Delta V = V_A - V_B = \Delta U/q = E (r_A - r_B)$$

Onde $r_A - r_B = \Delta l$, que corresponde à diferença entre as distâncias da fonte do campo em relação ao ponto A e ao ponto B.

Muitos autores simbolizam utilizam U no lugar de ΔV . Entretanto, esse U não deve ser confundido com a energia potencial eletrostática.

Se considerarmos o ponto B situado no infinito, $V_B \rightarrow 0$ e podemos escrever:

$$\Delta V = V_A - V_B = V_A - 0 = V_A = \Delta U/q = E \cdot r_A = V$$

Em outras palavras, podemos afirmar que:

$$E = \Delta V / \Delta r$$

que é a expressão do campo elétrico em função da diferença de potencial.

A partir daí surge a unidade de medida do campo elétrico do Sistema Internacional, que é o volt por metro (V/m). Portanto, o campo elétrico indica quanto o potencial decresce a cada unidade de comprimento.

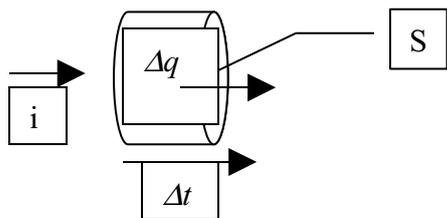
Para maiores detalhes, veja GREF (v.3, 1998, pp.37-71).

4. Corrente e Resistência Elétrica

Vamos imaginar que dispomos de duas placas metálicas muito próximas uma da outra. Chamamos uma dessas placas de A e a outra de B.

Utilizando um processo de eletrização qualquer, carregamos A com carga positiva e B com carga negativa, ambas de mesmo valor. Assim, podemos afirmar que existe um campo elétrico E entre as duas placas separadas por uma distância r e que esse campo é uniforme. Pela expressão $E = \Delta V / \Delta r_{A \rightarrow B}$, podemos afirmar que existe uma diferença de potencial $\Delta V = V_A - V_B$ entre as placas, ou seja, é possível realizar um trabalho utilizando a força elétrica entre as duas placas.

Agora, vamos imaginar um fio condutor ligando as placas A e B. O que acontecerá? Relembrando o que dissemos sobre a força elétrica, as cargas positiva da placa A e negativa da placa B se atraem. Como nos metais existem portadores de carga, representados pelos elétrons de condução, dizemos que se estabelece uma *corrente elétrica* ao longo do fio condutor. A *intensidade da corrente elétrica* (i) depende da *quantidade de carga* (Δq) que passa por uma seção reta (S) do fio a cada *unidade de tempo* (Δt).



A intensidade de corrente elétrica é medida no Sistema Internacional através de uma unidade chamada *ampère* (A), que atualmente é definido em função da força magnética exercida mutuamente por dois fios paralelos percorridos por essa intensidade de corrente. Podemos definir provisoriamente que uma corrente elétrica de intensidade igual a 1A é o resultado de uma carga elétrica de 1 coulomb (C) atravessando uma certa seção reta (S) de um condutor num intervalo de tempo de 1 segundo. Podemos determinar quantos elétrons percorrem essa seção de condutor sabendo que a carga elétrica elementar é $e = 1,6 \times 10^{-19} C$.

No final do processo de transferência de cargas, as placas A e B já não apresentam mais cargas positiva e negativa. Ambas estão neutras. Pelo princípio da conservação da carga elétrica, a carga total antes e depois do processo mantém-se inalterada. De fato, se apresentam a mesma quantidade de carga, mas com sinal contrário, a somatória das cargas das duas placas juntas é nula, o que persiste após a ligação do fio condutor entre ambas. Entretanto,

não há mais diferença de potencial entre elas e a corrente elétrica deixa de circular, pois se não há diferença de potencial, não há campo elétrico e, conseqüentemente, não há força elétrica para movimentar as cargas.

A corrente elétrica está relacionada com o movimento dos portadores de carga no interior do condutor. Como não é possível visualizar diretamente esse movimento, precisamos lançar mão de um modelo que nos permita interpretar o que ocorre, de forma a prever os fenômenos relacionados com a corrente elétrica.

Inicialmente, precisamos imaginar como é um metal em sua estrutura elementar. O metal é entendido como sendo constituído de íons, distribuídos uniformemente em uma distribuição geométrica tridimensional denominada rede cristalina. O fato de os íons estarem a iguais distâncias uns dos outros é devido à interação coulombiana (eletrostática) que os mantém em posições de equilíbrio eqüidistantes entre si. Cabe aqui uma questão: por que nos referimos aos componentes da rede cristalina como sendo íons e não átomos neutros, como era de se esperar? Os metais apresentam uma característica comum que é a existência de uma banda eletrônica de condução, ou seja, um ou alguns de seus elétrons permanecem fracamente ligados ao núcleo, podendo ser facilmente retirados de suas proximidades. Esses elétrons migram de um íon para outro, num movimento aleatório, percorrendo a rede cristalina, interagindo muito pouco com ela. A aparência desse modelo assemelha-se à idéia de um gás, cujas moléculas apresentam um intenso movimento, colidindo entre si e contra as paredes do recipiente. Pode-se afirmar que os elétrons interagem com os íons da rede cristalina, desviando suas trajetórias. Essas interações assemelham-se a choques mecânicos elásticos, sendo que, parte do movimento de agitação eletrônica é transferido para esses íons.

