UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

**ENERGIA E SUSTENTABILIDADE NO ENSINO DE FÍSICA:
LEITURAS DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA**

FREDERICO AUGUSTO RAMOS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARIA REGINA DUBEUX KAWAMURA

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Instituto de Física
Instituto de Química
Instituto de Biociências
Faculdade de Educação

ENERGIA E SUSTENTABILIDADE NO ENSINO DE FÍSICA: LEITURAS DA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

FREDERICO AUGUSTO RAMOS

ORIENTADORA: PROFA. DRA. MARIA REGINA DUBEUX KAWAMURA

Dissertação de mestrado apresentada à Comissão de Pós-Graduação Interunidades em Ensino de Ciências da Universidade de São Paulo, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

**São Paulo
2011**

AUTORIZAÇÃO

Eu, **Frederico Augusto Ramos**, RG **33.036.169-7**, autorizo que minha dissertação de mestrado, intitulada **Energia e sustentabilidade no ensino de física: leituras da matriz energética brasileira** esteja disponibilizada em formato digital ao público, mediante acesso on-line via Web, a partir desta data.

São Paulo, 01 de junho de 2011.

e-mail: fred_ramos_fisica@yahoo.com.br

FICHA CATALOGRÁFICA

**Preparada pelo Serviço de Biblioteca e Informação
do Instituto de Física da Universidade de São Paulo**

Ramos, Frederico Augusto

Energia e sustentabilidade no ensino de física: leituras
da matriz energética brasileira – São Paulo, 2011.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Faculdade de Educação, Instituto de Física, Instituto de
Química e Instituto de Biociências.

Orientador: Profa. Dra. Maria Regina Dubeux Kawamura

Área de Concentração: Ensino de Física

Unitermos: 1. Ensino; 2. Física; 3. Energia; 4. Sustentabilidade

USP/IF/SBI-010/2011

Agradecimentos

À minha mãe Vitória, e ao meu pai Abilio, que construíram todo o alicerce para que eu realizasse meus sonhos. Apoiando minhas decisões, inclusive a mudança para São Paulo para eu realizar esse mestrado. Pelo amor e pelo apoio em todos os momentos, e também pelas noites mal dormidas que certamente passaram, dedico a eles esse trabalho.

Agradeço também ao meu irmão Vinicius, que me ensinou muito sobre convivência, e também é responsável pelo que sou hoje.

Ao meu mestre e amigo Eugenio, maior *culpado* pelo início desse trabalho, que me ensinou a ser professor e encorajou minha ida para a USP, sempre me motivando e participando desse processo. Obrigado pelo compartilhamento das angústias e, principalmente, pela participação nas bancas de qualificação e de defesa. Agradeço também à Bernadete, ao João Guilherme e ao Luís Henrique pelo carinho.

Ao prof. Cristiano pelo aprendizado que me proporcionou quando fui seu monitor, pelas muitas conversas e risadas pelo corredor a fora. Agradeço também pela participação na banca de qualificação.

Ao prof. Marco Braga por ter aceitado o convite de participar da banca de defesa.

Ao prof. Menezes, pelo prazer de ter sido seu aluno, pela amizade e convivência durante e após a sua disciplina.

Aos amigos Breno e Esdras, pelo acolhimento na sala 318 do corredor de ensino, pelos primeiros passos na USP, pela grande amizade que construímos e pelas puxadas de orelha durante todo o trabalho.

Aos demais amigos do corredor: Adriel, Alex, Alexandre, Aninha, Bruna, Catia, Felipe, Gisele, Graciella, Ivã, Jackeline, Ligia, Márcio, Renata e Roseline. Agradeço especialmente à Soninha pelos momentos de descontração durante as hospedagens na acolhedora pousada casa da sogra.

Aos amigos da UNESP, presentes mesmo à distância: Cidão, Diguinho, Dog, Ferrari, Gerso, Jackson, Sucrilhos, Tabata e Vitão.

Aos novos amigos de Petrópolis que fizeram com que a distância da família e dos velhos amigos fosse amenizada: Marcos, Teresa e Analice, Vinícius e Jéssica, Luciana, Eduardo, Welerson e Leandro, André e Leandra. Em especial ao Glauco e sua família pelo carinho e pela hospitalidade.

À Eugênia, ao Daniel e ao Henrique pelos momentos agradáveis nas idas a São Paulo.

Ao Hugo, parceiro no Colégio Salesiano, que acompanhou o início dessa trajetória.

Ao Bruno e ao Fausto que abriram as portas da UCP, à Josilde (*in memoriam*) e à Lilian que me receberam no Colégio Santa Isabel. Agradeço também a todos os colegas professores, funcionários dos colégios e alunos que, de alguma forma, participaram desse processo.

Ao Aílton e o pessoal da secretaria: Camila, Ellen, Erika e Thomas, que sempre solícitos, atendem nossos pedidos na pós-graduação.

Agradeço em especial à profa. Maria Regina, que aceitou a difícil missão de me orientar nesse mestrado. Não sei se outro orientador teria ido até o final, abrindo mão de finais de semana, nunca desanimando, e também me motivando nos momentos de maior desespero. Sempre presente, como uma educadora exemplar, não só orientando esse trabalho, mas também como uma amiga. Com ela, aprendi muito mais do que está escrito nessas páginas, e foi um grande prazer ter sido seu aluno.

À Marcília, minha companheira de todos os momentos dessa caminhada. Pela paciência e pelas broncas, pelas incansáveis leituras, resultando em muitas críticas e sugestões. Mas principalmente por nunca desistir de me ajudar, sempre acreditando em um final feliz. Obrigado!

Resumo

RAMOS, F. A. *Energia e sustentabilidade no ensino de física: leituras da matriz energética brasileira*. São Paulo: Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2011. 192 p. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade Física.

O tema energia é considerado central e articulador dentro do ensino de Física, sendo essencial em praticamente todas as áreas dessa ciência, além de fazer parte também de outras áreas do conhecimento, como Biologia, Química, História, Educação Física etc. Por sua vez, a sustentabilidade, ou o desenvolvimento sustentável, é um tema em evidência na sociedade atual. Promover ações sustentáveis tornou-se quase que uma obrigação do ser humano politicamente correto. Porém, a visão de sustentabilidade que é destacada pela mídia reduz-se, muitas vezes, à dimensão ecológica. Nesse caso, são enfatizadas questões relativas a fontes renováveis e alternativas de energia, ou aos impactos sobre o meio ambiente. O intuito desse trabalho é articular a abordagem das questões sobre energia, no ensino de Física, com concepções sobre sustentabilidade, numa perspectiva de educação ambiental crítica. Para isso, optamos pelo estudo da matriz energética brasileira, ferramenta que possibilita o cruzamento das diferentes fontes energéticas com o consumo nos vários setores da economia. Foi desenvolvida uma análise dessa matriz, resultando na construção de diferentes recortes que possibilitam leituras mais adequadas ao ensino de Física. A partir desses recortes, foram propostas atividades que possibilitam incluir a discussão do consumo e de dimensões sociais e econômicas na abordagem de questões energéticas. As propostas de atividades foram construídas à medida que a matriz energética foi sendo desvendada, mostrando que essa matriz é uma poderosa ferramenta para o tratamento do tema. Os resultados apresentados, mais do que apenas propostas, pretendem exemplificar o potencial desse tipo de abordagem.

Palavras-chave: ensino, física, energia, sustentabilidade

Abstract

RAMOS, F. A. *Energy and sustainability in physics teaching: readings of the Brazilian energy matrix*. São Paulo: Instituto de Física, Instituto de Química, Instituto de Biociências e Faculdade de Educação, Universidade de São Paulo, 2011. 192 p. Dissertação de Mestrado em Ensino de Ciências – modalidade Física.

The concept of energy is considered central in Physics Education, being essential in almost all areas of this Science, besides playing a crucial role in other areas of knowledge, such as Biology, Chemistry, History and Physical Education. Additionally, the sustainability, or the sustainable development, is an issue in evidence in present society. Promoting sustainable practices became almost a prerequisite for being politically correct. However, the sustainability vision enhanced by the media is often restricted to the ecological dimension. As an alternative way, we emphasize issues relating to renewable and alternative energy, or their influences over the environment. The purpose of this research is to articulate the questions about energy in Physics Education with sustainability ideas, from the perspective of a critical environmental education. We chose to study the Brazilian energy matrix, allowing the interlacement between the different sources with energy needs in various sectors of the economy. We developed an analysis of this matrix, resulting in the construction of different perspectives that permit appropriate interpretations to Physics Education. From these perspectives, we proposed activities that makes possible to include discussions of energy consumption and social and economics dimensions in addressing energy issues. The proposed activities were elaborated as the energy matrix had been revealed, demonstrating that it is a powerful tool to discuss this matter. The results, more than just proposals, intend to illustrate the potential of this type of approach.

Keywords: teaching, physics, energy, sustainability

Sumário

1 Introdução	11
2 Energia e meio ambiente em uma perspectiva crítica	21
2.1. A energia no ensino médio	27
2.2. O meio ambiente e o referencial CTS	34
2.3. Educação ambiental crítica	37
2.4. Considerações gerais	41
3 Algumas ideias e representações sobre sustentabilidade	43
3.1. O conceito de sustentabilidade	43
3.2. Representações de sustentabilidade	49
3.3. Considerações gerais	55
4 Fontes e conservação de energia	57
4.1. Energia e seus usos sociais	57
4.2. Algumas fontes de energia atuais	60
4.3. A geração de eletricidade	73
4.4. Conservação, eficiência e dissipação	75
4.5. Desenvolvimento e consumo de energia	77
5 Consumo x fontes, em uma abordagem domiciliar	81
5.1. Levantamento do consumo de energia mensal	83
5.2. Construção da estrutura da matriz	85
5.3. Uniformização das unidades de medidas	87
5.4. Outras fontes de energia	91
5.5. Possíveis leituras e significados para a matriz domiciliar	91
6 Uma análise da matriz energética brasileira	93
6.1. A estrutura do BEN	94
6.2. Questões e problemas	98
6.3. A matriz energética brasileira	101
7 Recortando a matriz energética brasileira	108
7.1. Recortando a matriz energética nacional	108
7.2. Possíveis leituras para a matriz	114
8 Propostas de atividades a partir dos recortes da matriz energética	127
8.1. Indicadores de sustentabilidade energética	128
8.2. Propostas de atividades e encaminhamentos para discussões	132

8.3. Considerações gerais	153
9 Considerações sobre alcance e limitações dos resultados	155
Referências	159
Anexos	
Anexo 1 – Questões do ENEM	163
Anexo 2 - Levantamento de concepções sobre sustentabilidade	183
Anexo 3 - Modelos de síntese das características de fontes energéticas	187

CAPÍTULO 1

Introdução

Aquecimento global, reciclagem, carros elétricos, sacolas plásticas, créditos de carbono e fontes alternativas de energia são apenas alguns assuntos que vêm dominando as discussões sobre o desenvolvimento da sociedade nas últimas décadas.

As transformações que estão sendo observadas no ambiente e no planeta, em sua totalidade, são objeto de preocupação. Particularmente, a partir do primeiro semestre de 2007, com a publicação dos resultados alarmantes (e alarmistas?) do IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*), essas questões ganharam destaque ainda maior, colocando em discussão os muitos aspectos ambientais associados aos avanços tecnológicos, tanto aqueles derivados de intervenções humanas sobre o ambiente quanto, e em paralelo, às dinâmicas dos processos ambientais.

Assim, torna-se cada vez mais urgente introduzir questões e saberes dessa área do conhecimento na educação, nos diversos níveis de escolaridade. Em grande parte, esses temas não são novos, e vêm sendo tratados por diferentes abordagens no âmbito do ensino de ciências. Da mesma forma, algumas discussões ou propostas nesse sentido têm sido desenvolvidas.

Nesse trabalho, discutimos essas questões por meio do tema ENERGIA no âmbito do ensino de Física, tema sempre presente na vida social humana, mas assumindo cada vez mais importância e destaque no mundo atual. O uso de energia nas residências, nos processos de fabricação industrial, nos meios de transporte, na preparação de alimentos, são apenas alguns exemplos de como a energia é indispensável em nossa vida. Assim, é fundamental que o estudo de energia na escola esteja presente, seja enfatizado e muito bem elaborado, contribuindo para a formação do cidadão consciente das implicações do uso de cada forma de energia.

Além da Física, o conceito de energia está presente em outras áreas do conhecimento escolar, como Biologia, Química, Geografia, Educação Física. A construção desse conceito nas diferentes áreas é muito importante e deve ser sempre objeto de atenção. No entanto, permanece sendo tratado de forma quase independente, seja entre os componentes curriculares ou dentro de uma mesma disciplina.

No que tange à Física, observamos que há um descompasso entre os sentidos de uma educação para a cidadania e o conceito de energia como trabalhado no âmbito da Física. Para Sousa (2005):

A preocupação da Física está centrada em discutir o significado conceitual da energia que, em geral, inicia-se a partir do conceito de trabalho, na Mecânica. A energia comparece também na termodinâmica, nos processos de fluxo de calor e na primeira lei. É tratada também como energia elétrica, na eletrodinâmica. Ou seja, de forma diversificada e com pouca ou nenhuma relação entre si. Há também ênfase no uso das unidades, distinguindo potência de energia, além de reconhecer os múltiplos e submúltiplos das unidades padrão. (SOUSA, 2005, p.75)

Ou seja, ainda que haja aspectos da cidadania, de caráter social ou ambiental envolvidos nesse tema, na maior parte dos livros didáticos e nas propostas de seu ensino, ele é reduzido a seus aspectos conceituais no interior da própria Física.

Na área de pesquisas em Ensino de Física, é quase consensual a importância dada a esse conceito, o que se expressa através de inúmeras pesquisas e trabalhos.

Refletindo as mesmas considerações apresentadas acima, há um conjunto de trabalhos que trata da concepção de estudantes e professores sobre o conceito de energia, bem como sua construção em diferentes abordagens teóricas e metodológicas. Esse é, provavelmente, o conjunto mais expressivo, centrando a preocupação na construção do conceito e em seu ensino-aprendizagem.

Faz parte desse esforço o trabalho de Michinel e Almeida (2000) que analisa como a leitura de textos sobre o conceito de energia interfere no perfil conceitual de licenciandos em Física e Química. Rodrigues e Mattos (2007) evidenciam a importância do contexto no estudo do perfil conceitual de alunos do ensino médio. Jacques e Alves Filho (2008) avaliam o tratamento dado à noção de energia por livros didáticos, e se esses consideram as concepções alternativas dos alunos. As concepções e os modelos que alunos têm sobre energia também são estudadas no ensino de outras áreas, como na Química (OLIVEIRA *et al.*, 2003) e na Biologia (BARBOSA, 2000). Também existem trabalhos que mostram a possibilidade do exercício interdisciplinar em torno da noção de energia, como apresentado por Pinheiro *et al.* (2000), que utiliza o modelo de “ilhas de racionalidade”.

Monteiro e Teixeira (2000) estruturam um curso de formação continuada para professores envolvendo o conceito de energia em uma perspectiva histórica.

Para além dessa preocupação, há um outro conjunto de trabalhos que apresentam propostas, ou análises de propostas concretas, com relação à abordagem do tema energia em sala de aula. Também existem trabalhos que avaliam como o tema está inserido no contexto escolar, como é o caso de Pereira *et al.* (2009), que investigam como a energia nuclear aparece no cenário escolar. Japiassú (2005) propõe a elaboração de roteiros de aulas experimentais sobre as fontes alternativas de energia que permitam ao aluno reconhecer o papel da Física no sistema produtivo. Dias *et al.* (2003) apresentam aspectos relacionados ao desenvolvimento da cidadania por meio da educação contextualizada e dificuldades de mudanças de atitudes individuais em relação ao uso racional de energia. Bernardo *et al.* (2007) investigam a participação de professores na construção coletiva de um conjunto de estratégias para abordagem da energia elétrica em sala de aula. Prestes e Silva (2008) analisam uma proposta de trabalho interdisciplinar no estudo de questões energéticas em uma aula de Física, por meio dos elementos do educar pela pesquisa (questionamento, argumentação e comunicação). Martins *et al.* (2009) investigam a percepção dos alunos sobre a relação do conceito de energia entre as disciplinas Biologia, Física e Química, por meio da utilização de mapas conceituais.

O tema energia também aparece no estudo de questões ambientais. Nesse conjunto de trabalhos também existem propostas ou até mesmo concepções sobre energia, mas o diferencial dessas pesquisas está no fato de tratar de questões relacionadas ao meio ambiente.

Farias *et al.* (2003) analisam um caso judicial em torno de uma usina hidrelétrica como perspectiva educativa para discussão de um tema sobre desenvolvimento e meio ambiente. Silva e Carvalho (2006) apresentam uma proposta de discussão da produção de energia elétrica em larga escala relacionada com aspectos técnicos, históricos, sociais, econômicos e ambientais, cujo objetivo foi coletar dados que pudessem evidenciar aspectos controversos com relação à produção de energia elétrica. Benjamin e Teixeira (2000) propõem e analisam a utilização de um livro paradidático sobre energia e meio ambiente.

O desenvolvimento da sociedade também é objeto de preocupação de alguns trabalhos no tratamento do tema energia. Sousa e Kawamura (2004) investigam como as ideias sobre desenvolvimento sustentável podem nortear abordagens temáticas como a energia. Lopes *et al.* (2009) investigam as relações entre distribuição e acesso à energia e desenvolvimento humano presentes na formação de estudantes.

Nesse cenário, propomos trabalhar o tema energia em uma perspectiva que contemple os aspectos apresentados nesses últimos trabalhos. Para isso, discutimos o que seria um desenvolvimento voltado para a *sustentabilidade*. Esse conceito de *sustentabilidade* possui referências relacionadas a vários aspectos (uma pesquisa através do sistema *Google* indica quase três milhões de referências, das mais diversas naturezas, além de um número também significativo de imagens). Incluindo essa palavra no título, há menções a fóruns, *blogs*, revistas e até uma *radio web*. Há ainda livros, quadrinhos, jogos e charges.

Algumas empresas especificam, por exemplo, o que entendem

por isso: *O que é a sustentabilidade para nossa empresa? Diálogo. Impacto. Oportunidade. Inovação.* Por outro lado, paralelamente, outras apresentam observações do tipo *empresa sustentável é ainda um mistério para muitos consumidores preocupados com o tema.* Dessa forma, mesmo dentro de uma mesma área é fácil constatar a diversidade de pontos de vista. Sustentabilidade aparece associada a ambiente, política, empreendedorismo, mundo empresarial, construções civis, arquitetura, ecossistema e quase tudo que se possa imaginar. E não poderia faltar, é claro, inúmeras referências à educação para a sustentabilidade.

Diante da pluralidade de sentidos, qualquer discussão precisa ser iniciada por uma caracterização do que será considerado, no contexto em que vamos propor refletir, que é o da educação e, mais particularmente, do ensino de ciências. Não se trata de buscar a definição correta, porque de certa forma ela não existe, já que sustentabilidade é hoje quase uma bandeira de ação ou um *slogan*. Mas, é preciso sistematizar alguns dos aspectos principais desse tema, para delimitar a forma de abordar a relação energia/sustentabilidade, na perspectiva do Ensino de Física.