Sem um campo elétrico agindo no condutor, o fluxo de elétrons que atravessam a seção do condutor (S) da direita para a esquerda, anula-se com o fluxo que a atravessam em sentido contrário, resultando nula a corrente elétrica. Contudo, se for aplicado um campo elétrico a esse condutor, a agitação eletrônica passa a se deslocar preferencialmente em sentido contrário ao do vetor campo elétrico (**E**). Assim, o fluxo de elétrons deixa de ser nulo e fica estabelecida uma corrente elétrica no condutor.

Por ser ocasionada pela força elétrica, poderíamos pensar que os elétrons aumentariam constantemente de velocidade, como prevê a Segunda Lei de Newton. Entretanto, assim que aceleram, os elétrons interagem com os íons da rede, transferindo a eles parte do seu movimento. Assim, a velocidade de deslocamento da agitação eletrônica é constante e só depende do campo elétrico aplicado.

Por causa dos “choques” com a rede cristalina, surge uma dificuldade de deslocamento para a agitação eletrônica ao longo do condutor. Além disso, quanto maior a agitação térmica dos íons da rede, maior será a quantidade de “choques” entre os elétrons e os íons. Isso faz com que aumente mais ainda a agitação térmica e a dificuldade em se deslocar no condutor. O efeito mais sensível desse aumento da agitação térmica é o aumento da temperatura do condutor.

Cada material condutor apresenta uma propriedade de dificultar em maior ou menor grau a passagem da corrente elétrica. A essa propriedade do condutor chamamos resistividade elétrica (ρ). Entretanto, outras grandezas físicas contribuem para esse grau de dificuldade. São elas: o comprimento, a espessura e a temperatura do condutor. Considerando um condutor de comprimento Δl e área de seção A, podemos determinar a sua resistência elétrica a uma temperatura $T = T_0 + \Delta T$ através da expressão:

$$R = \rho \cdot A / \Delta l \quad \text{onde } \rho = \rho_0 (1 + \alpha \Delta T)$$

O índice zero na resistividade e na temperatura correspondem a valores considerados padrão de medida inicial.

A resistência elétrica é a medida da dificuldade de passagem de uma corrente

elétrica i por um condutor submetido a uma diferença de potencial V , de forma que:

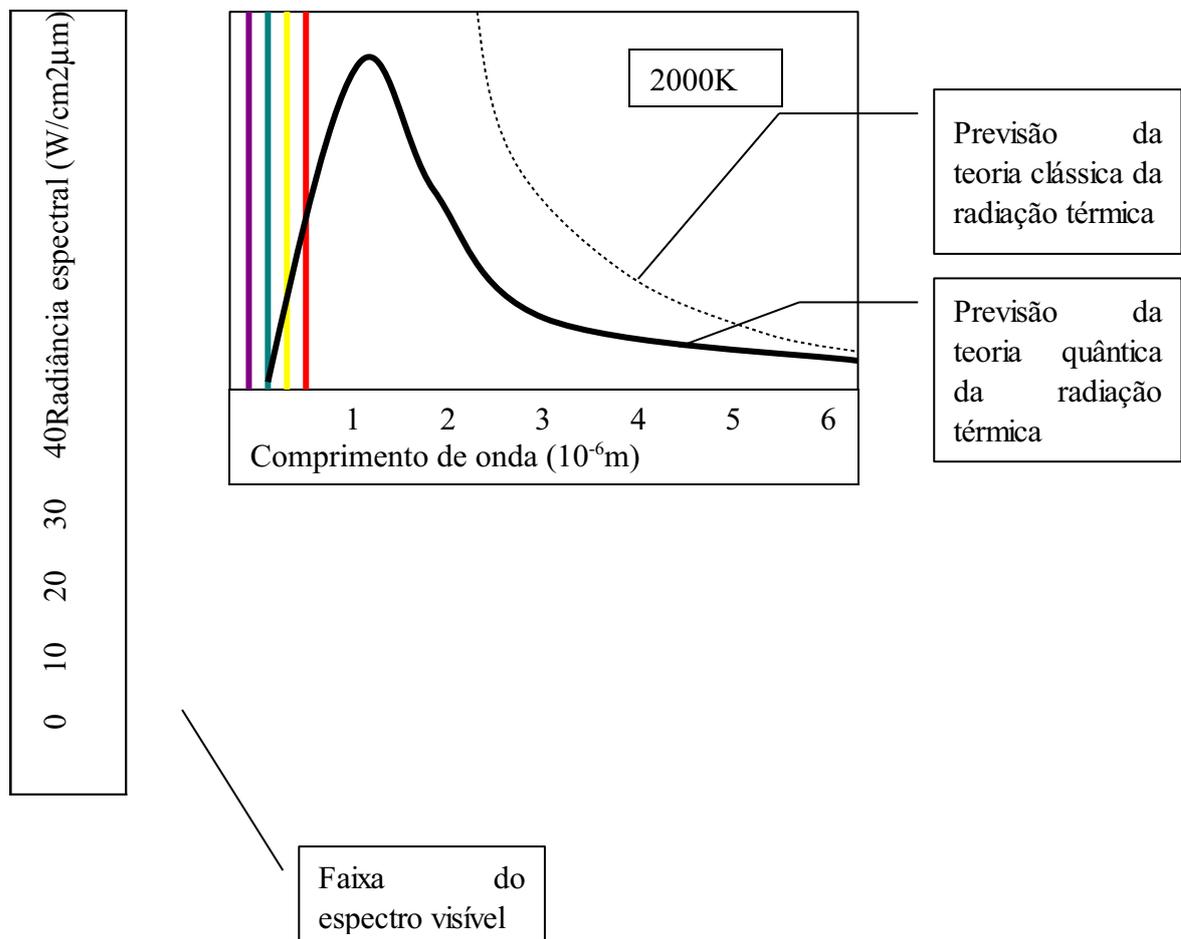
$$R = V / i$$

Para maiores detalhes, veja GREF (v.3, 1998, pp.37-71).