A relação entre energia e sustentabilidade que propomos trabalhar aparece de forma consolidada na dissertação de mestrado de Sousa (2005). Esse trabalho buscou como meta viabilizar uma proposta de energia que permita trabalhar os conceitos do ponto de vista físico e, ao mesmo tempo relacioná-la a questões de natureza social, econômica e ambiental. O desenvolvimento sustentável surge como mediador entre as duas vertentes.

Nosso trabalho procura dar continuidade à essa discussão, especialmente no sentido de propor atividades concretas que contemplem

essa perspectiva para o ensino de energia.

Algumas das diretrizes propostas já apontam a necessidade dessa articulação entre o conceito de energia nos âmbitos escolar e social, como, por exemplo, nos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCN). Porém, alguns obstáculos ainda precisam ser superados. Nessa direção, o que seria relevante para estabelecer o vínculo entre a “energia da Física” e seus sentidos sociais? O leque de possibilidades é muito amplo, porém, em geral, as alternativas são pontuais, indicando a necessidade de um quadro de referência mais abrangente que oriente os professores para estabelecer essas pontes.

Com relação à sustentabilidade, é muito comum a associação dessa ideia com aspectos que envolvam a renovabilidade dos recursos energéticos, fontes alternativas de energia, reciclagem e os impactos ambientais causados pelos seus usos. Porém, um fator muito importante é também a questão dos padrões de consumo da sociedade. Nesse sentido, consideramos fundamental a relação entre a disponibilidade de energia e os seus usos. Para explorarmos essa relação buscamos uma ferramenta chamada matriz energética.

Essa matriz, junto com muitos outros dados e informações do Ministério de Minas e Energia (MME), é publicada anualmente no chamado Balanço Energético Nacional (BEN), mostrando essa articulação entre as fontes de energia e o consumo nos diferentes setores da economia.

Consideramos que discutir o aspecto do consumo de energia é fundamental e, por isso, queremos desenvolver propostas para professores de ensino médio, principalmente de Física, sentirem-se incentivados a

trabalharem esses temas em suas aulas. Um estudo baseado apenas na disponibilidade, que vemos quando se fala no funcionamento de usinas e fontes de energia, não é a solução, pois dessa forma fica implícito que se pode usar cada vez mais, uma vez que a discussão permeia as fontes alternativas de energia, fontes renováveis etc. Acreditamos que essa não é a solução. Por isso enfatizamos que o consumo de energia deve ser articulado juntamente com esses aspectos de disponibilidade de energia.

A matriz energética nacional pode ser explorada para fins didáticos, por meio de recortes e diferentes leituras, a partir das quais propomos a realização de atividades, cujos objetivos são nortear as discussões sobre os vários aspectos da sustentabilidade no que tange a questão da energia no Brasil hoje.

Para investigar como desenvolver atividades dessa natureza pretendemos usar como referência as ideias e propostas no âmbito educacional de CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade) e de uma educação ambiental crítica.

Portanto, esse trabalho consiste numa proposta de investigar as possibilidades de construir um quadro de referências que possibilitem elaborar atividades para sala de aula, no ensino de Física inserido no ensino médio (e superior), que contemple nossos interesses de uma educação ambiental crítica.

Nossa proposta de trabalho consiste nas seguintes etapas: (i) investigar e aprofundar o conceito de sustentabilidade, (ii) investigar, como ponto de partida, as representações dos alunos sobre o tema, (iii) desenvolver um estudo da matriz energética brasileira e (iv) desenvolver leituras da matriz

energética para utilização em sala de aula.

No caso específico do trabalho a ser desenvolvido, será necessário estabelecer alguns referenciais próprios que permitam orientar a elaboração do universo de referência. Esses referenciais serão delimitados a partir das abordagens e propostas CTS, na perspectiva de uma educação ambiental crítica.

Dessa forma, do ponto de vista da pesquisa em ensino de Física, pretendemos contribuir para a caracterização da natureza, forma de abordagem e estratégias para a construção de propostas, no âmbito escolar, em que as questões de conhecimento físico relacionadas à energia sejam contempladas em uma perspectiva da *sustentabilidade*.

Ao mesmo tempo, pretendemos que a perspectiva apresentada nesse trabalho possa contribuir também para discutir a relação entre conhecimento escolar e sentido social do conhecimento.

Essa dissertação é composta por nove capítulos. Sendo o primeiro esta apresentação do tema, das justificativas e do objetivo das questões investigadas. O segundo capítulo é uma discussão dos objetivos formativos na perspectiva da educação ambiental crítica e possíveis vínculos ou aportes do referencial CTS para tal. Com esses aportes, identificamos os elementos que propiciam a perspectiva desejada, especificamente na abordagem do tema energia.

O capítulo três é uma discussão do conceito de sustentabilidade e de algumas representações de alunos do ensino superior. O capítulo quatro é uma descrição de algumas fontes energéticas relacionadas com seus usos sociais.

O capítulo cinco é a apresentação de uma proposta de atividade inicial, em que a intenção de articulação entre fontes e consumo é realizada/demonstrada, em um universo concreto, representado pela abordagem do caso domiciliar.

O capítulo seis é a apresentação e análise da matriz energética brasileira presente no Balanço Energético Nacional (BEN). E o capítulo sete apresenta alguns recortes dessa matriz, visando sua utilização para fins didáticos.

O capítulo oito é uma apresentação de possibilidades de leituras e atividades de análise e discussão, envolvendo as diversas dimensões da questão energética, a partir das leituras da matriz energética nacional. E finalmente, o capítulo nove consiste na discussão dos resultados obtidos e das limitações identificadas, em função do percurso de investigação realizado.

CAPÍTULO 2

Energia e meio ambiente em uma perspectiva crítica

O ensino sobre o tema energia na escola, no que concerne à Física, está geralmente pautado na explicação de fenômenos físicos e no funcionamento de usinas de produção de energia sem nenhuma, ou quase nenhuma, preocupação social. No máximo, aparecem discussões sobre o consumo residencial de eletricidade, o que passa muito distante das discussões, por exemplo, do modelo econômico de consumo imposto à sociedade pelo sistema de desenvolvimento, no qual as formas de produção do sistema determinam quais fontes de energia serão consumidas.

Os Parâmetros Curriculares Nacionais propõem uma visão mais ampla do ensino de energia, destacando que:

É preciso investigar e compreender, além das contas domésticas de luz ou de gás, também a matriz energética, que relaciona os setores sociais que demandam energia, como indústria, comércio, transporte ou residências, com as diferentes fontes de oferta, como petróleo, gás natural, hidreletricidade, termoeletricidade, carvão mineral ou vegetal. É preciso, ainda, levar em conta os impactos ambientais e os custos financeiros e sociais das distintas opções energéticas, temas fronteiriços com a Economia e Geografia, da área de ciências humanas. (BRASIL, 2002, p. 31)

Os PCN's também caracterizam competências esperadas ao final da escolaridade básica, e os conhecimentos sobre energia estão presentes em todas essas competências. Com relação à utilização da **linguagem Física e de sua comunicação**, um aluno deve ser capaz de:

- Reconhecer e utilizar adequadamente, na forma oral e escrita, símbolos, códigos e nomenclatura da linguagem científica. Por exemplo, em aparelhos elétricos, códigos como kWh e BTU indicam o consumo de energia elétrica; em tabelas de alimentos, valores calóricos.
- Ler, articular e interpretar símbolos e códigos em diferentes linguagens e representações: sentenças, equações, esquemas, diagramas, tabelas, gráficos e representações geométricas. Por exemplo, ler e interpretar corretamente um medidor de energia elétrica; construir tabelas e transformá-las em gráfico, para descrever o consumo de energia elétrica de uma residência, o gasto de combustível de um automóvel, em função do tempo, permitindo analisar melhor as tendências do consumo.
- Consultar, analisar e interpretar textos e comunicações de ciência e tecnologia veiculados por diferentes meios. Por exemplo, no noticiário sobre uma usina nuclear, identificar que essa questão envolve conhecimentos sobre radiações, além da tomada de decisões com relação ao uso de fontes energéticas.

- Elaborar comunicações orais ou escritas para relatar, analisar e sistematizar eventos, fenômenos, experimentos, questões, entrevistas, visitas, correspondências. Por exemplo, elaborar o relatório da visita a uma usina termelétrica, destacando sua capacidade de geração de energia, o processo de produção e seus impactos locais, tanto sociais como ambientais; elaborar um relatório de pesquisa sobre vantagens e desvantagens do uso de gás como combustível automotivo, dimensionando a eficiência dos processos e custos de operação envolvidos; enviar um e-mail solicitando informações a um especialista em energia solar, explicitando claramente suas dúvidas.
- Analisar, argumentar e posicionar-se criticamente em relação a temas de ciência e tecnologia. Por exemplo, enviar um e-mail contra-argumentando uma notícia sobre as vantagens da expansão da geração termoeleétrica brasileira.

Existem também competências relacionadas à **investigação e compreensão** dos fenômenos físicos, nas quais o aluno deve ser capaz de:

- Identificar em dada situação-problema as informações ou variáveis relevantes e possíveis estratégias para resolvê-la.
- Identificar fenômenos naturais ou grandezas em dado domínio do conhecimento científico, estabelecer relações; identificar regularidades, invariantes e transformações. No contexto energético: identificar transformações de energia e a conservação que dá sentido a essas transformações, quantificando-as quando necessário. Identificar também

formas de dissipação de energia e as limitações quanto aos tipos de transformações possíveis impostas pela existência, na natureza, de processos irreversíveis.

- Reconhecer, utilizar, interpretar e propor modelos explicativos para fenômenos ou sistemas naturais ou tecnológicos. Por exemplo, levantar hipóteses sobre as possíveis causas de interrupção do fornecimento da energia elétrica.
- Articular, integrar e sistematizar fenômenos e teorias dentro de uma ciência, entre as várias ciências e áreas de conhecimento. Por exemplo, o conceito de energia tem significados diferentes, embora correspondentes, em Física, Química, Biologia e Geografia.

Finalmente, há competências que tenham a ver com a **contextualização histórica e social**, são elas:

- Compreender o conhecimento científico e o tecnológico como resultados de uma construção humana, inseridos em um processo histórico e social. Perceber o papel desempenhado pelo conhecimento físico no desenvolvimento da tecnologia e a complexa relação entre ciência e tecnologia ao longo da história. Muitas vezes, a ciência precede (e proporciona) o desenvolvimento tecnológico, como no caso da utilização da energia nuclear; ou é a tecnologia que antecede o conhecimento científico, como por exemplo, na relação entre as máquinas térmicas na revolução industrial e a Termodinâmica.

- Compreender a ciência e a tecnologia como partes integrantes da cultura humana contemporânea. Reconhecer e avaliar o desenvolvimento tecnológico contemporâneo, suas relações com as ciências, seu papel na vida humana, sua presença no mundo cotidiano e seus impactos na vida social.
- Reconhecer e avaliar o caráter ético do conhecimento científico e tecnológico e utilizar esses conhecimentos no exercício da cidadania: compreender a responsabilidade social que decorre da aquisição de conhecimento, sentindo-se mobilizado para diferentes ações, seja na defesa da qualidade de vida, da qualidade das infra-estruturas coletivas, ou na defesa de seus direitos como consumidor; promover situações que contribuam para a melhoria das condições de vida da cidade onde vive ou da preservação responsável do ambiente, conhecendo as estruturas de abastecimento de água e eletricidade de sua comunidade e dos problemas delas decorrentes, sabendo posicionar-se, argumentar e emitir juízos de valor; reconhecer que, se de um lado a tecnologia melhora a qualidade de vida do homem, do outro ela pode trazer efeitos que precisam ser ponderados quanto a um posicionamento responsável; reconhecer, em situações concretas, a relação entre Física e ética, seja na definição de procedimentos para a melhoria das condições de vida, seja em questões como do desarmamento nuclear ou em mobilizações pela paz mundial; reconhecer que a utilização dos produtos da

ciência e da tecnologia nem sempre é democrática, tomando consciência das desigualdades e da necessidade de soluções de baixo custo, como, por exemplo, para ampliar o acesso à eletricidade. (BRASIL, 2002)

De acordo com os PCN's, o ensino de energia deve estar inserido nesse contexto, no qual a formação do cidadão deve ser pautada na conscientização de sua responsabilidade na participação social com relação a utilização de diferentes fontes energéticas. Defendemos uma visão do tema energia que, trabalhada no âmbito escolar, contribua para a formação de um cidadão crítico capaz de problematizar o sistema de desenvolvimento e sua relação com a produção e o consumo de energia.

Pensamos a formação do cidadão crítico na perspectiva de que deveria ser a sociedade a responsável pela tomada de decisão de qual fonte de energia melhor lhe serviria. Por exemplo, a escolha entre o álcool e a gasolina nos automóveis movidos a motores flexíveis é sempre determinada pelo preço desses combustíveis, e não pelo fato da gasolina ser derivada de um combustível fóssil e o álcool de uma fonte renovável, ou pelos empregos locais que a produção de álcool pode gerar ao passo que parte do petróleo consumido é importado (BRASIL, 2002).

A escolha, ou a tomada de decisão, por parte do sujeito na sociedade, está presente na ideia de sustentabilidade e de desenvolvimento sustentável que queremos discutir. Por isso propomos que essa discussão sobre sustentabilidade seja levada para o contexto das aulas de Física sobre energia. Queremos chamar a atenção para o consumo e não só para a disponibilidade, renovabilidade e impactos ambientais referentes às diferentes

fontes de energia.

Essas preocupações podem encontrar ressonância com as discussões que vêm sendo desenvolvidas no âmbito do movimento CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade). Nesse sentido, esse capítulo pretende discutir os aportes do referencial CTS para uma educação ambiental crítica. Para isso, são analisadas diferentes propostas CTS, com o objetivo de identificar as considerações e diretrizes dessas abordagens que podem melhor contribuir para nossa proposta.

Além disso, serão apresentados os objetivos formativos pretendidos, na perspectiva de uma educação ambiental crítica, o que inclui as concepções de sustentabilidade correspondentes.

Ao final, pretendemos ter identificado a perspectiva desejada, especificamente através da abordagem do tema energia, capaz de contemplar nossos objetivos.

2.1. A energia no ensino médio

A energia está presente em todas as áreas da Física, porém no ensino desse conceito, as relações entre elas são muito pouco exploradas. Também no âmbito da existência do tema em várias disciplinas, como Educação Física, Química, Biologia etc., são raras as relações interdisciplinares que abordam aspectos sociais, econômicos, culturais e ambientais, por exemplo. Além disso, na maioria das vezes, o ensino de energia é desconexo da realidade e do cotidiano do aluno. A tabela 2.1 mostra como o ensino de energia está presente na maioria dos currículos de Física no ensino médio.

Tipos de energia	Área da Física	Ano
Energia mecânica (cinética e potencial)	Mecânica	1º
Energia térmica	Termologia	2º
Energia elétrica	Eleticidade	3º
Termelétricas e hidrelétricas	Eletromagnetismo	3º

Tabela 2.1 – Caracterização da presença dos diferentes tipos de energia nas áreas da Física no ensino médio.

Outras formas de energia podem até ser mencionadas, como a energia sonora no estudo da Acústica, mas prevalece a apresentação de conceitos de ondulatória. Discussões associadas a poluição sonora e os níveis de audição aceitáveis e prejudiciais à nossa saúde, se estão presentes nos livros textos, aparecem apenas como *boxes* e leituras complementares. O mesmo pode-se dizer da energia luminosa, essencial no estudo da Óptica, mas que também deveria ser analisada pelo lado da Biologia, pois a luz é absorvida pelos vegetais para realização da fotossíntese.

Mesmo dentro das áreas citadas na tabela 2.1 o tratamento dos tipos de energia fica restrito, quase sempre, ao formalismo matemático. São enfatizadas fórmulas e suas aplicações, ficando em segundo plano, por exemplo, as leis de conservação e dissipação de energia nos processos de transformação.

Os PCN's sugerem que o ensino médio seja trabalhado por meio de seis **temas estruturadores**.

Esses temas apresentam uma das possíveis formas para a organização das atividades escolares, explicitando para os jovens os elementos de seu mundo vivencial que se deseja considerar (BRASIL, 2002, p.71).

A energia está presente em todos esses temas, implícita ou explicitamente. O primeiro tema – Movimentos: variações e conservações – discute energia e potência associadas aos movimentos. No segundo tema – Calor, ambiente e usos de energia – ela é tratada nas tecnologias que usam calor, por exemplo, motores e máquinas térmicas, sobretudo no estudo da eficiência nos processos de transformação e sua dissipação. Nesse tema também é sugerido o estudo da produção de energia para uso social, enfatizando os seguintes objetivos:

- identificar as diferentes fontes de energia (lenha e outros combustíveis, energia solar etc.) e processos de transformação presentes na produção de energia para uso social;
- identificar os diferentes sistemas de produção de energia elétrica, os processos de transformação envolvidos e seus respectivos impactos ambientais, visando escolhas ou análises de balanços energéticos;
- acompanhar a evolução da produção, do uso social e do consumo de energia, relacionando-os ao desenvolvimento econômico, tecnológico e à qualidade de vida, ao longo do tempo (BRASIL, 2002, p. 74).

A energia eletromagnética aparece implicitamente no terceiro tema – Som, imagem e informação. Já no quarto tema – Equipamentos elétricos e telecomunicações – a energia elétrica é contemplada com os seguintes objetivos:

- dimensionar o custo do consumo de energia em uma residência ou outra instalação, propondo alternativas seguras para a economia de energia.
- compreender o funcionamento de diferentes geradores, para explicar a produção de energia em hidrelétricas, termelétricas etc.. Utilizar esses elementos na discussão dos problemas associados desde a transmissão de energia até sua utilização residencial.

O quinto tema estruturador – Matéria e radiação – trata, dentre outros conhecimentos, da natureza da radioatividade e da energia nuclear, por exemplo, seus efeitos, suas causas e seus usos.

E finalmente o sexto tema – Universo, Terra e vida – discute implicitamente a energia das partículas, a origem da matéria a partir da energia, sobretudo o que constitui o Universo: matéria, energia e suas interações.

Como uma das possíveis forma de observamos qual ensino de energia esperado hoje do ensino médio, podemos analisar como as questões do Exame Nacional do Ensino Médio, mais conhecido como ENEM, inserem-se nesse contexto. Esse exame vem contemplando o tema energia em suas edições anuais. O tema aparece em aproximadamente 60 % das questões que podem ser consideradas de Física. Elas priorizam discussões sobre a disponibilidade de fontes energéticas, além de impactos ao meio ambiente devido à utilização das respectivas fontes. Isso, contraditoriamente, diverge da forma como o tema é tratado durante o ensino médio.

Observando treze anos de ENEM (1998 a 2010), destacamos um universo com cinquenta e uma questões envolvendo o tema energia, as quais podem ser divididas em três conjuntos de questões. Essas questões encontram-se no Anexo 1.

O primeiro conjunto contempla apresentações sobre as diversas manifestações de energia, como é o caso da energia geotérmica apresentada na questão 36. Essa questão traz um texto informativo sobre essa fonte energética e depois pede para que o aluno realize uma comparação com outras fontes.

A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4.000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radiativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição. Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização.