5. Espectro de Emissão de Radiação dos Sólidos e dos Gases Rarefeitos – estudo qualitativo

Um dos grandes problemas da Física no final do século 19 era o da radiação de corpos aquecidos. A teoria clássica para a radiação previa que quanto menor o comprimento de onda da radiação emitida corpo, mais a radiância espectral (potência irradiada por unidade de área do corpo radiante), tendia para o infinito. Contudo, a experiência não confirmava a teoria. O que acontecia então? Max Planck formulou uma teoria onde interpretava que a emissão de energia pelos corpos aquecidos se dava de forma “quântica”, ou seja, a energia era emitida em porções discretas, denominadas *quanta* (plural de *quantum*).

Dentro de uma curva de emissão térmica, há uma extensa gama de comprimentos de onda que são emitidos. Quanto maior o comprimento de onda, menor é a frequência da radiação emitida pelo corpo aquecido. No gráfico abaixo, apresentamos as curvas de radiância espectral para a temperaturas de 2000K (cerca de 1727°C).



Note que a curva de radiância prevista pela teoria quântica tem seu pico máximo na faixa de comprimento de onda de $1 \times 10^{-6}m$, correspondente à emissão de radiação infravermelha. Uma pequena parte dessa curva adentra a faixa do visível. De fato, um corpo aquecido a essa temperatura, fica visível no escuro, emitindo uma luz avermelhada.

Se a teoria clássica fosse válida para esses comprimentos de onda menores, o corpo irradiaria com bastante intensidade na faixa do visível e, mais ainda, na faixa do ultravioleta e subsequentes, tornando extremamente perigoso o simples fato de olhar para o corpo aquecido. Entretanto, observamos que, na prática, isso não acontece. Um corpo aquecido em brasa não emite além de um tom vermelho alaranjado. Se aumentarmos sua temperatura para cerca de 2500K, sua emissão passa a ser caracterizada por um brilho branco amarelado, sugerindo que esse corpo estaria emitindo quase todos os comprimentos de onda do espectro visível. Temperaturas maiores farão com que o material se funda (se fosse ferro já teria se fundido).

De acordo com a teoria quântica, um átomo isolado recebe e emite radiação em porções discretas e bem determinadas de energia, que correspondem a frequências bem determinadas. Algumas noções sobre a interpretação quântica da matéria estão detalhadas no texto “Modelo de matéria baseado na Física Quântica” (GREF, 1996, v.2, pp.199-203).

Num gás rarefeito, os átomos estão bem distantes uns dos outros, de modo que podemos concebê-los como átomos isolados. Nos sólidos existem muitos átomos, os quais, por estarem muito próximos uns dos outros, ocupam diversos estados quânticos, absorvendo e emitindo radiação em diversas frequências, da maneira prevista pelo gráfico acima. Para maiores detalhes, sugerimos ler o texto “Interpretação da produção e da absorção da luz” (GREF, 1996, v.2, pp.203-207).

Bibliografia

- DELIZOICOV, Demétrio, ANGOTTI, José André Peres. Física. São Paulo: Cortez, 1992.
- GONÇALVES Filho, Aurélio, TOSCANO, Carlos. Física e realidade – v.3: eletricidade e magnetismo. São Paulo: Scipione, 1997.
- GREF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. Física – v.2: física térmica, óptica. São Paulo: EdUsp, 1996.
- _____. Física – v.3: eletromagnetismo. São Paulo: EdUsp, 1998.
- HALLIDAY, David, RESNICK, Robert, WALKER, Jearl. Fundamentos de física – v.4: ótica e física moderna. Rio de Janeiro: LTC, 1995.
- MÁXIMO, Antônio, ALVARENGA, Beatriz. Física. São Paulo: Scipione, 1997.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. Física básica – v.3: eletromagnetismo. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- _____. Física básica – v.4: ótica, relatividade, física quântica. São Paulo: Edgard Blücher, 1998.

Anexo 1 - Cópias dos questionários respondidos pelos alunos na fase preliminar.

Anexo 2 - Texto sobre o problema da contaminação por mercúrio causada por lâmpadas fluorescentes.

Contaminação ambiental provocada pelo descarte de lâmpadas de mercúrio

Cláudio Raposo
Huber Mathias Roeser
Rev. REM jan./mar. 2000, Escola de Minas, Ouro Preto, UFMG¹

Resumo

Esse trabalho tem o propósito de alertar a comunidade quanto aos problemas ambientais provocados pelo descarte crescente e indiscriminado de produtos contendo mercúrio, particularmente, pelas lâmpadas fluorescentes e de vapor (mercúrio e sódio).

Grande parte das informações aqui apresentadas foi extraída do contexto existente nos Estados Unidos da América, país onde a legislação e a infra-estrutura disponível vêm sendo discutidas, implantadas e/ou implementadas, desde o início da década de 80.

Palavras-chave: contaminação ambiental, mercúrio, lâmpadas de mercúrio (fluorescentes e de vapor)

1. Introdução

Assistimos, nesse final de milênio, a uma onda de mudanças adaptativas à nova ordem mundial. Entre estas, a mentalidade ambientalista reveste-se de especial relevância, na medida em que identifica-se com as necessidades de competitividade, produtividade, segurança e qualidade, passando, assim, a constituir-se em fator estratégico no mundo globalizado. E, por esses motivos, as questões ambientais passam a ser encaradas como oportunidades de desenvolvimento, seja pela aplicação de tecnologias ambientalmente seguras, seja pela ' racionalização do uso de recursos naturais. Um dos problemas ambientais que tem chamado a atenção pela sua gravidade é a contaminação causada pelo mercúrio. Esse elemento, devido às suas propriedades singulares, é um componente essencial utilizado em centenas de produtos. Entre eles, destacam-se os produtos medicinais e farmacêuticos, as pilhas, as baterias, as lâmpadas, os termômetros, etc. Embora o mercúrio tenha suas aplicações práticas, muitos cientistas comprovam que alguns de seus compostos são neurotoxinas potentes, que podem causar efeitos deletérios a organismos expostos a ele e quando, em altas concentrações, até danificar o sistema nervoso central do homem, [1].

Um exemplo trágico ocorreu na Baía de Minamata - Japão, na década de 1950, onde mulheres grávidas contaminaram-se com altos níveis de mercúrio através do consumo de peixes contaminados. Como resultado dessa contaminação, seus descendentes desenvolveram múltiplos sintomas neurológicos (microcefalia, hipoplasia e atrofia do cérebro).

¹ Documento eletrônico obtido na WWW, sítio <http://www.redeambiente.org.br/>

2. Produtos que contêm mercúrio

Os produtos que contêm mercúrio, ao fim de sua vida útil, são considerados resíduos perigosos, porque ao serem lançados no meio ambiente podem contaminar solos, corpos d'água e ecossistemas. Na Tabela 1, estão relacionados os principais produtos que contêm mercúrio em resíduos sólidos urbanos municipais. É importante salientar que a busca por maior eficácia e economicidade energética de fontes de luz artificial tem levado a substituição das lâmpadas incandescentes pelas de mercúrio, fato este que evidencia a necessidade de maior controle do descarte desse produto.

3. Informações básicas sobre as lâmpadas de mercúrio

Uma lâmpada fluorescente típica é composta de um tubo selado de vidro preenchido com gás argônio à baixa pressão (2,5 torr) e vapor de mercúrio, também à baixa pressão parcial. O interior do tubo é revestido com uma poeira fosforosa composta de vários elementos. A Tabela 2 relaciona a concentração desses elementos em mg/kg da poeira fosforosa [3]. Espirais de tungstênio, revestidas com substância emissora de elétrons, formam os eletrodos em cada uma das extremidades do tubo. Quando a voltagem é aplicada, os elétrons passam de um eletrodo para outro, criando um fluxo de corrente, denominado de arco voltaico, ou descarga elétrica. Esses elétrons chocam-se com os átomos de argônio, os quais, por sua vez, emitem mais elétrons. Os elétrons chocam-se com os átomos do vapor de mercúrio e os energizam, causando a emissão de radiação ultravioleta (UV). Quando os raios ultravioletas atingem a camada fosforosa, que reveste a parede do tubo, ocorre então, a fluorescência, produzindo luz visível [4]. A lâmpada fluorescente mais usada é a de 40 watts (4 pés de comprimento = 1,22 m; diâmetro de 1.1/2"), embora outras de diferentes formas e tamanhos sejam também procuradas. O tubo usado numa lâmpada fluorescente padrão é fabricado com vidro, similar ao que é utilizado para a fabricação de garrafas e outros itens de consumo comum.

Os terminais da lâmpada são de alumínio ou plástico, enquanto os eletrodos são de tungstênio, níquel, cobre ou ferro. Nenhum desses materiais apresenta risco potencial de contaminação ambiental. A camada branca, normalmente chamada de fósforo, que reveste o tubo de uma lâmpada fluorescente, é geralmente um clorofluorfosfato de cálcio, com antimônio e manganês (1 a 2%). A quantidade desses componentes menores pode mudar ligeiramente, dependendo da cor da lâmpada. Uma lâmpada padrão de 40 watts possui cerca de 4 a 6 gramas de poeira fosforosa [4].

A vida útil de uma lâmpada de mercúrio é de 3 a 5 anos, ou um tempo de operação de, aproximadamente, 20.000 horas, sob condições normais de uso [5].

Tabela 1 - Produtos que contêm mercúrio em um resíduo sólido.

PRODUTO	PERCENTAGEM
Pilhas/Baterias	71,99
Equipamentos elétricos (lâmpadas de mercúrio e etc.)	13,70
Termômetros	6,89
Termostatos	3,30
Pigmentos	1,22
Produtos para uso odontológico	1,18
Resíduos de pintura	0,94

Interruptores de mercúrio	0,77
TOTAL	1 00,00

Fonte: EPA [2]

Tabela 2 - Análise de poeira fosforosa de uma lâmpada fluorescente.