Ainda nesse primeiro conjunto, existem questões que abordam os processos de transformação de energia em diferentes situações, como por exemplo, em usinas hidrelétricas e termelétricas. Também são contempladas questões relacionadas à absorção da energia proveniente do Sol pela Terra, como a questão 4, na qual um diagrama mostra como a energia solar é convertida em outras formas de energia no planeta, cujo objetivo é destacar qual fração dessa energia a humanidade aproveita na forma de eletricidade.

Nesse conjunto inserimos dezoito questões do ENEM: 1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 14, 22, 29, 31, 32, 34, 35, 36, 38, 41 e 47.

O segundo conjunto aborda as questões relacionadas aos usos sociais das fontes energéticas, principalmente o consumo de eletricidade, bem como a eficiência na utilização das fontes energéticas. Por exemplo, a questão 30 tem como objetivo o cálculo do consumo de energia elétrica mensal de uma casa que utiliza determinados aparelhos eletrônicos, para isso são fornecidos a potência e o tempo de utilização desses aparelhos, além do valor do quilowatt-hora local.

Outro exemplo desse conjunto é a questão 42, o enunciado dessa questão diz que

A eficiência de um processo de conversão de energia é definida como a razão entre a produção de energia ou trabalho útil e o total de entrada de energia no processo. A figura mostra um processo com diversas etapas. Nesse caso, a eficiência geral será igual ao produto das eficiências das etapas individuais. A entrada de energia que não se transforma em trabalho útil é perdida sob formas não utilizáveis (como resíduos de calor).

A figura citada mostra uma usina termelétrica e os valores da eficiência das etapas de geração de eletricidade, e o objetivo da questão é avaliar como aumentar a eficiência geral do processo.

As questões sobre eficiência e consumo são: 9, 10, 11, 12, 13, 15, 16, 20, 21, 23, 26, 28, 30, 39, 42, 43, 44, 45, 49 e 50. Totalizando vinte questões.

Finalmente, o terceiro conjunto de questões contempla situações energéticas que enfatizam questões ambientais. Ao todo são treze questões: 6, 17, 18, 19, 24, 25, 27, 33, 37, 40, 46, 48 e 51.

A questão 46 envolve os impasses no processo de construção da usina hidrelétrica de Belo Monte. Com base na apresentação de um texto o aluno deve ser capaz de interpretar a que estão relacionados esses impasses, as resistências e os desafios na construção dessa usina.

Também são abordadas situações que envolvem utilização de fontes renováveis e não-renováveis de energia, como a utilização de álcool *versus* a utilização de derivados de petróleo. A questão 25 é um exemplo dessa discussão.

Esses três conjuntos não têm a pretensão de esgotar as possibilidades de análises das questões que envolvem o tema energia no ENEM. Dependendo do objetivo traçado podemos obter diferentes leituras. Outros trabalhos têm se ocupado em observar esses exames, como é o caso de (GUARIGLIA *et al.*, 2009). Esse trabalho destaca que as transformações de energia estão presentes nos exames, e envolvem principalmente as formas de energia elétrica e química. Também criam cinco categorias para classificação das questões, que são: produção de energia elétrica; economia financeira; temporalidade; políticas e fontes de energia menos poluentes; e conhecimento científico da energia química.

De um modo geral observamos que as questões do ENEM que contemplam o tema energia possuem um caráter social, econômico e ambiental. E como já mencionamos anteriormente, de maneira contraditória a forma como o tema é tratado nas aulas de Física. Na sequência buscamos um

referencial para essa discussão de questões ambientais sobre energia em um contexto mais crítico e social.

2.2. O meio ambiente e o referencial CTS

As diferentes fontes de energia naturais – como o petróleo – ou transformadas pela ação humana – como a gasolina – fazem parte do meio ambiente. Não somente essas fontes, mas toda transformação provocada pela interação do homem com a natureza, passa a fazer parte do meio ambiente. Por exemplo, um saco plástico que utilizamos para levar nossas compras do mercado para casa, um dia foi petróleo. Este que também é uma fonte energética quando transformado em gasolina para produzir movimento de veículos. Petróleo, sacola e gasolina são exemplos de recursos, naturais ou transformados pelo homem, que fazem parte do meio ambiente. Também incluímos nessa lista de constituintes do meio ambiente: os veículos, o mercado, nossa casa e nós mesmos.

Diversos trabalhos têm se ocupado e discutido as ideias, ou representações, de meio ambiente, como, por exemplo, Reigota (1998). Para esse autor, o meio ambiente é compreendido como

Lugar denominado ou percebido onde os elementos naturais e sociais estão em relações dinâmicas e em interação. Essas relações implicam em processos de criação cultural e ideológica e processos históricos e sociais de transformação do meio natural e construído. (REIGOTA, 1998, p.14)

Dessa forma, explicita-se uma percepção integrada, para a qual o meio ambiente não se constitui apenas pelos animais e plantas que convivem em um dado espaço geográfico, como um pano de fundo para a vida

humana, mas passa a incluir de forma explícita a natureza transformada. No entanto, em trabalhos de diversos autores verifica-se que essa representação é construída por uma percentagem muito pequena de indivíduos, mesmo considerando diferentes grupos sociais, como analisado por Santos (2002) e Sousa (2005). Mesmo em levantamentos de representações de meio ambiente mais recentes, envolvendo inclusive técnicos e professores, essa tendência foi confirmada (FERREIRA *et al.*, 2007).

A discussão dessa questão ambiental, envolvendo o tema energia, que queremos desenvolver no ensino de Física, aponta para a necessidade de uma visão social e crítica, para isso utilizaremos a abordagem CTS (Ciência – Tecnologia – Sociedade).

O tema CTS surge na segunda metade do século XX como uma crítica ao desenvolvimento científico e tecnológico que parte do pressuposto de trazer apenas benefícios à sociedade.

Questões éticas e políticas como: o lançamento de bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial e o lançamento de produtos tóxicos na Guerra do Vietnã; e tecnologias que passaram a fazer parte da vida cotidiana como, por exemplo, produtos transgênicos e clonagem; fenômenos físicos como aquecimento global e tsunamis são exemplos de temas de relevância científica, tecnológica, e principalmente, social que passaram a colocar em xeque o modelo econômico de sociedade que se instaurou no século passado. Graças a tudo isso, é evidente a necessidade da inclusão dessas discussões no contexto escolar, independente da forma específica de abordagem, identificando os aspectos de ciência, tecnologia e sociedade que devem estar presentes.

Alguns autores, por exemplo Strieder (2008), apontam diferentes tendências para uma abordagem CTS, dependendo dos valores atribuídos a cada um dos três temas. Alguns enfoques ainda privilegiam a Ciência, mas também existem deslocamentos para a Tecnologia e Sociedade.

Quando tratamos do ensino de ciências, a tecnologia, mesmo que implicitamente, está presente. Mas a sociedade quase sempre está ausente dessas discussões.

Nesse campo de investigação, que comumente chamamos de “enfoque CTS no contexto educativo”, percebemos que ele traz a necessidade de renovação na estrutura curricular dos conteúdos, de forma a colocar ciência e tecnologia em novas concepções vinculadas ao contexto social. (PINHEIRO *et al.*, 2007, p. 74)

Um currículo com ênfase em CTS, segundo Roberts (1991, *apud* SANTOS e MORTIMER, 2002), deve tratar a inter-relação entre a explicação científica, o planejamento tecnológico e a solução de problemas, e a tomada de decisão com relação a temas práticos de importância social.

Para um tema ser trabalhado numa abordagem CTS, ele precisa ter importância social e ser relativo à ciência. Para Ramsey (1993, *apud* SANTOS e MORTIMER, 2002) o tema deve ter natureza controvertida, significado social e ser relativo à ciência e à tecnologia.

Santos e Mortimer (2002) apresentam sugestões de temas para estudo com enfoque CTS no contexto brasileiro, dentre essas sugestões, duas vão ao encontro de nossas propostas: *As fontes energéticas no Brasil, seus efeitos ambientais e seus aspectos políticos* e *O destino do lixo e o impacto sobre o ambiente, o que envolveria reflexões sobre hábitos de consumo na sociedade tecnológica*.

Esse mesmo trabalho sistematiza diferentes formas ou estratégias de abordagem CTS no espaço escolar. Essas formas diferem quanto à importância dada ao conteúdo disciplinar e específico e as discussões num contexto mais social. São oito categorias, que caminham de um currículo tendo o conteúdo CTS apenas como elemento de motivação, ou seja, focado no ensino de ciências, para um currículo no qual o foco é o estudo de uma questão tecnológica ou social importante, sendo o conteúdo de ciências apenas mencionado como um meio de vinculação. Entre essas duas análises, existem propostas intermediárias. Uma delas, a que mais se aproxima da nossa visão de enfoque CTS é denominada *Ciências com conteúdo CTS*, na qual *o conteúdo de CTS é o foco do ensino e o conteúdo relevante de ciências enriquece a aprendizagem*. Em nosso caso, o ensino de energia é o foco, porém a abordagem é CTS. Ou seja, defendemos a necessidade do estudo de conceitos e conhecimentos que permitam uma discussão mais aprofundada e bem argumentada de questões tecnológicas e sociais relevantes. Nesse sentido, CTS não é apenas fator motivacional, nem a discussão tecnológica e social dos usos de energia é o foco, mas sim o ensino/aprendizagem de conceitos relacionados ao tema energia, que propiciarão um campo de conhecimentos que possibilite discussões e tomadas de decisões em questões energéticas no país.

2.3. Educação ambiental crítica

Para o tratamento de uma questão ambiental, como propomos para o caso da energia, é evidente a necessidade de uma perspectiva ambiental que explicita as representações de meio ambiente e a relação humana nesse contexto.

A educação ambiental integra propostas educativas oriundas de concepções teóricas e matrizes ideológicas distintas, sendo reconhecida publicamente, no Brasil, como de inegável relevância para a construção de uma perspectiva ambientalista de mundo e de sociedade. (LOUREIRO, 2006, p. 132)

Essa abordagem da questão ambiental ganhou forma na década de 1980 no Brasil devido a atuação de ONGs (organizações não governamentais) e movimentos sociais em encontros nacionais, bem como a ampliação das produções acadêmicas na área (LOUREIRO, 2006).

Ainda que não seja consolidada como política pública, instrumentos legais e documentos governamentais asseguram à temática um caráter transversal, indispensável e indissociável da política educacional brasileira (LOUREIRO, 2004)

Entende-se por educação ambiental uma grande diversidade de abordagens, concepções e perspectivas que vêm sendo utilizadas no tratamento das questões ambientais, dentro de um amplo espectro em que podem ser identificadas duas abordagens predominantes, representadas pela visão da educação ambiental com ênfase ecológica e a educação ambiental crítica (LORENZETTI, 2008). Em decorrência das características básicas dessas perspectivas, por esse autor caracterizadas como estilos de pensamento, também é de esperar que as ideias de sustentabilidade, assim como de meio ambiente, nelas inseridas, sejam distintas.

Uma leitura dessas diferenças de abordagens e concepções foi sintetizada por Lorenzetti e Delizoicov (2009), na qual mostram que é preciso, para essa sistematização, explicitar as concepções nas quais se trabalha.

Nessa direção, os autores caracterizam os chamados *Estilos de Pensamento em Educação Ambiental*, a partir de um grupo de professores, os quais foram divididos em dois grupos: os que possuem *Estilo de Pensamento Ecológico* e os que possuem *Estilo de Pensamento Ambiental Crítico-Transformador*.

Os professores pertencentes ao primeiro grupo - *Estilo de Pensamento Ecológico* - não explicitam uma “compreensão sobre as inter-relações e interdependências existente entre os seres vivos”. Possuem uma representação social naturalista de meio ambiente, onde prevalecem assuntos como, por exemplo, reciclagem, reflorestamento, disponibilidade de água e demais recursos. Entendem Educação Ambiental como uma educação para se realizar os assuntos citados anteriormente, ou seja, educar para reciclar, para preservar etc.

No segundo grupo - *Estilo de Pensamento Ambiental Crítico-Transformador* - os professores “possuem uma visão mais ampla do processo educativo, compreendendo e analisando os problemas ambientais em suas dimensões: naturais, históricas, culturais, sociais, econômicas e políticas”. A visão de Educação Ambiental que prevalece é a da formação de uma sociedade com novos valores e práticas, na qual o homem é parte integrante da natureza da mesma forma que os outros seres vivos e os aspectos físicos do planeta. As relações entre todos os aspectos, vivos e não vivos, caracteriza uma representação social de meio ambiente globalizante, ou seja, não é apenas ecológico, mas também social, histórico e político.

Obviamente, esses estilos demarcam perfis extremos de caracterização que permitem muitos espaços de intervenção e interpretação

diferentes.

Além dessa visão ambiental ecológica e crítica, Loureiro (2006) também descreve dois blocos principais dentro da educação ambiental. Um denominado **conservador ou comportamentalista** e o outro **transformador, crítico ou emancipatório**. As características principais de cada um deles são as seguintes:

Conservador ou comportamentalista	Transformador, crítico ou emancipatório
compreensão naturalista e conservacionista da crise ambiental	busca da realização de autonomia e liberdades humanas em sociedade, redefinindo o modo como nos relacionamos com a nossa espécie, com as demais espécies e com o planeta
educação entendida em sua dimensão individual, baseada em vivências práticas	politização e publicização da problemática ambiental em sua complexidade
despolitização do fazer educativo ambiental, apoiando-se em pedagogias comportamentalistas ou alternativas de cunho místico	convicção de que a participação social e o exercício da cidadania são práticas indissociáveis da educação ambiental
baixa problematização da realidade e pouca ênfase em processos históricos	preocupação concreta em estimular o debate e o diálogo entre ciências e cultura popular, redefinindo objetos de estudo e saberes
foco na redução do consumo de bens naturais, descolando esta discussão do modo de produção que a define e situa	indissociação no entendimento de processos como: produção e consumo; ética, tecnologia e contexto sócio-histórico; interesses privados e interesses públicos
diluição da dimensão social na natural, faltando entendimento dialético da relação sociedade-natureza (sociedade como realização coletiva e objetivada da natureza humana, ou melhor, como realização e exigência para a sobrevivência da espécie humana)	busca de ruptura e transformação dos valores e das práticas sociais contrários ao bem-estar público, à equidade e à solidariedade
responsabilização pela degradação posta em um homem genérico, fora da História, descontextualizado social e politicamente	

Esse segundo grupo (transformador, crítico ou emancipatório) contempla nossa proposta de trabalho para o ensino de energia, na qual o estudo de questões energéticas possibilita uma compreensão crítica de ensino de Física, considerando o meio ambiente. Essa visão de educação ambiental também encontra ressonância no *Estilo de Pensamento Ambiental Crítico-Transformador*.

2.4. Considerações gerais

Consideramos o tema energia potencialmente interessante para ser trabalhado numa abordagem CTS, já que são comuns discussões de aspectos sociais, políticos, econômicos, geográficos e ambientais envolvendo fontes de energia, como por exemplo, disputas pelo petróleo do Oriente Médio, descobrimento do Pré-Sal e construções (ou reativações) de Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH's) no Brasil, utilização de fontes alternativas de energia pelo mundo, como biomassa, nuclear, eólica e geotérmica. Em todos esses exemplos, é evidente a presença científica, a necessidade de planejamento tecnológico para solução de problemas e o conhecimento por parte de toda a sociedade para tomada de decisões com relação a quais fontes de energia devem ser, ou não, utilizadas.

Inserir o tema energia em uma perspectiva de educação ambiental crítica problematiza a divergência presente em uma das características apresentadas da educação ambiental conservadora, na qual o consumo de energia é focado apenas na redução do consumo de bens naturais, ao passo que na visão de educação ambiental *transformadora*, não dissocia, além de produção e consumo, ética, tecnologia e contexto sócio-histórico e interesses privados e públicos.

O ensino médio tem como objetivo a preparação do aluno para exercer sua cidadania. O ensino de energia contextualizado com essa proposta é o foco desse trabalho. Para isso, propomos que o desenvolvimento de um estudo da matriz energética brasileira é potencialmente norteador para promover discussões que abordem questões: sociais, como a distribuição de energia atingindo todos os indivíduos de uma sociedade; econômicas, como os preços dos barris de petróleo, as implicações das entressafra na produção de álcool ou a eficiência de processos de transformação de energia; culturais, como o remanejamento de povos ribeirinhos para construção de hidrelétricas; geográficas, como a instalação ou não de usinas eólicas para produção de energia elétrica; ou ambientais, na avaliação dos impactos da utilização de termelétricas a óleo ou carvão, ou mesmo usinas nucleares.

Dessa forma, o enfoque educacional CTS, além da perspectiva de uma educação ambiental crítica, contribuem para o desenvolvimento dessa proposta.

Na sequência vamos observar como o conceito de sustentabilidade pode nos ajudar na construção de uma concepção de utilização dos recursos energéticos.

CAPÍTULO 3

Algumas ideias e representações sobre sustentabilidade

A atenção para com as questões ambientais vem ganhando expressão, nos últimos anos, de forma crescente, respondendo às inquietações provocadas, talvez, pelo ritmo do crescimento populacional mundial, por mudanças climáticas, ou mesmo por tragédias climáticas. Questões como aquecimento global ou desenvolvimento sustentável estão frequentemente presentes na mídia. Da mesma forma, na realização de diversas iniciativas, projetos, eventos, empreendimentos etc., manifesta-se uma constante preocupação com a garantia de sustentabilidade. Tornou-se quase uma “obrigação”, politicamente correta, garantir a sustentabilidade em diferentes níveis de atividade.

3.1. O conceito de sustentabilidade

O conceito de desenvolvimento sustentável começa a tomar forma na década de 1970 com o crescimento da consciência da relação entre problemas ambientais e padrões de vida da sociedade (BELLEN, 2005).

Alguns trabalhos, por exemplo Camargo (2003), Bellen (2005) e Lorenzetti (2008) fazem um histórico do processo de construção dessa ideia

de desenvolvimento associada ao meio ambiente, apresentando fatos, reuniões e conferências, que tinham como objetivo realizar discussões sobre a utilização dos recursos naturais do planeta.

Em 1972, o relatório *The limits to growth* (Os limites para o crescimento), produzido pelo Clube de Roma (composto por cientistas políticos e empresários preocupados com as questões globais), apresenta o fruto de um trabalho interdisciplinar, desenvolvido durante vários anos, que procura construir um modelo único para as diferentes variáveis que influenciam o desenvolvimento. Seus resultados, naquele momento, apontavam para a possível existência de um limite para o desenvolvimento, ou seja, de um limite para a exploração dos recursos da natureza (MEADOWS *et al.*, 1972).

Segundo Bellen (2005),

O relatório rompe com a ideia da ausência de limites para a exploração de recursos da natureza, contrapondo-se claramente à concepção dominante de crescimento contínuo da sociedade industrial. (BELLEN, 2005, p. 21)

Em 1973, surge o termo *ecodesenvolvimento*, utilizado por Maurice Strong, então secretário-geral da Conferência de Estocolmo de 1972. Mas os princípios básicos dessa nova visão de desenvolvimento foram formulados por Ignacy Sachs, e são:

a) a satisfação das necessidades básicas; b) solidariedade com as gerações futuras; c) a participação da população envolvida; d) a preservação dos recursos naturais e do meio ambiente em geral; e) a elaboração de um sistema social garantindo emprego, segurança social e respeito a outras culturas; f) programas de educação. (CAMARGO, 2003, p. 66)

Sachs define ecodesenvolvimento como o desenvolvimento socialmente desejável, economicamente viável e ecologicamente prudente (CAMARGO, 2003) e também caracteriza o desenvolvimento sustentável sob cinco dimensões: sustentabilidades social, econômica, ecológica, geográfica e cultural (BELLEN, 2005). A dimensão social refere-se principalmente a qualidade de vida da sociedade, baseada em uma nova concepção de desenvolvimento, de forma que este contribua, por exemplo, com menores taxas de desemprego e maior acesso a bens de consumo e serviço. A dimensão econômica sugere que uma maior eficiência na utilização dos recursos também é uma questão de sustentabilidade. A dimensão ecológica foca a diminuição na utilização de recursos facilmente esgotáveis ou que causem grandes impactos ambientais, como é o caso dos combustíveis fósseis. Também deve priorizar a diminuição do consumo e o incentivo a políticas de reutilização e reciclagem. A sustentabilidade do ponto de vista geográfico considera uma distribuição adequada da população, bem como a importância de fatores locais na escolha de instalações de atividades econômicas, como, por exemplo, a instalação de usinas hidrelétricas ou eólicas, ou mesmo uma fábrica de produtos químicos. O aspecto cultural também deve ser considerado como uma dimensão de sustentabilidade, pois as peculiaridades de cada comunidade, seja humana ou um ecossistema, não podem ser desprezadas, mas sim respeitadas.

O termo *desenvolvimento sustentável* foi primeiramente divulgado por Robert Allen no artigo *How to save the world* (Como salvar o mundo), de 1980 (CAMARGO, 2003). No entanto, segundo essa mesma autora, as definições de desenvolvimento sustentável mais conhecidas estão

presentes no relatório *Our common future* (Nosso futuro comum), também conhecido como *Relatório Brundtland*, publicado em 1987. Esse relatório é produto de pesquisas da Comissão Mundial sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, criada pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (Pnuma) e presidida pela então primeira-ministra da Noruega – Gro Harlem Brundtland.

Segundo esse relatório

Para que haja um desenvolvimento sustentável, é preciso que todos tenham atendidas as suas necessidades básicas e lhes sejam proporcionadas oportunidades de concretizar suas aspirações a uma vida melhor. (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 47)

Também destaca que

Em seu sentido mais amplo, a estratégia do desenvolvimento sustentável visa a promover a harmonia entre os seres humanos e entre a humanidade e a natureza. (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 70)

E a busca pelo desenvolvimento sustentável requer:

- um sistema político que assegure a efetiva participação dos cidadãos no processo decisório;
- um sistema econômico capaz de gerar excedentes e know-how técnico em bases confiáveis e constantes;
- um sistema social que possa resolver as tensões causadas por um desenvolvimento não-equilibrado;
- um sistema de produção que respeite a obrigação de preservar a base ecológica do desenvolvimento;

- um sistema tecnológico que busque constantemente novas soluções;
 - um sistema internacional que estimule padrões sustentáveis de comércio e financiamento;
- um sistema administrativo flexível e capaz de autocorrigir-se. (COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO, 1991, p. 70)

Várias conferências da Organização das Nações Unidas (ONU) vêm discutindo a relação do desenvolvimento com o meio ambiente ao longo das últimas quatro décadas, inclusive a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como *RIO-92*, realizada na cidade do Rio de Janeiro em 1992, cujo produto foi um importante documento, a *Agenda 21*. Esse documento não obriga nenhum país a realizar ações, mas apresenta um plano que orienta as comunidades para uma nova concepção de sociedade. A partir da RIO-92 é consolidada, como discurso oficial da maioria dos países do mundo, a relação entre desenvolvimento socioeconômico e as transformações do meio ambiente.

Nos últimos anos, a designação de desenvolvimento sustentável vem sendo expandida, em alguns setores, para a designação de **sustentabilidade**. Essa evolução expressa, de certa forma, uma nova maneira de compreender a questão, embora as duas designações correspondam, essencialmente, à mesma coisa. O discurso atual, principalmente na mídia, associa a sustentabilidade a diferentes esferas da vida social, transformando essa concepção também em uma espécie de ideário para ação. Nesse sentido, optamos pela utilização do conceito de **sustentabilidade**.

Por ser um conceito ainda não construído completamente, ele é pensado das mais diversas formas, carregadas de expectativas e pressupostos nem sempre explícitos. Trata-se, em certo sentido, de um desejo compartilhado coletivamente, com aceitação perto da unanimidade, mas abarcando compreensões pouco precisas. E todas as vezes que são propostas atividades ou abordagens envolvendo as questões ambientais, as ambiguidades da sustentabilidade acabam gerando diferentes perspectivas de tratamento para os temas. Esse aspecto se reflete diretamente, também, na educação ambiental e no desenvolvimento de projetos ou abordagens de temas ambientais no campo educacional.

Em decorrência das características básicas das perspectivas de educação ambiental apresentadas no capítulo anterior, também é de esperar que as ideias de sustentabilidade, assim como de meio ambiente, nelas inseridas, sejam distintas.

Um extenso levantamento, ao longo de vários anos, entre 1997 e 2001, sobre as ideias da população brasileira sobre o assunto permitiram caracterizar, o que foi denominado por seus autores, de pensamento do senso comum sobre consumo sustentável e meio ambiente (CRESPO, 2003). No entanto, uma análise dos resultados dessa pesquisa mostra como a natureza das questões sobre sustentabilidade tem evoluído significativamente nos últimos anos. Esse aspecto torna-se mais evidente pela comparação das perguntas formuladas aos entrevistados.

É interessante observar, por outro lado, que, muitas vezes, uma compreensão elaborada do termo é de difícil apropriação, mesmo quando são desenvolvidas ações de sustentabilidade em projetos de educação

ambiental, como é o caso do trabalho interdisciplinar desenvolvido na escola média (HARTMANN e ZIMMERMANN, 2007).

Essas considerações permitem verificar as dificuldades inerentes ao tema. No entanto, mais do que buscar definições precisas, nossa proposta é de utilizar as representações de sustentabilidade como ponto de partida para a explicitação de concepções, permitindo promover um debate no grupo analisado, na perspectiva de uma conscientização mais crítica da questão ambiental.

3.2. Representações de sustentabilidade

Reconhecendo a importância de um aprofundamento da compreensão da sustentabilidade, consideramos que um ponto de partida importante, nessa direção, pode constituir-se na explicitação de seus diferentes sentidos. Ao mesmo tempo, por tratar-se de sentidos que vêm sendo construídos principalmente fora da escola, mais diretamente no campo social, e que são difundidos por meio das diferentes mídias, parece relevante que esse levantamento inclua a identificação de algumas de suas concepções.

Assim, propomos um levantamento de algumas das representações presentes em relação a esse tema, especialmente entre jovens universitários. A explicitação de vários dos sentidos da sustentabilidade pode ter um papel fundamental, tanto como ponto de partida para projetos e tomada de consciência da questão, quanto como perspectiva de trabalho no campo. Isto é, sobretudo, importante, por estarmos em busca de uma perspectiva ambiental crítica para o Ensino de Ciências e/ou Física.

A preocupação, nesse caso, é não só conhecer as concepções dos estudantes, mas verificar até que ponto o levantamento de

suas concepções pode vir a ser utilizado como instrumento didático. Assim, socializar as representações individuais no coletivo de uma turma permite aos próprios alunos perceberem o universo de questões envolvidas, sem a necessidade de recorrer a textos mais teóricos.

Com esse objetivo, desenvolvemos um levantamento das concepções de sustentabilidade e pretendemos investigar em que medida tais representações podem ser utilizadas como instrumentos didáticos.

Estabelecemos como grupo de investigação alunos dos cursos de Física e Farmácia da Universidade de São Paulo cursando a disciplina Física do meio ambiente. O instrumento utilizado foi uma questão aberta: **No seu entender, o que é ou em que consiste a sustentabilidade?**

Responderam ao questionário 78 alunos. Embora tenham sido identificadas diferenças segundo o curso de origem, esse aspecto não será aqui analisado, tratando-se o conjunto de forma homogênea (a íntegra das respostas dos alunos encontra-se no Anexo 2).

As respostas aos questionários foram analisadas através da metodologia de análise de conteúdo (BARDIN, 2008), tratando cada uma das respostas como unidades de análise independentes.

Para análise das representações sobre sustentabilidade foram construídas categorias, ao longo do processo, por analogia e agrupamentos sucessivos, a partir da identificação dos aspectos mais essenciais. Nesse sentido, foram estabelecidas categorias de síntese, de acordo com a terminologia adotada nessa metodologia.

Na análise das respostas, a partir da identificação dos elementos centrais apontados pelos sujeitos, foi possível estabelecer cinco

grupos distintos de representações, que de acordo com os critérios da análise de conteúdo, podem constituir-se em categorias. Apenas duas respostas (menos de 3 % da amostra): “Não sei” e “Sustentar algo?”, não foram incluídas em nenhuma das categorias definidas.

De certa forma, e como será possível esclarecer mais adiante, essas categorias representam um possível caminhar em direção a uma compreensão ambiental crítica. São elas:

1. sustentabilidade simplificada ou literal
2. sustentabilidade de recursos
3. sustentabilidade do meio natural
4. sustentabilidade de recursos e do meio natural
5. sustentabilidade humana

A seguir, elas serão definidas e exemplificadas, passando-se, para uma abordagem quantitativa, através da frequência de respostas.

3.2.1. A sustentabilidade simplificada ou literal

Essa categoria é a que engloba as representações mais genéricas sobre sustentabilidade, em que não se extrai um sentido específico, permitindo inferir que os sujeitos não descrevem uma percepção mais elaborada. São situações nas quais as respostas limitam-se a tentativas de explicar o sentido literal da palavra, como

Um ecossistema que se mantém constante por si próprio.

Sustentabilidade é o quanto algo tende a se manter sem interferência externa.

Essa primeira categoria está representada por 22 respostas das 78 que obtivemos para o questionário, ou seja, 28 %.

3.3.2. A sustentabilidade de recursos

Essa categoria expressa uma preocupação com a disponibilidade de recursos naturais para gerações futuras, bem como medidas de reaproveitamento e renovação de recursos e reciclagem de resíduos. A partir dessas respostas pode ser inferida que a questão central para a garantia do futuro é o não esgotamento dos recursos, ou seja, a necessidade da utilização consciente. São exemplos de respostas dessa categoria:

É uma forma de se utilizar dos bens naturais do planeta fazendo com que estes nunca se acabem ou demorem o maior tempo possível para acabar.

Sustentabilidade é não utilizar mais o meio ambiente como matéria-prima, é tentar reutilizar os materiais, reciclá-los.

Essa representação está presente em 16 respostas, ou seja, 20,5 %.

3.2.3. A sustentabilidade do meio natural

Nessa categoria, inserimos as visões de sustentabilidade que expressam preocupação com os danos causados ao meio ambiente, juntamente com ações para minimização de impactos. Exemplos:

Sustentabilidade é o modo de viver que consiste em realizar nossas tarefas de modo a não prejudicar o meio em que vivemos.

É a permanência não agressiva de um ser vivo dentro de um determinado ecossistema para não provocar futuras mudanças no meio ambiente.

Está presente em 15 representações, das 78, ou seja, pouco mais de 19 %.

3.2.4. A sustentabilidade de recursos e do meio natural

Nessa categoria, observamos visões sobre disponibilidade de recursos juntamente com a preocupação com os danos causados ao meio ambiente. Portanto, consideramos uma espécie de superposição das duas categorias anteriores, porém, observamos que essas representações mostram a presença do homem como agente para que haja sustentabilidade, aparecendo pela primeira vez, o envolvimento por parte do ser humano, mesmo que implicitamente. Exemplos:

Sustentabilidade é o desenvolvimento de atividades que interfiram de forma mínima no meio ambiente, reutilizando materiais já usados antes para minimizar qualquer impacto.

É uma forma de utilizar os recursos naturais sem agredir a natureza, ou seja, “repondo” o que é retirado do meio ambiente ou usando com moderação.

Nessa categoria foram identificadas as respostas de 14 alunos, ou seja, aproximadamente, 18 % do total.

3.2.5. A sustentabilidade humana

A última categoria expressa as representações de sustentabilidade inseridas num contexto mais social, econômico e ambiental. É mais explícita a participação do homem como agente transformador por meio de suas ações e atitudes. Aproximadamente 11,5 %, ou 9 dos 78 alunos, possuem essa visão de sustentabilidade. Exemplos:

É a idéia do uso, produção, trabalho consciente. Algo que avalia os danos ambientais e evita o desperdício com atitudes.

Sustentabilidade consiste em um conjunto de ações voltadas para a minimização do impacto do consumo e produção desempenhados pela sociedade atual.

A distribuição das representações dos alunos por categoria está expressa na Figura 3.1.

Figura 3.1 – Distribuição da frequência de representações de sustentabilidade

Podemos observar que, a frequência das visões mais críticas de sustentabilidade é bem menor, ou seja, elas evidenciam que não entendemos o homem como responsável pelas transformações do meio. Essa distribuição inicia-se com 28 % dos alunos inseridos na categoria sustentabilidade simplificada (ou literal), 20 % na categoria sustentabilidade de recursos, 19,5 % na categoria sustentabilidade do meio natural, 18 % na categoria sustentabilidade de recursos e do meio natural e, finalmente, 11,5 % na categoria sustentabilidade humana. Ao mesmo tempo, podemos verificar que a maior parte das pessoas associa a sustentabilidade à renovabilidade de recursos, à degradação do meio ou a ambos esses aspectos de forma conjunta, isso evidencia a presença de uma visão de educação ambiental

conservadora ou comportamentalista. No entanto, há pouca compreensão quanto às transformações contínuas do meio por ação da vida social humana e suas formas econômicas de produção e organização, ou seja, uma visão de educação ambiental transformadora, crítica ou emancipatória.

3.3. Considerações gerais

De uma maneira geral, nossos resultados apontam que as ideias de sustentabilidade desses jovens não contemplam a ação humana no conjunto de suas interações sociais, econômicas e ambientais. Isso passa uma ideia de que o meio ambiente está aí para ser utilizado, mas com a sustentabilidade garantindo que seja “utilizado com cuidado”.

Uma pequena porção da amostra investigada (11,5 %), possui representações que envolvem uma noção mais abrangente da interdependência profunda das transformações realizadas pela espécie humana como parte da própria natureza. Como consequência, as noções de sustentabilidade ficam restritas à garantia de recursos e da manutenção das condições ambientais que permitam o desenvolvimento do mesmo modelo econômico. Essas representações dificultam a construção de uma visão de mundo orgânica, em que a responsabilidade pelo modo de vida humano, valores e desigualdades sociais possam passar a ser percebidas também como parte integrante da questão. A impossibilidade de restringir essa discussão apenas a seus aspectos ambientais físicos foi já largamente discutida (MONTIBELLER, 2004), embora essas ideias venham tendo pouca repercussão no ambiente escolar.

Para além da pesquisa investigativa, é importante observar que o levantamento dessas concepções, em grupos bem definidos, pode ser utilizado como recurso didático. Ao serem confrontados com os resultados das representações de seu grupo, os alunos têm a oportunidade de confrontar-se com os significados e possibilidades mais amplas desse termo. Assim, o levantamento pode ser considerado como o ponto de partida para uma discussão, com o intuito de conscientizá-los sobre os sentidos implícitos nas representações conservadoras ou ecológicas. Ainda que seja apenas um passo inicial, essas discussões, nos grupos de alunos investigados nessa pesquisa, mostraram-se bastante proveitosas. Esperamos, assim, ter contribuído para uma reflexão mais atenta aos espaços de formação da questão ambiental no âmbito escolar.

Por fim, podemos observar que o conceito de sustentabilidade está longe de conquistar uma definição unânime, seja entre os estudiosos da área, os documentos da ONU ou as concepções da sociedade. Isso mostra que o tema é, no mínimo controverso, e merece atenção. Apesar das considerações feitas, por exemplo, no Relatório Brundtland, que propõem a busca da harmonia do homem com a natureza, falta explicitar o papel do homem no que se refere ao consumo dos bens naturais. Em particular no consumo de energia. Dessa forma propomos o estudo da matriz energética nacional para relacionarmos cada fonte de energia com os setores onde são consumidas.

O próximo capítulo apresenta algumas fontes de energia mais utilizadas no Brasil, para na sequência apresentarmos uma discussão inicial que levará ao estudo das matrizes energéticas.

CAPÍTULO 4

Fontes e conservação de energia

Nos capítulos anteriores, procuramos refletir sobre as características e objetivos das abordagens sobre energia que pretendemos privilegiar. Passamos, a seguir, a aprofundar os conhecimentos necessários para isso. Nesse sentido, procuramos, nesse capítulo, sistematizar algumas informações sobre as fontes de energia e suas transformações para uso social. Iniciamos com algumas considerações mais gerais no tempo, de fundo histórico, para depois caracterizar as diversas fontes, com atenção especial à geração de energia elétrica.

4.1. Energia e seus usos sociais

Em muitos textos e livros de Física, define-se *ENERGIA* como a capacidade de realizar *TRABALHO*. A realização de *trabalho* está associada à uma força e a um deslocamento, não havendo, portanto, trabalho sem essas duas grandezas vetoriais. Contudo, essa é uma expressão bastante restrita de expressar o trabalho humano que, na verdade, pode assumir diferentes aspectos. Assim, essa *capacidade* aumenta conforme o homem descobre, ou desenvolve, novas formas de facilitar seu *trabalho*. Ou seja, quando utiliza novas fontes de energia.

No início da humanidade, os alimentos eram ingeridos crus. Não se sabe ao certo quando o homem dominou o fogo, provavelmente há mais de 20.000 anos. Isso proporcionou uma primeira facilitação para a vida humana, modificando o funcionamento de seu sistema digestivo. Depois do Sol, podemos considerar o fogo como a primeira fonte de energia utilizada pelo homem. Além do cozimento de alimentos, o fogo também era utilizado como fonte de luz e calor.

Muito depois do domínio do fogo, há cerca de 5.000 anos, o homem passou a desenvolver ferramentas que facilitaram bastante seu *trabalho*, principalmente na agricultura, proporcionando uma maior facilidade em derrubar florestas e sulcar terras mais duras, não necessitando mais a permanência às margens de rios. O desenvolvimento da agricultura permitiu à espécie humana sua fixação, substituindo os modos de vida unicamente nômades, e é por muitos considerado como um dos marcos iniciais das primeiras civilizações. Teria sido nesse período que surgiu a roda, proporcionando posteriormente o movimento de pás e eixos nas primeiras rodas d'água. Dessa forma, a água deixa de ser apenas um elemento essencial da vida e passa a ser também uma fonte de energia e realização de trabalho.

Ao longo dos tempos, diferentes “conquistas” foram sendo acrescentadas à sociedade humana. No século X, por exemplo, com a invenção dos moinhos de vento, o homem passou a utilizar também o movimento do ar como fonte de energia.

“A energia solar fixada na plantação, a tração animal no arado e o fogo são três diferentes fontes de energia que o ser humano aprendeu a dominar” (USP 1986).