Elemento	Concentração	Elemento	Concentração	Elemento	Concentração
Alumínio	3.000	Chumbo	75	Manganês	4.400
Antimônio	2.300	Cobre	70	Mercúrio	4.700
Bário	610	Cromo	9	Níquel	130
Cádmio	1.000	Ferro	1.900	Sódio	1.700
Cálcio	170.000	Magnésio	1.000	Zinco	48

Fonte: Mercury Recovery Services, in TRUESDALE et al. [3].

3.1 Conteúdo de mercúrio

A quantidade de mercúrio em uma lâmpada fluorescente varia consideravelmente, conforme o fabricante, fábricas diferentes de um mesmo fabricante, tipo de lâmpada e ano de fabricação.

Na Tabela 3 é mostrado o conteúdo de mercúrio segundo dados da NEMA National Electrical Manufacturers Association [5] de uma lâmpada padrão americana de 4 pés (40 W), diâmetro de 1.1/2 polegadas. Estima-se para o ano 2.000 um decréscimo no conteúdo de mercúrio de, aproximadamente, 35% em relação a 1995. Em recente trabalho publicado pela EPA, foi divulgado que há uma expectativa de redução ainda maior entre o período de 2000 a 2007 [6]. Essas reduções no conteúdo de mercúrio advêm do avanço tecnológico do processo de fabricação. As lâmpadas de vapor de mercúrio, também chamadas de HID (High Intensity Discharge), podem possuir maior quantidade de mercúrio que as lâmpadas fluorescentes.

Testes realizados por fabricantes, nos EUA, mostram que uma lâmpada fluorescente padrão de 40 watts contém cerca de 20 mg de vapor de mercúrio a 20°C [3].

3.2 Produção e descarte de lâmpadas

Segundo a Associação Brasileira de Iluminação - ABILUX, a produção brasileira é de 48,5 milhões de lâmpadas [7]. O mercado é dominado por quatro empresas: OSRAM, Philips, General Electric e Sylvania. A relação entre o número de lâmpadas queimadas e o número de lâmpadas fabricadas é de, aproximadamente, 1:1.

Uma pesquisa preliminar sobre o descarte de lâmpadas fluorescentes, realizada junto às empresas e órgãos públicos, no entorno da Região Metropolitana de Belo Horizonte, destacou os seguintes quantitativos mensais:

- FIAT Automóveis (4.800);
- CEMIG (1.666);
- TELEMAR (1.600);
- CENIBRA (1.400);

- CERVEJARIA BRAHMA S/A (1.100);
- PIF-PAF ALIMENTOS (1.000);
- MANNESMANN (1.000);
- PUC-MG (1.000).

No que se refere às lâmpadas de descarga (vapor de mercúrio, vapor de sódio e multivapores) utilizadas, preferencialmente, na iluminação pública, a CEMIG é de longe o maior gerador, com descarte de 350.000 lâmpadas/ano.

Nos EUA, a produção de lâmpadas de mercúrio é de 1 bilhão por ano, deste total 756 milhões são queimadas anualmente e o restante é exportado. Estima-se que 802 milhões de lâmpadas fluorescentes serão queimadas e descartadas nesse país, no ano 2000 [6].

4. Legislação ambiental e regulamentações

4.1 Nos EUA

As regulamentações sobre o manejo, transporte e disposição de lâmpadas e produtos contendo mercúrio estão previstas na Lei Federal Resource Conservation and Recovery Act - RCRA que proíbe a destruição de resíduos mercuriais em aterros ou incineração, quando a quantidade de mercúrio excede o conteúdo de 200 ppb (partes por bilhão) e o resíduo não passa pelo Procedimento de Lixiviação para Caracterização da Toxicidade (Toxicity Characteristic Leaching Procedure - TCLP) [8]. A agência fiscalizadora federal é a EPA - Environmental Protection Agency, com escritórios de representação nos diversos estados norte-americanos. Outras regulamentações são feitas por leis estaduais, mais restritivas. Em julho de 1994, a EPA publicou uma regra destinada ao gerenciamento e administração para as lâmpadas contendo mercúrio (Documento 59 FR 39288).

Nessa regra, a Agência apresentou duas opções para mudanças nas regulamentações abaixo relacionadas:

- Acrescentar o descarte das lâmpadas de mercúrio às regulamentações válidas para o resíduo universal (regulamentações aplicáveis, por exemplo, a alguns tipos de baterias, pesticidas e termostatos - Documento 40 CFR Parte 273), inclusive todas as lâmpadas reprovadas no teste TCLP. Os lugares receptores desses resíduos perigosos (aterros sanitários ou recicladoras) estariam sujeitos às regulamentações de resíduos perigosos da RCRA.
- Condicionar, sob certas condições o descarte das lâmpadas contendo mercúrio isento da regulamentação de resíduo universal:
 - 1) a disposição dessas lâmpadas somente seria possível em aterros destinados a resíduos sólidos aprovados pela EPA, ou
 - 2) o seu destino seria restrito às instalações de reciclagem, as quais deveriam ser licenciadas, aprovadas e registradas pelo estado norte americano competente.

4.2 No Brasil

A regulamentação para o descarte de resíduos sólidos está centrada na Norma NBR 10.004, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT [9]. O mercúrio, além de sua capacidade de

bioacumulação e do seu potencial de migrar do resíduo para o ambiente, é classificado, conforme essa Norma, como Resíduo Classe I - Perigoso. É uma substância tóxica, Anexo F - listagem nº6 código de substância 151 e um poluente, com limite máximo no extrato de 0,001 mg.L-2, em testes de solubilização. Ainda segundo essa Norma, no Anexo I, listagem nº9, o mercúrio ou seus compostos não devem exceder o limite máximo no resíduo total em 100 Hg.kg-1. Se esse poluente exceder o limite máximo permissível, o resíduo deve ser disposto em instalações adequadas.