Muitos séculos depois, outro marco importante no desenvolvimento da sociedade humana foi a invenção das máquinas a vapor no início do século XVIII. Essas máquinas eram movimentadas por vapor de água, aquecida pela queima de carvão mineral. Nesse cenário, conhecido como **revolução industrial**, ganharam destaque importantes fenômenos que impulsionaram o desenvolvimento de uma importante área da Física: a *TERMODINÂMICA*. Assim teve início a era industrial, há aproximadamente 250 anos.

A chamada segunda revolução industrial, no final do século XIX, também é marcada por novas formas de utilização de energia. Nesse caso, pela possibilidade de substituição do carvão por um novo combustível, mais eficiente, o petróleo. Desde então, a obtenção de petróleo passa a ser causadora de muitas guerras e disputas políticas entre nações. O petróleo é utilizado pelo homem desde as mais antigas civilizações, mas a indústria petrolífera conforme conhecemos hoje, data da segunda metade do século XIX. As máquinas a vapor e os meios de transporte beneficiaram-se com o avanço das explorações e tecnologias de utilização de petróleo.

O desenvolvimento do *ELETROMAGNETISMO*, outra área da Física, permitiu a criação de motores e geradores elétricos, sendo possibilitada a produção de energia elétrica a partir do movimento de turbinas. Associada ao petróleo, a geração de energia elétrica pode ser considerada, sem dúvida, o marco definitivo da sociedade contemporânea, permitindo que os locais de geração de fontes de energia e os locais de sua utilização social pudessem se tornarem espacialmente independentes.

O desenvolvimento da *FÍSICA MODERNA*, mais especificamente, a Física Nuclear, proporcionou, em meados do século passado, a utilização da energia presente nos núcleos atômicos. Essa energia – denominada energia nuclear – é liberada em reações que acontecem com os núcleos atômicos. Esse desenvolvimento científico/tecnológico causou grande impacto na sociedade pelos incidentes e acidentes de sua autoria: as bombas atômicas na Segunda Guerra Mundial e a explosão da usina nuclear de Chernobyl são alguns exemplos.

Além dessas formas e fontes de energia, muitas outras contribuem e contribuirão para o desenvolvimento da sociedade humana, como as células combustíveis de hidrogênio, ainda em desenvolvimento, no processo denominado eletrólise; e as células fotovoltaicas, que aproveitam a energia solar, ambas utilizadas na geração de eletricidade. As principais fontes de energia utilizadas atualmente serão descritas a seguir.

4.2. Algumas fontes de energia atuais

Vamos apresentar breves características de algumas fontes de energia. A variedade de tipos de fontes energéticas que dispomos atualmente obriga-nos a fazer algumas escolhas. Por isso decidimos apresentar as fontes mais utilizadas segundo a matriz energética brasileira, como é o caso da energia proveniente dos combustíveis fósseis, da biomassa e da hidreletricidade. Também optamos pela inclusão em nossa lista da energia nuclear, pela importância no cenário mundial e das energias eólicas e solares, apontadas por muitos como possíveis soluções para os problemas ambientais causados pelas outras fontes.

4.2.1. A energia dos combustíveis fósseis

A decomposição e a fossilização de matéria orgânica em grandes profundidades, devido a altas pressões e temperaturas, é a origem de três das principais fontes de energia das quais a sociedade desfruta: o petróleo, o carvão mineral e o gás natural.

Devido ao processo de formação desses combustíveis, eles são denominados combustíveis fósseis. Esse processo de fossilização de matéria orgânica demora milhões de anos, e por isso não podemos contar com a reposição desses recursos, sendo assim considerados combustíveis não renováveis.

Além de poderem esgotar-se, o grande problema da utilização desses recursos naturais para a produção de energia é o impacto ambiental causado pela emissão de gases de efeito estufa (principalmente gás carbônico e metano), quando da queima (combustão) desses combustíveis.

Ainda podemos citar problemas socioambientais nos processos de extração desses recursos, para mencionar alguns acontecimentos recentes: o acidente com os mineradores que ficaram presos por mais de dois meses em uma mina de carvão no Chile; o vazamento de petróleo no Golfo do México, onde quase um milhão de litros de óleo era espalhado no mar por dia.

Apesar dessas desvantagens, seus usos são muito importantes para a sociedade atualmente. A queima desses combustíveis, ou de seus derivados no caso do petróleo, é utilizada na produção de energia elétrica em usinas termelétricas, nas quais o movimento das turbinas é causado pelo vapor de água a alta pressão, produzido devido à transferência

de calor proveniente da queima desses combustíveis.

A figura 4.1 mostra o esquema da geração de energia elétrica a partir do petróleo, em usinas chamadas genericamente de termoeletricas. Como toda máquina térmica, essa usina necessita de uma fonte quente (caldeira), onde ocorre a queima do combustível para produção de vapor, e uma fonte fria (água de resfriamento), utilizada na condensação do vapor para retornar ao ciclo. O vapor canalizado, a alta pressão, sai da caldeira e movimenta a turbina, sendo transformada em força eletromotriz no gerador produzindo uma corrente elétrica alternada.

Figura 4.1 – Perfil esquemático do processo de produção de energia elétrica a partir do petróleo.

Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

Os combustíveis fósseis também são bastante utilizados no setor de transportes: o carvão mineral nas locomotivas a vapor; a gasolina e o óleo diesel (derivados de petróleo) em veículos automotores, como carros e caminhões; e o gás natural, mais recentemente, em veículos leves.

Apesar dos problemas em seus usos, os combustíveis fósseis aparentam dominar ainda por um grande período a matriz energética mundial.

4.2.2. A energia da biomassa

Os impactos ao meio ambiente causados pela queima de combustíveis fósseis vêm contribuindo para o avanço das tecnologias de produção de combustíveis a partir de matéria orgânica (não fossilizada). Os chamados biocombustíveis já são parte integrante dos veículos nas estradas nacionais e, em menor escala, nas mundiais. O etanol, produzido a partir da cana-de-açúcar, está presente nos postos de abastecimento de combustíveis nacionais e vem ganhando espaço com o aumento da circulação dos automóveis movidos a motores flexíveis, que podem funcionar tanto a gasolina como a álcool, dependendo apenas da opção do condutor.

Entre os veículos pesados, principalmente caminhões e ônibus, os motores utilizados dependem majoritariamente do óleo diesel, que é um derivado de petróleo. Da mesma forma que o etanol, óleos derivados de alguns vegetais – o chamado biodiesel – estão sendo misturados no óleo diesel para abastecimento desses veículos, embasados por regulamentações governamentais.

Além de sua utilização na produção de biocombustíveis, a biomassa também pode ser aproveitada para produção de energia elétrica. Muitas usinas de açúcar e álcool utilizam a tecnologia de co-geração nesse processo. No qual o bagaço da cana que sobra após a extração do suco é queimado para produção de vapor. Esse vapor é utilizado para movimentar as turbinas que estão acopladas a um gerador. E parte do vapor também é aproveitada para movimentar as máquinas no processo de extração. Além de produzir a própria eletricidade, as usinas podem fornecer o restante da energia elétrica gerada para as concessionárias de energia elétrica locais.

Além da cana-de-açúcar, outras matérias-primas de origem vegetal como soja, milho, girassol, amendoim, mamona e arroz, ou simplesmente madeira, podem ser utilizados na produção de eletricidade e/ou biocombustíveis, como biodiesel e etanol. Segundo os dados da ANEEL, a biomassa é uma das fontes com maior potencial para crescimento nos próximos anos, contribuindo para a diversificação da matriz energética nacional e mundial. Dessa forma, o desenvolvimento das tecnologias para aproveitamento da biomassa também favorece a redução dos usos dos combustíveis fósseis.

4.2.3. A energia mecânica das águas

A energia elétrica também pode ser gerada por meio do movimento das águas. Nas chamadas usinas hidrelétricas, são construídas barragens, que represam a água e permitem a manutenção de uma altura de queda e uma vazão constante, suficientes para gerar energia, ver figura 4.2. Em uma hidrelétrica, a fonte direta é a energia de movimento da água. Como fonte primária última, poderia ser mencionada a energia solar, uma vez que o movimento das águas é parte do ciclo da água, que é movido pela absorção de energia solar.

Além das usinas hidrelétricas que utilizam quedas, existem as chamadas usinas “a fio d’água”, onde não há acúmulo de água em reservatórios, sendo aproveitado apenas o fluxo natural do rio. Outra vantagem desta última, além de não haver alagamentos, é o fato de não necessitarem de instalações muito sofisticadas no transporte de energia, pois como a energia produzida não é muito grande, o consumo é realizado nos próprios arredores das usinas.

A capacidade de geração de eletricidade de uma usina hidrelétrica é medida pela sua potência instalada, a tabela 4.1 mostra os tipos de usinas e sua capacidade instalada.

Tipo de Usina	Sigla	Capacidade ou Potência Instalada
Centrais Geradoras Hidrelétricas	CGH	até 1 MW
Pequenas Centrais Hidrelétricas	PCH	entre 1,1 MW e 30 MW
Usina Hidrelétrica de Energia	UHE	acima de 30 MW

Tabela 4.1 – Classificações das usinas hidrelétricas quanto às suas capacidades ou potências instaladas.

A usina hidrelétrica binacional de Itaipu (Brasil e Paraguai) possui uma potência instalada de 14 *mil MW*, sendo a segunda maior usina hidrelétrica do mundo, apenas ultrapassada pela usina chinesa de Três Gargantas, com capacidade final de 18,2 *mil MW*.

Com relação ao potencial de aproveitamento ainda existente nas bacias hidrográficas do país, segundo dados da ANEEL, a bacia do rio Amazonas é a maior, com um potencial de 106 *mil MW*, superior à potência já instalada no Brasil, em 2008, de 102 *mil MW*. A bacia do Tocantins/Araguaia ainda possui potencial de 16 *mil MW*.

A capacidade ou potência instalada (P) de uma hidrelétrica que funciona com queda d'água pode ser estimada pela equação 4.1,

$$P = \left(\frac{\Delta m}{\Delta t} \right) \cdot g \cdot h_{queda} \quad \text{equação 4.1}$$

onde,

Δm é a massa de água que cai em um intervalo de tempo Δt ;

g é a aceleração da gravidade, e vale aproximadamente, 9,8 m/s² e

h_{queda} é a altura da queda de água.

A energia hidrelétrica é uma fonte renovável, devido ao ciclo da água no planeta. Também é uma fonte limpa, pois não há recursos descartados. Após a utilização as águas não se contaminam e são escoadas rio abaixo.

A utilização de hidrelétricas, principalmente as de quedas d'água, devido ao fato de necessitarem de alagamentos para construção dos reservatórios, geram alguns problemas ambientais como: inundação de grandes áreas, muitas vezes produtivas, deslocamento de populações, alteração do regime de rios e habitat de peixes. Em alguns casos, quando as regiões foram alagadas com a presença de árvores, a decomposição das árvores produz grandes quantidades de gás carbônico e metano. Para usinas de grande porte, é possível que haja alterações climáticas locais, como aumento da umidade, além de que o aumento da pressão sobre terreno pode ocasionar alterações geológicas significativas. Em caso de cheias, a abertura de comportas pode ocasionar cheias nas regiões ribeirinhas. Uma questão social pertinente em relação a essas usinas é a “disputa” das águas utilizadas para abastecimento e para produção de energia.

Figura 4.2 - Perfil esquemático de usina hidrelétrica.

Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

4.2.4. A energia dos núcleos atômicos

A energia nuclear é obtida por meio de reações que ocorrem nos núcleos atômicos, nas quais libera-se grande quantidade de energia, a partir, em geral da fissão dos núcleos. Nesse processo, há conversão de parte da massa inicial em energia, que pode ser estimada, de acordo com a relação da famosa equação de Einstein $E = mc^2$. Essa equação mostra que uma pequena massa pode ser convertida numa imensa quantidade de energia, isso porque o fator de multiplicação da massa é o quadrado da velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8 \text{ m/s}$).

As reações nucleares podem ser de dois tipos: fissão nuclear e fusão nuclear. As usinas nucleares, como a da figura 4.3, funcionam como as termelétricas, ou seja, o vapor de água movimenta as turbinas para geração de eletricidade, a diferença básica das termelétricas convencionais está na forma de aquecimento da água para geração do vapor, nas termonucleares o combustível é a energia liberada nas reações nucleares.

Figura 4.3 - Perfil esquemático de usina nuclear.

Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

As term nucleares atuais funcionam devido ao processo de fissão nuclear, na qual núcleos de átomos radioativos são quebrados após serem atingidos por nêutrons, gerando uma reação em cadeia.

O combustível mais utilizado é o Urânio-235 (U_{235}), mas apenas 0,7 % do Urânio disponível na natureza é desse isótopo, assim, a maioria abundante de Urânio na natureza (U_{238}) precisa ser preparada – enriquecida – para se tornar físsil.

A utilização dessa modalidade de energia tem vantagens na sua alta capacidade de geração de eletricidade a partir de pouca matéria-prima, além de não depender de fatores climáticos nem poluir a atmosfera com gases de efeito estufa. Porém, alguns acidentes já ocorreram em usinas como a de Chernobyl, sendo o vazamento radioativo altamente prejudicial à biosfera. Os resíduos gerados também são um problema, pois não podem ser reaproveitados, são lixo radioativos e precisam ser armazenados em locais muito seguros para que não haja vazamentos.

Com relação à disponibilidade de combustíveis nucleares, toda a quantidade existente no planeta foi produzida na criação do Universo, portanto é uma fonte não-renovável de energia.

4.2.5. A energia dos ventos

A utilização do movimento do ar como fonte energética é denominada energia eólica, é aplicada como fonte primária na obtenção de movimentos em determinados equipamentos. Os ventos são causados pela diferença de aquecimento da superfície e da atmosfera terrestre, devido a esse fato podemos considerar a energia solar como fonte primária última da energia eólica.

Os ventos foram e ainda são muito utilizados como fonte de movimento em navegação, em moinhos de vento e mais recentemente no movimento de grandes hélices para a rotação de turbinas e geradores na produção de eletricidade.

Essas grandes hélices ou aerogeradores determinam a potência que pode ser produzida por cada unidade, podemos fazer uma estimativa desse valor pela equação 4.2,

$$P = \frac{d \cdot A \cdot V^3}{2} \quad \text{equação 4.2}$$

onde,

d é a densidade do ar no local,

A é a área da superfície traçada pelas hélices e

V é a velocidade do vento.

A energia eólica é considerada uma fonte limpa de energia, pois não descarta resíduos após a passagem do vento pelas hélices, podendo o ar ser reaproveitado após esse processo. Além de não contribuir para emissão de gases de efeito estufa. Segundo Aldabó (2002),

Gerar energia elétrica sem qualquer processo de combustão ou etapa de transformação térmica constitui um procedimento favorável ao meio ambiente, por ser limpo e sem contaminação. (ALDABÓ, 2002)

Podendo o vento ser considerado um recurso infindável do planeta, a energia eólica é uma fonte energética renovável. Mas como todo processo de transformação de energia, possui desvantagens, como o baixo rendimento, que mesmo nos sistemas mais modernos não conseguem converter mais de 60 % da energia total dos ventos. Os ventos não são

constantes, sua velocidade depende da hora, dia, estação do ano e de outros aspectos climáticos. O movimento das hélices também gera muitos ruídos, influencia a sobrevivência de muitas aves e muda a paisagem natural de grandes áreas, já que são necessários muitos aerogeradores para compensar o baixo rendimento na produção de energia elétrica.

Segundo dados da ANEEL, a produção de energia elétrica mundial em 2007 foi de 18,9 *mil TWh* e o potencial eólico utilizável no planeta chegaria a 50 *mil TWh*. Isso não significa que devemos abandonar as outras formas de energia, mas que deve-se relevar a participação dessa fonte energética na constituição da matriz energética mundial.

O Brasil também possui um grande potencial eólico, como mostra a figura 4.4. Esse potencial corresponde a quase 2 % da produção mundial de eletricidade em 2007.

Figura 4.4 - Potencial eólico brasileiro.

Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

Uma característica importante na utilização dessa fonte energética é o fato de que os ventos costumam ser mais fortes em épocas de secas, esse fato favorece a complementação na produção de hidroeletricidade, preservando os reservatórios de água em períodos de poucas chuvas (ANEEL, 2008).

4.2.6. A energia solar

A absorção da energia emitida pelo Sol é a principal fonte de energia do planeta Terra. Sem ela as plantas não realizariam a fotossíntese e a forma de vida que conhecemos não seria possível devido às baixas temperaturas.

A energia liberada pelo Sol tem origem nas fusões nucleares dos núcleos de hidrogênio, que ocorrem incessantemente nessa estrela, formando núcleos de hélio. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, libera uma grande quantidade de energia e uma pequena porção dela chega até a Terra. Dessa porção, uma parte consegue atravessar a atmosfera e chegar até nós, em torno de $0,2 \text{ kWh/m}^2$ (quilowatt-hora por metro quadrado), o que é suficiente para mover tudo o que conhecemos e o que não conhecemos.

A energia solar é utilizada principalmente de duas formas: térmica e fotovoltaica. A energia solar térmica consiste na utilização de painéis coletores solares para aquecimento de água. Esse uso substitui a utilização de chuveiros elétricos, ou seja, contribui para a diminuição do consumo de energia elétrica. A energia solar fotovoltaica é utilizada para geração de energia elétrica.

Estudos apontam que o Sol pode “viver” por mais cinco bilhões de anos, tempo extremamente longo em relação às escalas de tempo dos seres vivos, assim pode-se considerar a solar como uma fonte inesgotável de energia, sendo classificada como fonte renovável.

Para o aproveitamento dessa modalidade energética deve-se levar em conta alguns intervalos de tempo característicos, principalmente devido aos movimentos de rotação e translação da Terra. O movimento de rotação da Terra faz com que a incidência solar, e seu aproveitamento, ocorra apenas durante o dia – variação diurna. Algumas regiões da superfície terrestre recebem maior incidência dos raios solares em determinadas épocas (estações) do ano – variação sazonal.

Concluindo, mas distante de esgotar as fontes e suas características, apresentamos, no Anexo 3, algumas fichas que podem servir de modelo para sintetizar as características de cada fonte, visando uso didático.

Além disso, todas essas formas de energia podem ser discutidas em conjunto, e o esquema apresentado na figura 4.5 é uma tentativa de agrupar as fontes, suas transformações e seus fins.

Esse esquema nos permite observar que a energia solar, além de ser fonte direta para aquecimento (energia solar térmica) ou para produção de eletricidade por meio de células fotovoltaicas (energia solar fotovoltaica), pode ser considerada também como fonte última (ou primeira) de quase todas as fontes apresentadas nesse esquema. Ela é essencial para o crescimento dos vegetais (energia da biomassa e de combustíveis fósseis), participa do ciclo da água (energia hidrelétrica) e é responsável pela produção dos ventos

(energia eólica). Somente a energia nuclear utilizada na produção de eletricidade não depende do Sol, pois os combustíveis nucleares são elementos químicos constituídos em processos de evolução cósmica.

Figura 4.5 – Esquema de algumas fontes de energia e suas transformações

4.3. A geração de eletricidade

A energia elétrica pode ser produzida de diferentes formas, mas quando estamos falando do seu consumo, todas as formas são unificadas, ou seja, quando assistimos TV estamos utilizando diferentes formas de energia que foram transformadas em eletricidade. Isso porque o sistema de transmissão interliga as usinas (independentemente de sua natureza, seja hidrelétrica, termelétrica etc.) aos centros de consumo. É claro que a distância de uma usina ao centro de consumo vai fazer com que maior parte de sua eletricidade consumida seja proveniente da usina mais próxima,

isso para evitar desperdícios nas transmissões a longas distâncias. Por exemplo, grande parte da energia elétrica consumida no estado do Rio de Janeiro é proveniente das usinas nucleares localizadas no município fluminense de Angra dos Reis.

Todas as usinas geradoras de eletricidade que mencionamos possuem o mesmo princípio físico para geração de eletricidade. De acordo com a lei da **indução eletromagnética**, descoberta por Michael Faraday (1791 – 1867), a variação temporal do fluxo magnético que atravessa uma bobina gera uma corrente elétrica alternada, transformando energia mecânica em energia elétrica. Portanto, para gerar energia elétrica por meio de um campo magnético, não basta apenas haver um campo, mas sim precisa haver variação desse campo magnético através da bobina, para isso grandes hélices são acopladas às turbinas e aos geradores, e o movimento dessas hélices pode se dar por diferentes meios, conforme a figura 4.6, que indica o “caminho” da eletricidade, desde sua geração até as linhas de transmissão que a enviam até os centros de consumo.

Conforme os esquemas de algumas usinas apresentados na seção anterior, diferenças são evidentes de uma usina para outra, mas em essência o objetivo de cada fonte é produzir movimento para acionar os geradores. No caso das usinas hidrelétricas, é a energia cinética da água que movimenta os geradores; nas usinas eólicas, é a energia cinética dos ventos; a energia cinética do vapor, é a responsável pelo movimento das turbinas nas termelétricas. Nas termelétricas, ditas convencionais, o vapor é gerado pela queima de combustíveis fósseis (derivados de petróleo, carvão mineral ou gás natural). Também existem termelétricas cujos combustíveis são derivados da

queima de biomassa, por exemplo, bagaço da cana-de-açúcar. E, finalmente, as usinas termonucleares, que também são termelétricas, já que transformam energia térmica em energia elétrica, porém a energia utilizada para aquecer a água que vai gerar o vapor é liberada em reações nucleares.

Figura 4.6 – Esquema do caminho dos recursos energéticos e seus processos de transformação até os sistemas de transmissão de energia elétrica.

4.4. Conservação, eficiência e dissipação

Em todos os processos do Universo, naturais ou artificiais, há sempre a conservação da energia total do sistema, de acordo com a Primeira Lei da Termodinâmica. Quando as formas de energia vão transformando-se umas nas outras ocorre o que chamamos de dissipação, ou seja, nem toda a energia fornecida é transformada no que se deseja, aparecendo outras formas

de energia como subprodutos. Um grande desafio na utilização das fontes de energia é a minimização desses subprodutos, ou seja, tornar o processo eficiente.

Eficiência de uma transformação energética é definida como a razão entre a energia útil disponibilizada pela transformação e a energia total utilizada no processo.

Todo processo que utiliza uma máquina térmica, isto é, que utiliza fontes de calor, tem uma perda de energia útil inerente ao processo de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica. Uma parte do calor fornecido para a obtenção de trabalho é fornecida à fonte fria do sistema.

Nos processos que envolvem apenas energia mecânica, por exemplo, um motor elétrico, as perdas são devidas aos atritos, que podem ser reduzidos ou eliminados.

Portanto, o aumento da eficiência dos processos de transformação de energia devido aos desenvolvimentos tecnológicos auxilia na diminuição do consumo de fontes primárias para uso da sociedade.

Da mesma forma, programas de incentivo à minimização das perdas de energia, principalmente em sistemas industriais, também podem contribuir para um menor consumo. Esses programas, denominados comumente de *conservação de energia*, procuram, por exemplo, sugerir o isolamento de tubulações de produtos nos quais se deseja manter altas temperaturas.

Segundo FEYNMAN (2005),

No tocante à conservação da energia, cabe observar que a energia disponível é outra questão – há muita agitação nos átomos da água do mar, porque o mar tem certa temperatura, mas é impossível arrebanhá-los em um movimento definido sem extrair energia de outro lugar. Ou seja, embora saibamos que a energia é conservada, a energia disponível para utilização humana não é conservada tão facilmente. As leis que governam quanta energia está disponível denominam-se leis da termodinâmica e envolvem um conceito chamado entropia para processos termodinâmicos irreversíveis. (FEYNMAN, 2005, p. 106)

A questão central, portanto, para além da conservação de energia, é a quantidade de energia que permanece disponível para utilização nos processos de geração para uso social. Assim, se dependesse apenas do princípio de conservação, não haveria problemas relacionados à disponibilidade de energia. Mas, a irreversibilidade dos processos faz com que parte da energia transformada não esteja mais disponível para a realização de trabalho. Isso faz com que haja, de uma maneira geral, no universo, cada vez maior dissipação, correspondendo ao aumento da entropia. Esse aspecto, no entanto, não será aqui abordado, devendo ser objeto de maior atenção em futuros trabalhos.

4.5. Desenvolvimento e consumo de energia

Falamos da disponibilização de energia, ou seja, das formas e fontes de energia que foram sendo dominadas pelo homem ao longo de sua existência, ou seja, os usos sociais das diferentes formas de energia. A busca pela diversidade de fontes energéticas aumenta à medida que as

necessidades de consumo da humanidade aumentam, e o uso de energia pelo homem torna-se mais intensivo a cada dia. Esse consumo de energia está associado ao nível de desenvolvimento de uma sociedade. Quanto mais desenvolvida, mais condições de adquirir bens e serviços uma comunidade terá. Dessa forma, consideramos tão ou mais importante que a disponibilidade, a forma como os recursos energéticos são consumidos. Sabemos que boa parte da população brasileira, e também de outros países em desenvolvimento, não possuem eletricidade em suas residências (quando possuem residência). E em contrapartida, países desenvolvidos, como Estados Unidos, Japão, Austrália e a maioria do oeste e norte europeu, possuem um padrão de consumo muito acima do que deveriam, graças ao grande conforto que lhes é proporcionado devido ao alto poder de compra da sociedade.

O nível de desenvolvimento de um país pode ser determinado por um valor monetário denominado PIB – produto interno bruto – que é a soma de todos os bens e serviços produzidos pelo país. Portanto, a quantidade de energia produzida é contemplada nesse índice, porém o consumo de energia não é.

Um outro índice que mede o desenvolvimento de uma sociedade é o IDH – índice de desenvolvimento humano. Esse índice, que varia de zero a um, tenta refletir a qualidade de vida da sociedade. Ele é composto por uma série de fatores, entre eles o PIB, mas também não contempla o consumo de energia. Esse fatores são:

Longevidade – medida pela expectativa de vida;

Instrução – medido por uma combinação da alfabetização adulta e anos médios de escolaridade;

Padrão de vida – medido pelo poder de compra, baseado no Produto Interno Bruto – PIB – real *per capita* ajustado para o custo de vida local.

Esse índice contempla dimensões sociais, culturais e políticas que influenciam a qualidade de vida humana. Não apenas a dimensão econômica, como é o caso do PIB, podendo ser utilizado para correlacionar o consumo de energia com o desenvolvimento social. A figura 4.7 representa uma correlação entre o IDH e o consumo de energia *per capita*, onde cada ponto representa um país e a curva mostra um modelo para essa correlação entre IDH e consumo de energia *per capita*. É possível observar um valor mínimo de consumo de energia anual para um IDH respeitável, esse valor está em torno de 1 *tep*, ou seja, 10 mil *kcal per capita*.

O Brasil possui um consumo de energia *per capita* em torno desse valor de 1 *tep* e seu desenvolvimento humano é considerado elevado, com IDH de 0,699, conforme indicado na figura 4.7.

A figura 4.8 mostra a distribuição do consumo mundial de energia elétrica. Chamamos a atenção para o fato dessa figura apresentar o consumo apenas de eletricidade, e não o consumo total de energia como na discussão anterior. Ainda assim, os valores da maioria dos países do hemisfério norte estão acima de 3 *tep per capita*.

Figura 4.7 - IDH em função da energia anual consumida *per capita*, 1991-1992.

Fonte: Goldemberg, J. Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento, 1998 (adaptado).

Figura 4.8 – Consumo de energia elétrica *per capita* em 2007.

CAPÍTULO 5

Consumo x fontes, em uma abordagem domiciliar

Como vimos, a questão da sustentabilidade deve ser capaz de articular tanto as demandas requeridas pela vida social humana, como as fontes de energia e materiais disponíveis, assim como a avaliação do impacto das transformações decorrentes da ação e produção humana.

Essa não é uma questão simples, pois envolve um grande número de aspectos e condicionantes, considerando que se trata de um sistema altamente complexo, com inúmeras e interdependentes variáveis. Ainda assim, será preciso desenvolver instrumentos diferenciados para possibilitar aproximações ao problema, reconhecendo, ao mesmo tempo, as limitações desses próprios instrumentos.

No que diz respeito ao uso de energia, tem sido proposta a utilização de matrizes energéticas, de forma a possibilitar articular o consumo de energia com as diferentes fontes, ainda que, nesse tipo de instrumento, não sejam considerados diretamente os impactos das transformações.

Assim, como uma forma de introduzir a construção, potencial de análise e utilização de matrizes energéticas, propomos, nesse capítulo, a elaboração de uma matriz energética domiciliar. Ao mesmo tempo, pretendemos explicitar a construção dessa matriz, em etapas de natureza didática, que possam ser reproduzidas em propostas de sala de aula.

Para fazer sentido essa construção, é preciso já ter em mente quais questões pretende-se que esse instrumento venha a responder, no âmbito do uso de energia familiar. Não se trata de uma simples análise da conta de luz, onde é possível verificar apenas o consumo de energia elétrica, mas de buscar realizar um levantamento mais amplo, incluindo todas as formas de energia utilizadas. Ainda que, em um primeiro momento, o objetivo não seja buscar uma economia (embora seja também possível), pretende-se provocar discussões relacionadas à sustentabilidade. Por exemplo: Qual a fonte de energia mais utilizada por uma determinada família ou organização? Qual fonte é mais consumida? Ou, de que forma as utilizações de uma dada organização ou família podem ser otimizadas? Qual o impacto de uma dada família individualmente? etc.

Colocada essa idéia a partir das premissas básicas: precisamos definir um período de tempo para o consumo de energia familiar. Isso porque não seria evidente e útil uma comparação, por exemplo, entre o consumo de energia em um mês com o consumo de lenha em uma semana. Assim, vamos adotar o período de tempo de um mês, devido a alguns fatores, como a conta de luz ser medida mensalmente ou o exercício de encontrar dentro do orçamento mensal os gastos com outros combustíveis como o gás de cozinha, ou até mesmo a gasolina ou álcool utilizados para abastecer os veículos de locomoção.

Escolhido o período de tempo, agora precisamos realizar um levantamento da energia utilizada em um mês por uma determinada unidade familiar. Esse levantamento será, nesse capítulo, apenas uma sugestão para direcionar o desenvolvimento dessa proposta com alunos em sala de aula.

5.1. Levantamento do consumo de energia mensal

Vamos tentar utilizar o maior número de formas (ou fontes) de energia para termos como exemplo, e não necessariamente por ser o consumo de energia de determinada família real, mas sim uma família fictícia.

Quando falamos em consumo de energia, é inevitável pensar no consumo de energia elétrica, assim, vamos começar nosso levantamento com aparelhos eletrônicos, os eletrodomésticos em geral. Nosso interesse aqui é ter um valor total para o consumo dessa forma de energia, mas apesar disso apresentaremos uma possível descrição detalhada de alguns eletrodomésticos, conforme tabela 5.1. Nessa tabela, temos a potência e o tempo que cada aparelho é utilizado por mês, já que o consumo de energia, em quilowatt-hora (kWh), é calculado pela multiplicação dessas duas variáveis ($E = P \cdot \Delta t$).

Aparelhos Elétricos	Potência média (W)	Dias de uso no mês	Tempo médio de utilização por dia	Consumo médio mensal (kWh)
Chuveiro elétrico	3500	30	40 min	70,0
Ferro Elétrico	1000	12	1 h	12,0
Geladeira	130	-	-	55
Lavadora de roupas	500	12	1 h	6
Lâmpada fluorescente	23	30	5 h	3,45
Lâmpada incandescente	100	30	8 h	24
TV 20"	90	30	5 h	13,5
Aparelho de som pequeno	20	30	3 h	1,8
Microcomputador	120	30	4 h	14,4
Total	5483	204	27,7 h	200,15

Tabela 5.1 – Estimativa do consumo mensal de energia elétrica para uma família quatro pessoas.

Adaptado do site <http://www.elektrobras.com/elb/procel/main.asp>

Segundo essa tabela, aproximaremos o consumo de energia elétrica para 200 *kWh*, assim, esse será o valor que consideraremos por enquanto. Uma observação importante a se fazer é o fato da eletricidade ser utilizada em aparelhos com diversas finalidades, como entretenimento ou lazer no caso de aparelhos de TV e rádios, ou alimentação no caso de fornos de microondas e geladeira, mas não abordaremos esse aspecto, pelo menos por enquanto.

Em casa, também consumimos energia para cozinhar os alimentos, partindo de um fogão convencional que funciona com o que chamamos gás de cozinha. Vamos estimar que essa família consuma um botijão por mês. Geralmente, o gás de cozinha que consumimos é o GLP (gás liquefeito de petróleo) e, portanto, estamos consumindo um derivado de petróleo. Por hora, vamos apenas considerar o consumo do gás de cozinha para cozimento dos alimentos, já que também poderíamos pensar numa casa onde o fogão seja à lenha ou o aquecimento seja a gás.

O homem também precisa se locomover, e, digamos, infelizmente, não faz isso consumindo apenas a energia que adquire dos alimentos que ingere¹, devido à forma como a sociedade está colocada (ou descolocada) necessitamos do auxílio dos meios de transporte. Neste momento, vamos considerar apenas a utilização de automóveis abastecidos a álcool e à gasolina. Dessa forma, vamos estimar um consumo de aproximadamente um tanque de combustível por mês, sendo metade gasolina (20 *litros*) e metade álcool (20 *litros*), para efeito de maior exemplificação.

Podemos incluir também o consumo de carvão para o famoso

¹ Essa é uma questão que podemos discutir em outro momento, a energia dos alimentos.

churrasco de final de semana. Considerando um pequeno churrasco, vamos estimar que o consumo seja de um saco de carvão vegetal, de 5 kg, como combustível para o fogo da churrasqueira. Esse levantamento está sistematizado na tabela 5.2.

Fonte de energia	Quantidade
Energia elétrica	200 kWh
Gás de cozinha	1 botijão
Combustível de automóvel	20 litros de gasolina 20 litros de álcool
Carvão vegetal	1 saco de carvão de 5 kg

Tabela 5.2 – Levantamento do consumo de energia domiciliar mensal.

5.2. Construção da estrutura da matriz

O foco desse, e dos próximos dois capítulos, é o trabalho com matrizes energéticas, que é a apresentação dos dados do consumo em cruzamento com as devidas fontes de energia. Portanto, uma matriz é uma ferramenta que nos permite realizar esse cruzamento.

Como queremos cruzar as informações das fontes de energia com o consumo, vamos propor o preenchimento da matriz apresentada na figura 5.1.

	FONTES DE ENERGIA			
USOS				

Figura 5.1 – Matriz energética *fontes x usos*.

Essa opção de colocar as fontes de energia nas colunas e os usos nas linhas não é uma escolha arbitrária nossa, é dessa forma que as matrizes energéticas são apresentadas normalmente. A própria matriz energética brasileira, que será apresentada e analisada detalhadamente no capítulo 6, é um exemplo desse formato.

De acordo com nosso levantamento do consumo de energia domiciliar, nas colunas teremos as seguintes fontes de energia: eletricidade; gás de cozinha; gasolina; álcool; carvão.

E nas linhas, os seguintes usos ou formas de consumo: eletrodomésticos; alimentação; locomoção; lazer/churrasco.

Dessa forma, temos a matriz apresentada na tabela 5.3, já preenchida com os dados do levantamento do consumo mensal.

	Eletricidade	Gás de Cozinha	Gasolina	Álcool	Carvão
Eletrodomésticos	200 kWh				
Alimentação		1 botijão			
Locomoção			20 litros	20 litros	
Lazer/churrasco					5 kg

Tabela 5.3 – Matriz energética domiciliar.

Apenas como parâmetro para comparação, Bermann (2001) propõe uma *cesta básica energética* para satisfazer as necessidades básicas de uma família de cinco pessoas:

Eletricidade: 220 *kWh/mês*

GLP: 13 *kg/mês*

Diesel: 380 *litros/ano* ou

Gasolina: 175 *litros/mês/per capita*

Agora nos perguntamos: Como realizar a leitura dessa matriz?

Em primeiro lugar, observamos o surgimento de um problema: Como comparar o consumo das diferentes fontes sendo que cada uma delas possui unidades de medidas diferentes?

Necessitamos então da escolha de uma unidade comum, e a partir dessa escolha realizar as devidas conversões. Essa escolha é arbitrária e vamos optar inicialmente pelo quilowatt-hora, apenas por ser uma unidade utilizada na medição do consumo de energia elétrica. Veremos no capítulo 6 que a unidade utilizada na matriz energética brasileira é o *tep* (tonelada equivalente de petróleo). Posteriormente, podemos transformar esses valores, inclusive em valores monetários. A tabela 5.4 mostra esse consumo convertido para *kWh*. Na sequência explicaremos detalhadamente como foram feitas as conversões das diferentes unidades de medida para o quilowatt-hora.

	Eletricidade	GLP ²	Gasolina	Álcool	Carvão	Total
Eletrodomésticos	200	0	0	0	0	200
Alimentação	0	174,2	0	0	0	174,2
Locomoção	0	0	162	119,9	0	281,9
Lazer/churrasco	0	0	0	0	43	43
Total	200	174,2	162	119,2	43	699,1

Tabela 5.4 – Matriz energética domiciliar preenchida com seus valores expressos em uma mesma unidade, o kWh.

5.3. Uniformização das unidades de medidas

A matriz domiciliar, expressa como na tabela 5.3, coloca naturalmente a discussão sobre as diferentes formas de energia. Pode parecer, a primeira vista, que um botijão de gás nada tem a ver com a conta

² Mudamos o nome da coluna gás de cozinha para GLP, pois a fonte de energia é o GLP, assim como será apresentada na matriz energética brasileira no capítulo 5.

de luz. No entanto, é o fato de que ambos podem ser transformados de diferentes formas que permite discutir o próprio conceito de energia: aquilo que se conserva em uma transformação. Ao mesmo tempo, isso significa que devem haver unidades comuns para expressar esses valores, o que nos leva a buscar uma uniformização de unidades.