Tabela 3 - Conteúdo de mercúrio em uma lâmpada de 40 W.

ANO	Conteúdo de Hg (mg)	ANO	Conteúdo de Hg (mg)
1985	48,2	1995	27
1990	41,6	2000	20

Fonte: NEMA [5]

Em nível federal, a Resolução nº 257 de junho/99 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) trata do descarte de pilhas e baterias contendo mercúrio. Entretanto, no caso específico de lâmpada de mercúrio, não existe uma legislação federal e/ou regulamentação para o seu descarte. Nos âmbitos estadual e municipal, existem as seguintes legislações que tratam do descarte de produtos que utilizam mercúrio:

- Lei 11.187/98, do Estado do Rio Grande do Sul - dispõe sobre o descarte, fiscalização e destinação final de pilhas, baterias de telefone celular e lâmpadas fluorescentes.
- Projeto de Lei nº 11305/97, do Estado da Bahia - dispõe sobre o descarte de lâmpadas fluorescentes, baterias de telefone celular e relógios.
- Lei Municipal da Cidade de São Paulo nº 12.653/98 - dispõe sobre o descarte de lâmpadas fluorescentes na cidade de São Paulo.
- Projeto de Lei nº 4/99 (Substitutivo nº 1 - Emenda nº 1 à Lei nº 12.040/95), do Estado de Minas Gerais - dispõe sobre o descarte, reciclagem de lâmpadas fluorescentes, pilhas e baterias usadas.

5. Reciclagem de lâmpadas

Se o resíduo é incinerado ou aterrado, é importante manter os produtos que contêm mercúrio separados do lixo municipal. Tais produtos são, freqüentemente, classificados como resíduos perigosos se excederem o limite regulatório de toxicidade (0,2 mg.L-2).

Uma vez segregados e/ou separados, os resíduos mercuriais podem, então, ser tratados objetivando a recuperação do mercúrio neles contidos [10]. As opções de aterramentos e incinerações não são as mais recomendadas pela EPA. Com a finalidade de minimizar o volume de mercúrio descarregado ao meio ambiente, a opção de reciclagem, com a conseqüente recuperação mercúrio, é considerada a melhor solução ambiental. O forte argumento para isto é que tecnologias comprovadas e bem sucedidas já existem.

As principais empresas mundiais recicladoras de mercúrio estão localizadas, principalmente, nos EUA, enquanto que os fabricantes de equipamentos estão localizados na Suécia e Alemanha. Esse último país, foi o precursor na fabricação de equipamentos para a desmercurização de lâmpadas fluorescentes, em meados da década de 80.

5.1 Situação nos EUA

Os EUA produzem cerca de 1 bilhão de lâmpadas fluorescentes por ano. Excetuando-se as exportações, a EPA estima que 756 milhões dão entrada no sistema de gerenciamento de resíduos. Considerando a população dos EUA de 260 milhões, o consumo per capita é de 2,9 lâmpadas.

A estimativa mais conservadora para a emissão anual de mercúrio a partir de lâmpadas fluorescentes é da ordem de 1 1,34kg.ano-1 em 1998, para um conteúdo médio da ordem de 15 mg de mercúrio/lâmpada.

No início da década de 90, a EPA, através de seu Programa Greem Lights, incentivou a iniciativa privada a encontrar soluções para a problemática do descarte de lâmpadas. Já em 1995, a indústria de reciclagem era responsável por mais de 90% de todo o mercúrio consumido naquele ano. Atualmente existem mais de quarenta empresas recicladoras distribuídas por todo o território norte americano. Dados apresentados pela EPA mostram que a opção de incineração de lâmpadas não foi uma experiência bem sucedida, pois os incineradores podiam emitir vapores de mercúrio. Em alguns casos, a pluma de contaminação foi transportada por mais de 320 km, aumentando ainda mais a área de influência de contaminação provocada pelas atividades do incinerador [11].

5.2 Situação no Canadá

No Canadá, mais de 140 toneladas de mercúrio são descartadas ao meio ambiente a cada ano, por todas as atividades envolvendo garimpos, queima de combustíveis fósseis, etc. Descargas incontroladas de substâncias tóxicas, resultantes particularmente do descarte de lâmpadas e certos tipos de pilhas são ameaças adicionais de contaminação do meio ambiente.

A indústria de reciclagem está resumida em poucas iniciativas isoladas. Mais de trinta e cinco tecnologias já foram inventariadas, entretanto poucas passaram à escala industrial. A maior indústria de reciclagem do Canadá trabalha com 500.000 lâmpadas fluorescentes/ ano. Em seu processo de reciclagem, a poeira fosforosa é enviada aos USA para destilação do mercúrio contido [12].

5.3 Situação na Comunidade Européia

O movimento ecológico para a preservação do meio ambiente na Europa deu origem a uma política ambiental e a uma série de regulamentações (por exemplo, rotulagem ambiental - selo verde), o que encorajou as indústrias a montarem várias usinas de reciclagem.

Cerca de 600 milhões de lâmpadas fluorescentes são descartadas, anualmente, na União Européia.

Na Alemanha, a OSRAM foi a primeira fabricante de lâmpadas a desenvolver um sistema de reciclagem. A matéria-prima obtida das lâmpadas usadas é reutilizada na manufatura de novas lâmpadas (reciclagem de 93% do resíduo ao invés de 100% de descarte no lixo). Atualmente existem nove recicladoras de lâmpadas fluorescentes, com apoio da associação alemã de fabricantes de lâmpadas - Arbeitsgemeinschaft Lampen Verwertung (AGLV) [13].

5.4 Situação no Brasil

O Brasil produz anualmente 48,5 milhões de lâmpadas contendo mercúrio, sendo 32 milhões de lâmpadas fluorescentes, 9 milhões de lâmpadas de descarga (mercúrio, mista, sódio e vapores metálicos) e 7,5 milhões de lâmpadas fluorescentes compactas, conforme dados fornecidos pela ABILUX [7J]. Considerando somente a produção interna e uma população brasileira da ordem de 170 milhões de habitantes, o consumo per capita brasileiro é de 0,3 lâmpadas, contra 2,9 dos EUA. O consumo total de mercúrio para a fabricação das lâmpadas nacionais é estimado pela ABILUX, em 1.000 kg (conteúdo médio de 20,62 mg de Hg/lâmpada).

A estrutura de reciclagem de lâmpadas no Brasil é muito precária, pois existe somente uma indústria para tratar da descontaminação de lâmpadas fluorescentes. A empresa possui tecnologia própria e está localizada em Paulínea, a 170 km da cidade de São Paulo.

5.5 Processo de reciclagem de lâmpadas

O termo reciclagem de lâmpadas refere-se à recuperação de alguns materiais constituintes das lâmpadas e a sua reintrodução nas indústrias ou nas próprias fábricas de lâmpadas.

Existem vários sistemas de reciclagem em operação em diversos países da Europa, EUA, Japão e Brasil.

Um processo típico de reciclagem inclui desde um competente serviço de informação e esclarecimentos junto aos geradores de resíduos, explicitando como o mesmo deve ser transportado para que não ocorra a quebra dos bulbos durante o seu transporte, até a garantia final de que o mercúrio é removido dos componentes recicláveis e que os vapores de mercúrio são contidos durante o processo de reciclagem. Analisadores portáteis devem monitorar a concentração de vapor de mercúrio do ambiente para assegurar uma operação segura dentro dos limites de exposição ocupacional (0,05 mg.m⁻³, de acordo com a Occupational Safety and Health Administration -OSHA).

O processo de reciclagem mais usado e em operação em várias partes do mundo encontra-se apresentado na Figura 1 e envolve basicamente duas fases [14, 15] apresentadas a seguir.

a) Fase de esmagamento

As lâmpadas usadas são introduzidas em processadores especiais para esmagamento (cominuição), quando, então, os materiais constituintes são separados por peneiramento, separação eletrostática e ciclonação, em 5 classes distintas:

- terminais de alumínio
- pinos de latão;
- componentes ferro-metálicos;
- vidro,
- poeira fosforosa rica em Hg;
- isolamento baquelítico.

No início do processo, as lâmpadas são implodidas e/ou quebradas em pequenos fragmentos, por meio de um processador (britador e/ou moinho). Isto permite separar a poeira de fósforo contendo mercúrio dos outros elementos constituintes. As partículas esmagadas restantes são, posteriormente, conduzidas a um ciclone por um sistema de exaustão, onde as partículas maiores, tais como vidro quebrado, terminais de alumínio e pinos de latão, são, então, separados e ejetados para fora do ciclone, onde, então, são separados por diferença gravimétrica e por separação eletrostática. A poeira fosforosa e particulados são coletados em um filtro no interior do ciclone. Posteriormente, por um mecanismo de pulso reverso, a poeira é retirada desse filtro e transferida para uma unidade de destilação para recuperação do mercúrio (2ª fase do processo). O vidro, em pedaços de 15 mm, é, então, limpo, testado e enviado para reciclagem. A concentração média de mercúrio no vidro não deve exceder a 1,3 mg.kg⁻¹. O vidro nessa circunstância pode ser reciclado, por exemplo, na fabricação de produtos para aplicação não alimentar. O alumínio e pinos de latão, depois de limpos, podem ser enviados para reciclagem em uma fundição. A concentração média de mercúrio nesses materiais não deve exceder o limite de 20 mg.kg⁻¹. A poeira de fósforo é normalmente enviada a uma unidade de destilação (retorta), onde o mercúrio é extraído. O mercúrio é, então, recuperado e pode ser reutilizado. A poeira fosforosa resultante pode ser reciclada e reutilizada, por exemplo na indústria de tintas. O único componente da lâmpada que não é reciclado é o isolamento baquelítico existente nas extremidades da lâmpada.

No que se refere à tecnologia para a reciclagem de lâmpadas, uma de maior avanço tecnológico é apresentada pela empresa Mercury Recovery Technology - MRT, estabelecida em Karlskrona - Suécia. O processador da MRT trabalha a seco, em sistema fechado, incorporado em um "container" de 20 pés de comprimento (6,10 m).