A primeira coluna já possui a unidade desejada, o *kWh*, então vamos começar a uniformização pelo GLP, ou seja, precisamos transformar um botijão de gás de cozinha em *kWh*. Um botijão comum possui 13 *kg* (quilogramas) de GLP. Precisamos descobrir quantos *kWh* de energia esses 13 *kg* são capazes de gerar. Para isso, será necessário saber uma propriedade chamada poder calorífico de uma substância, que é o valor energético que a substância possui por unidade de massa. No caso do GLP, esse valor é de 48,1 *MJ/kg*. Como queremos transformar em *kWh*, precisamos encontrar a relação entre joule e quilowatt-hora, assim:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \frac{\text{J}}{\text{s}} \times 3600 \text{ s} = 3,6 \times 10^6 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Sendo, 1 *kWh* = 3,6 *MJ*

então, por meio de uma regra de três simples, temos

$$48,1 \text{ MJ} = 13,4 \text{ kWh}$$

Essa é a energia de 1 *kg* de GLP, como um botijão tem 13 *kg*, basta multiplicar 13,4 *kWh* por 13 *kg*, que teremos o consumo de energia mensal de gás de cozinha de uma família que consome um botijão de gás por mês. Esse valor é de 174,2 *kWh*.

O mesmo procedimento deverá ser realizado para os outros combustíveis, bastando saber qual o poder calorífico de cada um, para isso apresentamos a tabela 5.5.

	Poder calorífico em MJ/kg
GLP	48,1
Gasolina	39,0
Álcool	26,8
Carvão Vegetal	30,8

Tabela 5.5 – Tabela que indica o poder calorífico de alguns combustíveis utilizados na matriz domiciliar proposta.

Como o consumo de combustíveis de automóveis é dado em unidades de volume, em litros, geralmente, precisamos saber, além do poder calorífico, a densidade da gasolina e do álcool. Sabendo que densidade de uma substância é a razão entre sua massa e seu volume, temos a tabela 5.6:

	Densidade (kg/L)	Volume (L)	Massa (kg)
Gasolina	0,75	20	15
Álcool	0,81	20	16,2

Tabela 5.6 – Densidades, volumes e massas de gasolina e álcool.

Agora temos todos os elementos necessários para transformarmos a energia de cada um desses combustíveis (gasolina, álcool e carvão vegetal), dada em *MJ*, para *kWh*, assim como fizemos para o GLP.

Basta fazermos a seguinte regra de três para todos os combustíveis:

$$1 \text{ kWh} = 3,6 \text{ MJ}$$

$$\text{poder calorífico (kWh/kg)} = \text{poder calorífico (MJ/kg)}$$

Logo,

$$\text{poder calorífico (kWh/kg)} = \frac{1 \text{ kWh} \times \text{poder calorífico (MJ/kg)}}{3,6 \text{ MJ}}$$

Ao fazer essas contas para todos os combustíveis, montamos a tabela 5.7:

	Poder calorífico (MJ/kg)	Poder calorífico (kWh/kg)
GLP	48,1	13,4
Gasolina	39,0	10,8
Álcool	26,8	7,4
Carvão Vegetal	30,8	8,6

Tabela 5.7 – Poder calorífico dos combustíveis.

Teríamos acabado se quiséssemos saber para apenas um quilograma de cada combustível, mas como o consumo mensal de energia dessas fontes não é de apenas um quilograma, temos que multiplicar o poder calorífico pela quantidade de massa consumida de cada um. Assim, chegamos aos dados da tabela 5.8

	Poder calorífico (kWh/kg)	Massa (kg)	Consumo de energia mensal (kWh)
GLP	13,4	13	174,2
Gasolina	10,8	15	162
Álcool	7,4	16,2	119,9
Carvão Vegetal	8,6	5	43

Tabela 5.8 – Consumo de energia mensal dos combustíveis considerados.

Finalmente, chegamos aos valores da tabela 5.4, já apresentada, que é a matriz energética domiciliar que propomos construir, em *kWh*.

5.4. Outras fontes de energia

Uma forma de energia bastante utilizada também é a energia química das pilhas e baterias. Mas aqui surge um problema. As pilhas e baterias possuem tensões inerentes à sua fabricação, mas não possuem valores de correntes elétricas próprias, ou seja, o valor da corrente dependerá do aparelho que estiver utilizando essa pilha ou bateria. Devido à grande variedade de aparelhos que podemos encontrar, vamos apenas apresentar como essa estimativa do consumo de energia de uma pilha pode ser feito.

A energia consumida por um aparelho, seja esse aparelho elétrico ou à pilha, tem como variáveis sua potência e o tempo que fica ligado. Sabendo esses dois fatores, basta multiplicá-los, tomando o cuidado para que suas unidades sejam watts e segundos, respectivamente para potência e tempo. Pois sabendo que 1 *watt* é igual a 1 *joule por segundo*, teremos a energia consumida em *joule* por essa pilha. Depois podemos transformá-la em *caloria*, *kWh*, até em valores monetários, como mencionado anteriormente.

5.5. Possíveis leituras e significados para a matriz domiciliar

Para melhor comparar e dar significado à relação entre os consumos encontrados, podemos expressar os valores da matriz domiciliar em porcentagem (tabela 5.9, por exemplo). Nessa forma, podemos verificar a grande participação do consumo referente à locomoção na matriz energética domiciliar.

	GLP	Gasolina	Álcool	Carvão	Elettricidade	Total
Alimentação	24,9	0	0	0	0	24,9
Locomoção	0	23,2	17,2	0	0	40,4
Lazer	0	0	0	6,2	0	6,2
Eletrodomésticos	0	0	0	0	28,6	28,6
Total	24,9	23,2	17,2	6,2	28,6	100,0

Tabela 5.9 –Matriz energética domiciliar mensal, em porcentagem.

Ao contrário do que a maior parte dos nossos alunos imagina, o maior consumo de energia em uma família como essa não é a conta de luz, mas o consumo com o automóvel (ou o transporte). Menos de um terço da energia é consumida a partir da eletricidade.

Esse aspecto pode propiciar diferentes discussões, tanto sobre as formas de economia e replanejamento energético familiar, quanto do papel dos carros na sociedade urbana contemporânea.

Podemos observar também o menor consumo energético do álcool frente ao consumo de gasolina. É claro que existe o fato da gasolina possuir maior eficiência do que o álcool, porém não é apenas essa questão que deve ser destacada. Também o fato do álcool ser uma fonte de energia derivada de biomassa, portanto renovável e não contribuinte para emissão de gases de efeito estufa. Já a gasolina, sendo um derivado de petróleo, que é um combustível fóssil, não é renovável e contribui para emissão de gases de efeito estufa.

Certamente essas comparações e leituras sofrerão variações de família para família, devido à classe econômica ou região, por exemplo. Por isso essa leitura que fazemos serve apenas como sugestão de possíveis análises.

CAPÍTULO 6

Uma análise da matriz energética brasileira

A questão energética, no Brasil como em qualquer outro país, requer órgãos e instâncias específicas para sua gestão. Essa gestão implica em um constante acompanhamento, tanto dos diferentes recursos de energia que estão sendo utilizados como das várias modalidades pelas quais a energia está sendo consumida, dados esses indispensáveis para que se tenha a possibilidade de elaborar uma política coerente às necessidades nacionais.

Sabemos que a energia consumida pela sociedade passa por vários processos de transformação até seus diferentes usos. Todo esse processo de produção, transformação e distribuição, até a especificação da forma como a energia é consumida, está detalhado em um documento chamado **BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL**, ou apenas **BEN**. Dessa forma, podemos resumir o BEN como sendo um documento que apresenta dados sobre onde, como e quando os recursos energéticos são obtidos e onde, como e quando os recursos são consumidos.

Para a sistematização dos dados, o BEN é produzido anualmente, ou seja, apresentando os dados de oferta e consumo de energia referente a cada ano. Desde 1970, o Ministério de Minas e Energia – MME disponibiliza para a sociedade brasileira esses documentos, referentes à oferta

e ao consumo de energia no Brasil. Até o ano de 2004, o BEN era elaborado e publicado pela Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME. Em 2005, a Empresa de Pesquisa Energética – EPE participou conjuntamente de sua elaboração e, a partir de 2006, a EPE assumiu esses estudos sob a coordenação da Secretaria de Planejamento e Desenvolvimento Energético do MME.

Como é um estudo completo e continuado do setor energético brasileiro, que já possui quase 40 publicações, o BEN pode ser utilizado para qualquer tipo de planejamento e acompanhamento no setor energético, sendo de extrema importância para o desenvolvimento do país nos âmbitos social, econômico e ambiental.

O BEN encontra-se disponível no sítio do Ministério de Minas e Energia e também em sítio dedicado especialmente à sua publicação (www.ben.epe.gov.br).

Nesse capítulo, pretendemos apresentar a estrutura desses balanços (BEN), considerando as versões de 2008, 2009 e 2010, referentes aos anos de 2007, 2008 e 2009, respectivamente. A compreensão da forma como está estruturado esse documento, assim como da matriz energética que sistematiza todos os seus dados, é importante para que possamos discutir os procedimentos para construir, em seguida, uma versão simplificada dessa matriz para uso didático.

6.1. A Estrutura do BEN

Como vimos, o Balanço Energético Nacional é baseado nas fontes de energia disponíveis e no consumo de energia propriamente dito. A primeira questão a ser enfrentada é a distinção entre fontes de energia que

são utilizadas diretamente (primárias) e fontes de energia que são utilizadas para gerar outras formas de disponibilização dessa energia (secundárias). As fontes de energia podem ser encontradas e extraídas diretamente da natureza, neste caso, são denominadas FONTES PRIMÁRIAS DE ENERGIA. Como exemplos de fontes primárias podemos citar: Petróleo, Gás Natural, Carvão, Urânio, Energia Hidráulica, Lenha e Produtos da Cana (Melaço, Caldo-de-Cana e Bagaço).

Embora as fontes primárias possam ser consumidas diretamente, na maior parte das vezes elas são utilizadas em processos de transformações que resultam em outros tipos de fontes. Quando as fontes primárias são transformadas, os produtos dessas transformações são denominados FONTES SECUNDÁRIAS DE ENERGIA e, portanto, não são recursos encontrados diretamente na natureza. Podemos citar como exemplos de fontes secundárias, o óleo diesel, a gasolina e o querosene, que são algumas das fontes provenientes do petróleo, que, como dissemos anteriormente, é uma fonte primária por ser encontrado diretamente na natureza. Também temos uma importante fonte secundária de energia, o Álcool Etílico ou Etanol, tendo o bagaço de cana como sua fonte primária. Mais adiante detalharemos como os dados sobre as transformações de energia podem ser encontrados na matriz energética.

Algumas fontes primárias também são transformadas em produtos que não têm finalidade energética, ou seja, não são fontes secundárias de energia, como exemplos temos: graxas, lubrificantes, parafinas, asfaltos e solventes, que são produtos derivados de petróleo, e alcatrão, obtido na transformação do carvão metalúrgico em coque.

A figura 6.1 apresenta um esquema que resume a estrutura em que se baseia a sistematização dos dados fornecidos pelo BEN. Nesse esquema temos as fontes de energia primárias sendo consumidas ou transformadas em fontes de energia secundárias, estas que por sua vez são, em geral, consumidas.

Figura 6.1 – Esquema-resumo da estrutura do Balanço Energético Nacional.

Na verdade, esse esquema é uma simplificação da estrutura propriamente dita do BEN, apresentada na figura 6.2, tal como extraída do próprio relatório (BEN, 2010, p. 184). Esse quadro apresenta a estrutura subdividida em quatro grupos: energia primária, transformação, energia secundária e consumo final total.

No primeiro bloco – energia primária – a oferta interna bruta de energia, que é a soma da energia primária produzida e importada pelo país, menos a energia primária não-aproveitada, reinjetada e exportada. Também são consideradas nessa conta possíveis variações de estoque de um ano para o outro, podendo somar ou subtrair na oferta interna bruta.

Uma parte dessa oferta é consumida e outra parte é destinada aos centros de transformação, além das perdas, obviamente. No terceiro bloco – fontes secundárias – temos os centros de transformação, nos quais ocorrem processos semelhantes aos descritos na energia primária. Tem-se

importação, exportação, perdas, variação de estoques e não-aproveitamento de energia secundária. Além de reutilização nos processos de transformação.

Figura 6.2 – Síntese da metodologia para sistematização dos dados referentes às fontes e ao consumo de energia utilizada no BEN.

Fonte: EPE. Balanço Energético Nacional 2010: Ano Base 2009.

A energia secundária que é proveniente dos centros de transformação – segundo bloco – é consumida e seu consumo, juntamente com o consumo de energia primária, é dividido em consumo energético e consumo não-energético, conforme o quarto bloco da figura 6.2.

Toda essa estrutura está apresentada em um relatório com oito capítulos e dez anexos (BEN, 2010). Nos oito capítulos são apresentadas as formas e critérios de extração dos dados referentes às fontes de energia, como reservas energéticas e dados dos centros de transformação. E também, os dados referentes ao consumo de energia, bem como discussões sobre sociedade e economia. Já nos anexos as discussões são mais no âmbito técnico, por exemplo, o tratamento das unidades de medidas. Também contempla os balanços energéticos consolidados em forma de matrizes

energéticas, sendo o principal instrumento de nosso trabalho, já que essas matrizes são uma síntese de toda essa estrutura energética.

6.2. Questões e problemas

Para a consolidação de uma matriz dessa natureza, são inúmeros os problemas encontrados. Para cada uma das fontes de energia, por exemplo, é preciso recorrer a diferentes documentos e estabelecer metodologias específicas. Como exemplo, podemos imaginar as dificuldades de estimar o consumo de lenha no país. São estimativas que devem adotar critérios e procedimentos. Nada é muito absoluto.

Além desses aspectos, relativos à coleta de dados, um dos problemas inerentes ao balanço energético é a utilização de uma unidade comum para todas as fontes de energia. Por exemplo, é característico, e aparentemente óbvio, a expressão do consumo de gasolina ou álcool em litros, assim como ouvimos muito se falar em barris de petróleo, ou quilowatt-hora para eletricidade, ou metro cúbico de GNV (gás natural veicular) ou até mesmo caminhão de cana. Mas como comparar esses dados se cada tipo de fonte possui uma unidade diferente. A solução apresentada pelo BEN é a transformação de todas essas unidades em tonelada equivalente de petróleo, ou simplesmente *tep*.

A tonelada equivalente de petróleo foi adotada porque, segundo o BEN, está relacionada diretamente com um energético importante e expressa um valor físico. Para se fazer uso dessa unidade precisa-se do poder calorífico do petróleo, que é a quantidade de energia, em calorias ou quilocalorias, que é produzida a partir de uma unidade de massa da fonte de energia. No caso do petróleo, esse valor é de 10.000 *kcal/kg*, ou seja, cada

quilograma de petróleo é capaz de gerar dez mil quilocalorias de energia. A tabela 6.1, apresentada (BEN, 2010, p. 207), mostra alguns fatores de conversão para as unidades de energia.

Multiplicar por de	para	J	BTU	cal	kWh	to Multiply by from
Joule (J)		1	$947,8 \times 10^{-6}$	0,23884	$277,7 \times 10^{-9}$	Joule (J)
British Thermal Unit (BTU)		$1,055 \times 10^3$	1	252	$293,07 \times 10^{-6}$	British Thermal Unit (BTU)
Caloria (cal)		4,1868	$3,968 \times 10^{-3}$	1	$1,163 \times 10^{-6}$	calorie (cal)
Quilowatt-hora (kWh)		$3,6 \times 10^6$	3412	860×10^3	1	kilowatt-hour (kWh)
Ton. equivalente de petróleo (tep)		$41,87 \times 10^9$	$39,68 \times 10^6$	10×10^9	$11,63 \times 10^3$	Tons of oil equivalent (toe)
Barril equivalente de petróleo (bep)		$5,95 \times 10^9$	$5,63 \times 10^6$	$1,42 \times 10^9$	$1,65 \times 10^3$	barrels of oil equivalent (boe)

Tabela 6.1 – Fatores de conversão de unidades.

Fonte: EPE. Balanço Energético Nacional 2010: Ano Base 2009.

Essa tabela serve para sabermos, por exemplo, quanto valem 2 *tep* em *joule* (J) ou em *caloria* (cal), basta multiplicar por dois os fatores que aparecerem na linha referente a *tep* das colunas J e cal, respectivamente.

Vamos dar um exemplo de fator que aparece nessa tabela de conversão para uma unidade bem comum, que é o *kWh*, unidade geralmente utilizada para o consumo de energia elétrica. Como saber quantos *quilowatts-hora* equivalem a 1 *tep*? Basta utilizar o Primeiro Princípio da Termodinâmica, com base no qual podemos afirmar que calor e trabalho são diferentes formas de se expressar a mesma coisa, a energia. Isso significa que as unidades *caloria* e *joule* são equivalentes, e a relação é $1 \text{ cal} = 4,1868 \text{ J}$, aproximadamente.

Assim, sabendo que

$$1 \text{ W} = 1 \frac{\text{J}}{\text{s}},$$

temos que

$$1 kWh = 1 k \frac{J}{s} \cdot 3600 s$$

pois

$$1 h = 3600 s$$

Portanto,

$$1 kWh = 3600 kJ$$

Sendo

$$1 cal = 4,1868 J,$$

basta fazer a seguinte regra de três para obtermos 1 kWh em calorias:

$$\frac{1 cal}{x} = \frac{4,1868 J}{3600 kJ}$$

Logo,

$$x = \frac{3600 kJ}{4,1868 J} \cdot 1 cal = 860 kcal$$

Ou seja,

$$1 kWh = 860 kcal = 860 \times 10^3 cal$$

Este é o valor que aparece como fator de multiplicação na tabela 6.1 para a conversão de quilowatt-hora em caloria, assim basta multiplicar o valor em kWh por 860.000 para obter o equivalente em calorias.

Agora que sabemos a relação entre quilowatt-hora e caloria, basta fazer outra regra de três utilizando o poder calorífico do petróleo, que é de 10.000 kcal/kg, como já mencionamos. Como estamos falando em tonelada equivalente de petróleo, precisamos saber qual é a quantidade de energia proveniente de uma tonelada de petróleo, para isso, basta multiplicar por 1000

kg, dessa forma temos 10.000.000 kcal. Lembrando que queremos encontrar o fator de conversão que relaciona *tep* e *kWh*.

Já calculamos que 1 *kWh* = 860 kcal, então basta fazermos a seguinte regra de três

$$\frac{1 \text{ kWh}}{x} = \frac{860 \text{ kcal}}{10.000.000 \text{ kcal}}$$

Logo,

$$x = \frac{10.000.000 \text{ kcal}}{860 \text{ kcal}} \cdot 1 \text{ kWh} = 11.630 \text{ kWh}$$

Ou seja,

$$1 \text{ tep} = 11.630 \text{ kWh} = 11,63 \times 10^3 \text{ kWh}$$

Observando a tabela 6.1, vemos que esse valor aparece na linha *tep* com a coluna *kWh*, assim, para se converter *tep* em *kWh* basta multiplicar o valor em *tep* por 11.630 *kWh*.

Como já sabemos que os dados devem estar em uma mesma unidade de medida, e também sabemos como convertê-los quando não estiverem, vamos apresentar a matriz energética brasileira, que aparece como a síntese de todo o BEN.

6.3. A matriz energética brasileira

Como vimos, os resultados obtidos na construção do Balanço Energético Nacional podem ser sintetizados sob a forma de uma matriz. Dessa forma, o balanço energético consolidado, ano a ano, é apresentado também em forma de matriz – a matriz energética brasileira. Como já explicamos a construção de uma matriz para avaliar o consumo de energia domiciliar de acordo com cada fonte de energia, agora vamos apresentar a matriz

energética brasileira.