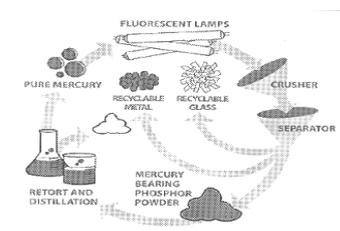


Figura 1 – Ciclo do processo de reciclagem [14]

Todo o sistema opera sob pressão negativa (vácuo) para evitar a fuga de mercúrio para o ambiente externo (emissões fugitivas) [15].

b) Fase de destilação de mercúrio

A fase subsequente nesse processo de reciclagem é a recuperação do mercúrio contido na poeira de fósforo. A recuperação é obtida pelo processo de reportagem, onde o material é aquecido até a vaporização do mercúrio (temperaturas acima do ponto de ebulição do mercúrio - 357° C). O material vaporizado, a partir desse processo, é condensado e coletado em coletores especiais ou decantadores. O mercúrio assim obtido pode passar por nova destilação para se removerem impurezas. Emissões fugitivas durante esse processo podem ser evitadas usando-se um sistema de operação sob pressão negativa.

A MRT utiliza uma câmara de vácuo para o processo de destilação. Para se conseguir uma pureza de mercúrio da ordem de 99,99%, as partículas orgânicas carreadas pelos gases durante a vaporização do mercúrio são conduzidas a uma câmara de combustão onde, então, são oxidadas.

5.6 Custos para descontaminação de lâmpadas

O custo para a reciclagem e a conseqüente descontaminação do gerador de resíduos depende do volume, distância e serviços específicos escolhidos pelo cliente.

Nos EUA, o custo para pequenos geradores de lâmpadas usadas varia de USD\$ 1.08 a USD\$2.00/lâmpada. Para grandes geradores, o preço final é da ordem de USD\$0.36/lâmpada de 4 pés, mais custos com frete e acondicionamento para transporte. No Brasil, a empresa APLIQUIM Equipamentos e Produtos Químicos Ltda. cobra pelos serviços de descontaminação valores de R\$0,60 a R\$0,70 por lâmpada, para posto na fábrica de Paulínea, São Paulo [16]. A esse preço, deve-se acrescentar os custos de frete (transporte), embalagem e seguro contra acidentes. O ônus envolvido no processo de reciclagem tem sido suportado, até o presente momento, pelas empresas/indústrias mais organizadas, que possuem um programa ambiental definido.

Os subprodutos resultantes do processo de reciclagem, tais como vidro, alumínio, pinos de latão e mercúrio, possuem baixo valor agregado: R\$20,00/tonelada para o vidro; R\$900,00/tonelada para o alumínio; R\$900,00/tonelada para o latão e R\$ 1, 12/grama para o mercúrio, dependendo do seu grau de pureza.

5.7 Equipamentos disponíveis para reciclagem de lâmpadas

Os equipamentos para reciclagem de lâmpadas são comercializados pelas empresas: Dytec Environmental (Processador Dytec - Série 3.600), Advanced Environmental Recycling Company - AERC (Processador LSS1), Bethlehem Apparatus Company Inc (Recuperador/ Destilador Quádruplo) dos EUA; Werc GmbH Berlim Wertstoff (Quebrador de lâmpadas HID - modelo DL 150, Processador FL 4000) da Alemanha e Mercury Recovery Technology - MRT (Processador C/S, Quebrador de lâmpadas HID e Destilador Padrão) da Suécia.

Para se ter uma idéia, o preço do Processador C/S é da ordem de USD\$400.000 e o Destilador Padrão, USD\$350,000 (preços CIF - Rio de Janeiro).

6. Considerações finais

O mercúrio contido em lâmpadas de mercúrio usadas e/ou quebradas não desaparecerá e poderá ser liberado ao meio ambiente, seja através das plantas de tratamento de efluentes e incineradores de resíduos sólidos, seja através da água lixiviada de aterros sanitários/lixões, o que, certamente, provocará a contaminação de cursos d'água, solos e ecossistemas, com graves conseqüências para o

meio ambiente e à saúde humana.

- É mister a busca de produtos que minimizem tal impacto e esforços devem ser envidados para prolongar a vida útil das lâmpadas.
- Faz-se necessário o esforço conjunto para envolver os fabricantes de lâmpadas e os grandes geradores desse tipo de resíduo na busca de soluções que possam minimizar o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado das lâmpadas.
- Em nível federal, não existe, no Brasil, uma legislação que regulamente o descarte de produtos que contenham mercúrio, especificamente, para as lâmpadas. Em nível estadual, já existem leis e projetos de lei contemplando a matéria, principalmente nos Estados da Bahia, Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul.
- Uma legislação específica, em nível federal, deveria propor regras claras para o manejo, transporte e disposição final de lâmpadas de mercúrio. Para os grandes geradores de resíduos, essa legislação deveria regulamentar, por exemplo, que o descarte se fizesse através da reciclagem (modo mais correto). Para os pequenos geradores, como, por exemplo, do setor residencial, o destino do descarte poderia ser facultativo ao sistema de coleta seletiva de lixo urbano.
- Quanto à reciclagem, a atividade em si, somente tornar-se-ia auto sustentável se os geradores deste tipo de resíduo perigoso/tóxico, incluindo aqui o produtor poluidor e o setor industrial/comercial, arcassem com o ônus da reciclagem, já que os subprodutos gerados possuem valores agregados muito baixos. Como negócio, a reciclagem de lâmpadas poderia ser alavancada pelo tratamento de produtos igualmente perigosos/tóxicos contendo mercúrio, tais como termostatos, termômetros, sobras de amálgamas odontológicos e pilhas/baterias.

Anexo 3 - Exemplos de relatórios produzidos pelos alunos na fase final da pesquisa.