Nas colunas temos as fontes de energia, sendo as fontes primárias expressas nas colunas 1 a 9 e as secundárias nas colunas 11 a 23. As colunas 10, 26 e 27 representam, respectivamente, as somas das fontes primárias, secundárias e a energia total. Além das colunas 24 e 25 que não são produtos com fins energéticos, portanto não farão parte de nossa análise.

Várias informações estão contidas nas linhas. Para facilitar, vamos dividir em quatro grandes blocos (A, B, C, D) para a apresentação da estrutura da matriz, conforme figura 6.3. Os blocos A e B (linhas 1 a 19) são uma descrição detalhada da disponibilidade de energia, sendo o bloco A referente às fontes de energia primária e o bloco B às fontes de energia secundária. Os blocos C e D (linhas 21 a 46) descrevem detalhadamente o consumo de energia, sendo que, assim como nos blocos A e B, o bloco C se refere ao consumo de energia proveniente de fontes primárias e o bloco D ao consumo de energia proveniente de fontes secundárias.

	Fontes de energia primária	Fontes de energia secundária
Disponibilidade de Energia	A	B
Consumo de Energia	C	D

Figura 6.3 – Resumo da estrutura da matriz energética apresentada no BEN.

Nas linhas 1 a 19 (blocos A e B) discrimina-se, como já falamos anteriormente, a disponibilidade de energia. Essas linhas podem ser ainda divididas em dois grupos, sendo o primeiro referente à Oferta Interna Bruta (linhas 1 a 8) e o segundo referente às transformações de fontes de energia primária em fontes de energia secundária (linhas 9 a 19). A tabela 6.2 mostra a matriz energética brasileira do ano de 2009 (BEN 2010). A seguir vamos explicar esse primeiro grupo e na sequência o segundo.

O total de energia disponível para o consumo nacional está explícito na linha 8 – Oferta Interna Bruta. Essa linha é a soma algébrica das linhas 4 a 7 (soma algébrica porque o sinal é positivo na linha 4 e negativo nas linhas 5, 6 e 7). A linha 4 – Oferta Total – depende das linhas 1 a 3, ou seja, a oferta total depende da energia produzida (linha 1), importada (linha 2) e da variação do estoque de um ano para o outro (linha 3). Esse último dado é a diferença entre o estoque final e inicial de cada ano, portanto pode ser positivo ou negativo. Analisando a tabela 6.2, que é a matriz energética brasileira do ano de 2009, podemos observar que a linha 1 no bloco B é nula em todas as colunas, lembrando que as colunas desse bloco são referentes às fontes de energia secundária, esse cuidado foi tomado porque do contrário, as fontes secundárias seriam somadas duas vezes, pois aparecem novamente nas linhas referentes à transformação, assim para não se cometer esse erro de duplicação, as fontes de energia secundária são consideradas provenientes de transformação e não de produção.

No segundo grupo, no qual aparecem as transformações de fontes de energia primária em secundária, temos a linha 9 como a soma das linhas 10 a 19, as quais são a explicitação do local onde ocorre a

transformação. Esses locais (linhas 10 a 19) são: Refinarias de Petróleo, Plantas de Gás Natural, Usinas de Gaseificação, Coquearias, Ciclo do Combustível Nuclear, Centrais Elétricas de Serviço Público, Centrais Elétricas Autoprodutoras, Carvoarias, Destilarias e Outras Transformações.

Nesse momento, vamos analisar as transformações de fontes primárias em fontes secundárias de energia por meio da matriz energética. Como exemplo vamos analisar a linha 15 – Centrais Elétricas de Serviço Público. Esses locais são os principais responsáveis pela produção de energia elétrica no país, assim observe que nessa linha, apenas a coluna 20 – Eletricidade – é positiva, e todas as outras colunas dessa linha possuem valores negativos ou nulos. Isso porque a eletricidade é uma fonte de energia secundária, como sabemos, não encontramos eletricidade disponível para nosso consumo diretamente na natureza, outras formas de energia precisam ser transformadas em energia elétrica para nossa utilização. E essas informações conseguimos extrair, com um pouco de cuidado, da matriz energética que estamos discutindo. Todos os valores negativos nessa linha significam saída de energia, ou seja, são valores transformados em outra forma de energia, eletricidade nesse caso. Assim, temos valores não nulos nas colunas: *Gás Natural*, *Carvão Vapor*, *Energia Hidráulica*, *Outras Fontes Primárias*, *Óleo Diesel*, *Óleo Combustível* e *Urânio contido no UO₂*, isso significa que essas são as fontes de energia que são transformadas em energia elétrica.

Finalmente, vamos analisar os blocos C e D que referem-se ao consumo de energia. O *Consumo Final* subdivide-se em *Consumo Final Não-Energético* e *Consumo Final Energético*. O que nos interessa é este último,

que é desmembrado nas linhas subsequentes. Observando a matriz vemos que o consumo de energia é realizado nos seguintes setores: *Energético, Residencial, Comercial, Público, Agropecuário, Transportes e Industrial*. O consumo nos setores de transportes e industrial são ainda detalhados em seus vários ramos.

É interessante observar que algumas importantes fontes de energia não são consumidas – zeros em todas as linhas de consumo – é o caso do petróleo e do urânio. Observe que as linhas 8 e 9 dessas fontes de energia coincidem (exceto por pequenos erros inerentes à obtenção dos dados e construção da matriz), ou seja, a oferta dessas fontes, linha 8, é equivalente à quantidade que é transformada em outra forma de energia. Portanto, não temos consumo direto de petróleo e urânio. Para sabermos onde está a energia proveniente dessas fontes basta fazermos a análise da matriz. No caso do petróleo, sua transformação ocorre nas refinarias, pois o total transformado coincide com o valor das refinarias. Assim, ao analisarmos essa linha observamos saída de petróleo – sinal negativo – e sinais positivos nas colunas: *óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta e querosene*, concluímos então, que essas fontes secundárias de energia são derivados de petróleo. No caso do urânio, a transformação que ocorre é no *Ciclo do Combustível Nuclear*, onde o urânio natural, na forma U_3O_8 (negativo), é enriquecido para ser armazenado em pastilhas de UO_2 (positivo). Observe na linha abaixo que uma quantidade de UO_2 , aparecerá negativa, ou seja, é uma saída de energia, como essa é a linha das *Centrais Elétricas de Serviço Público*, concluímos que o urânio é transformado em energia elétrica.

Outra observação interessante a se fazer é referente às linhas 9 a 19 (Transformações) da coluna *Total*. Nessa coluna, essas linhas apresentam todos os valores negativos (exceto linha 12 que não possui valor nenhum), isso significa que a quantidade de energia disponibilizada para transformação supera os produtos, ou seja, nem toda energia é transformada em energia útil. De fato, vemos implícito aqui o Princípio de Conservação da Energia, por isso não estranhamos a ausência de valores positivos nessas linhas, o que significaria o aparecimento de energia de origem desconhecida.

Várias construções simplificadas podem ser feitas a partir da matriz energética brasileira, dependendo do enfoque que se queira dar ao estudo. Podemos, por exemplo, construir uma matriz apenas com as linhas 8 e 23, dessa forma, teremos a leitura da oferta de energia do país e do consumo energético. Ou ainda uma matriz com apenas a coluna 20 – Eletricidade e as linhas 24 a 45, para sabermos onde a energia elétrica é mais, ou menos, usada. Podemos também avaliar em que setores ocorrem maior consumo de combustíveis fósseis, como derivados de petróleo, visando a diminuição dos impactos ambientais que eles causam.

		FONTES DE ENERGIA PRIMÁRIA										FONTES DE ENERGIA SECUNDÁRIA																	27
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26		
		Petróleo	Gás Natural	Carvão Vapor	Carvão Metal.	Urânio U ₃ O ₈	Energia Hidrául.	Lenha	Produtos da Cana	Outras Fontes Primárias	Energia Primária Total	Óleo Diesel	Óleo Combust.	Gasolina	GLP	Nafta	Querosene	Gás de Cidade e Coqueria	Coque de Carvão Mineral	Urânio contido no UO ₂	Eletricidade	Carvão Vegetal	Alcool Etílico Anidro e Hidrat.	Outras Secun. de Petróleo	Prod. Não Energ. Petróleo	Alcatrão	Energia Secun. Total		
01	Produção	101.033	20.987	2.239		4.117	33.625	24.609	45.252	9.237	241.099																241.099		
02	Importação	19.368	7.518		9.376	30					36.292	2.981	10	10	1.562	3.958	1.044		300	3.707	3.531	1		2.869	984		20.957	57.249	
03	Variação de Estoques	-1.113		-354		-277					-1.744	-28	-65	-61	-10	153	-42		10	-4.144			910	4	142		-3.131	-4.875	
04	Oferta Total	119.288	28.505	1.885	9.376	3.870	33.625	24.609	45.252	9.237	275.647	2.953	-55	-51	1.552	4.111	1.002		310	-437	3.531	1	910	2.873	1.126		17.826	293.473	
05	Exportação	-27.148									-27.148	-1.704	-7.166	-1.940	-12	-39	-1.673				-93		-1.715	-216	-478		-15.036	-42.184	
06	Não-Aproveitada		-3.380								-3.380																	-3.380	
07	Reinjeção		-3.980								-3.980																	-3.980	
08	Oferta Interna Bruta	92.140	21.145	1.885	9.376	3.870	33.625	24.609	45.252	9.237	241.139	1.249	-7.221	-1.991	1.540	4.072	-671	0	310	-437	3.438	1	-805	2.657	648	0	2.790	243.929	
09	Total Transformação	-92.107	-5.832	-1.523	-6.749	-3.871	-33.625	-8.026	-16.415	-3.666	-171.814	35.656	13.380	16.697	5.910	3.296	3.620	1.199	5.009	437	40.090	4.089	13.481	8.651	5.485	187	157.187	-14.627	
10	Refinarias de Petróleo	-92.107								-1.454	-93.561	35.993	14.520	15.266	4.817	6.428	3.620							6.982	5.403		93.029	-532	
11	Plantas de Gás Natural		-2.656							975	-1.681			586	846										198		1.630	-51	
12	Usinas de Gaseificação																												
13	Coquerias				-6.749						-6.749							1.530	5.009							192	6.731	-18	
14	Ciclo do Comb. Nuclear					-3.871					-3.871									3.812							3.812	-59	
15	Centrais Elet. Serv. Pub.		-1.574	-1.480			-31.964			-151	-35.169	-1.361	-840							-3.375	35.187						29.611	-5.558	
16	Centrais Elet. Autoprod.		-1.067	-43			-1.661	-221	-2.687	-2.151	-7.830	-340	-300					-331			4.903	-9		-367		-5	3.551	-4.279	
17	Carvoarias							-7.805			-7.805											4.098					4.098	-3.707	
18	Destilarias								-13.728		-13.728												13.481				13.481	-247	
19	Outras Transformações		-535							-885	-1.420	1.364		845	247	-3.132								2.036	-116		1.244	-176	
20	Perdas Dist. Armazen.		-120		-26						-146	-8	-20		-31	-31	-16		-10		-6.890	-119	-132	-124	-117		-7.498	-7.644	
21	Consumo Final		15.246	362	2.595			16.584	28.838	5.571	69.196	36.911	5.986	14.722	7.423	7.389	2.847	1.199	5.310		36.639	3.970	12.543	11.133	5.882	187	152.141	221.337	
22	Consumo Final Não-Energ.		700								700					7.389	7						751	98	5.882	143	14.270	14.970	
23	Consumo Final Energet.		14.546	362	2.595			16.584	28.838	5.571	68.496	36.911	5.986	14.722	7.423		2.840	1.199	5.310		36.639	3.970	11.792	11.035		44	137.871	206.367	
24	Setor Energético		5.112	8					12.546		17.666	166	995		37			188			1.613				3.747		6.746	24.412	
25	Residencial		238					7.529			7.767				6.115		8				8.753	584					15.460	23.227	
26	Comercial		176					80			256	57	122		135						5.532	78					5.924	6.180	
27	Público		4								4	97	87		373						3.156						3.713	3.717	
28	Agropecuário		2					2.411			2.413	5.515	68		23						1.428	7					7.041	9.454	
29	Transportes – Total		1.853								1.853	30.370	986	14.722			2.828				137		11.792				60.835	62.688	
30	Rodoviário		1.853								1.853	29.364		14.674									11.792				55.830	57.683	
31	Ferroviário											633									137						770	770	
32	Aéreo													48			2.828										2.876	2.876	
33	Hidroviário											373	986														1.359	1.359	
34	Industrial – Total		7.161	354	2.595		6.564	16.292	5.571	38.537	706	3.728		740			4	1.011	5.310		16.020	3.301		7.288		44	38.152	76.689	
35	Cimento		15	20	37					259	331	42	29		14				62		407	55		2.736			3.345	3.676	
36	Ferro-Gusa e Aço		866	2	2.046						2.914	14	114		77		1	1.011	4.969		1.279	2.724		489		44	10.722	13.636	
37	Ferroligas		2					79			81		67						92		579	485		143			1.366	1.447	
38	Mineração e Pelotiz.		239		381						620	224	351		17		2		49		706			437			1.786	2.406	
39	Não-Fer. e Out.metal.		659		35						694		987		79				138		3.106	8		590			4.908	5.602	
40	Química		1.762	66				45		84	1.957	136	476		60						1.991	18		2.170			4.851	6.808	
41	Alimentos e Bebidas		559	47				2.039	16.253	10	18.908	82	467		104						2.020			77			2.750	21.658	
42	Têxtil		287								375	3	106		10						663						782	1.157	
43	Papel e Celulose		609	84				1.449	39	5.162	7.343	68	499		31						1.571						2.169	9.512	
44	Cerâmica		1.000	1				2.081		53	3.135	8	322		162						300			179			971	4.106	
45	Outros		1.163	134	96			783		3	2.179	129	310		186		1				3.398	11		467			4.502	6.681	
46	Consumo Não-Identificado																												
47	Ajustes	-33	53		-6	1		1	1		17	14	-153	16	4	52	-86		1		1	-1	-1	-51	-134		-338	-321	

Tabela 6.2 – Matriz energética brasileira de 2009. Unidade: mil tep. Fonte: BEN. Balanço Energético Nacional, 2010

CAPÍTULO 7

Recortando a matriz energética brasileira

Diante da complexidade da matriz apresentada no capítulo anterior, nesse capítulo, propomos, justificamos e descrevemos alguns procedimentos para a realização de alguns recortes na matriz. Esses recortes evidenciarão pontos relevantes que queremos discutir nas atividades que proporemos mais adiante.

7.1. Recortando a matriz energética nacional

Com base na discussão realizada sobre sustentabilidade, o consumo, também de energia, deve ser realizado de forma consciente. Ou seja, cada cidadão deve saber as consequências do consumo de determinada fonte de energia; quais as vantagens e desvantagens de cada fonte, no caso de possuir alternativas em determinada situação.

De acordo com essa ideia, discutiremos um possível recorte da matriz energética nacional que evidencie a questão do consumo de energia. Para isso, adotamos alguns critérios para exclusão de linhas e colunas da matriz apresentada no capítulo anterior. Partimos então, da necessidade de uma matriz de *geração de energia x consumo de energia*. Assim, nossos critérios terão como objetivo uma simplificação da matriz

energética, com foco apenas no consumo de cada fonte de energia. Cada ação de simplificação será justificada, para depois apresentarmos um resumo dessas ações em uma série de regras, segundo nossos critérios, para que esse recorte possa ser atualizado anualmente, quando da publicação do Balanço Energético Nacional (BEN) pela Empresa de Pesquisa Energética do Ministério de Minas e Energia.

7.1.1. Consumo de Energia

Devido ao interesse apenas no consumo e não na disponibilidade de energia, interessa-nos apenas as linhas da parte final da matriz energética. Assim, podemos eliminar as primeiras linhas, que são referentes à oferta de energia no país: *Produção, Importação, Variação de Estoques, Oferta Total, Exportação, Não-Aproveitada, Reinjeção e Oferta Interna Bruta*; e também as linhas intermediárias, referentes às transformações de energia: *Total Transformação, Refinarias de Petróleo, Plantas de Gás Natural, Usinas de Gaseificação, Coquearias, Ciclo do Combustível Nuclear, Centrais Elétricas de Serviço Público, Centrais Elétricas Autoprodutoras, Carvoarias, Destilarias e Outras Transformações*.

Como estamos discutindo apenas o consumo de energia, as linhas *Consumo Final* e *Consumo Final Não-Energético* também poderão ser eliminadas³, restando as seguintes linhas: Consumo Final Energético; Setor Energético; Residencial; Comercial; Público; Agropecuário; Transportes; Industrial.

³ As linhas: Perdas em Distribuição e Armazenagem, Consumo Não-Identificado e Ajustes são irrelevantes, pelo propósito do trabalho e também pela pequena ordem de grandeza de seus valores em relação aos valores da geração e consumo de energia.

Com exceção da primeira linha – que é a soma das linhas subsequentes – essas linhas discriminam o setor onde cada fonte de energia é consumida.

Nessa seção vamos ocultar o desdobramento do consumo nos setores de transporte e industrial, apresentando apenas uma visão geral de cada um desses setores, em outro momento podemos efetuar um recorte com enfoque apenas nesses detalhamentos, cujo objetivo pode ser, por exemplo, analisar o consumo de derivados de petróleo e biocombustíveis nos meios de transporte rodoviários.

7.1.2. Fontes de Energia

Agora que já simplificamos as linhas da matriz, vamos diminuir um pouco sua quantidade de colunas. Primeiramente, excluimos as colunas cujas fontes não são diretamente consumidas, ou seja, são fontes primárias transformadas totalmente em fontes secundárias, são os casos do: *Petróleo*, *Urânio U_3O_8* , *Hidráulica* e *Urânio C/UO_2* . Observando a matriz energética vemos que todas as linhas referentes ao consumo dessas fontes estão zeradas, isso significa que não são diretamente consumidas, são apenas transformadas em outras formas de energia.

A *Nafta* foi excluída porque é um produto do petróleo cujo consumo é não energético. Pelo mesmo motivo, foi excluída a coluna referente aos produtos *Não Energéticos de Petróleo*.

As colunas *Carvão Vapor* e *Carvão Metalúrgico*⁴ podem ser unidas, juntamente com os derivados de carvão mineral: *Gás de Cidade* e de

⁴ A maior parte do Carvão Vapor e do Carvão Metalúrgico são utilizados, respectivamente, nas usinas termelétricas para produção de eletricidade e no setor industrial.

Coqueria, Coque de Carvão Mineral e Alcatrão. Essas cinco fontes (colunas) comporão, na matriz simplificada, uma única coluna denominada *Carvão Mineral*. Excluimos também as colunas que fazem o somatório de todas fontes primárias (Energia Primária Total) e todas secundárias (Energia Secundária Total), apenas para reduzir o tamanho da tabela.

Assim, ficamos com as seguintes fontes (colunas): Gás Natural; Carvão Mineral; Lenha; Produtos da Cana; Outras Fontes Primárias; Óleo Diesel; Óleo Combustível; Gasolina; GLP; Querosene; Eletricidade; Carvão Vegetal; Álcool Etílico; Outras Secundárias de Petróleo; Total.

Finalmente, chegamos à tabela 7.1 que é uma primeira versão do recorte que propomos para analisar o consumo de energia numa perspectiva sustentável.

Essa matriz representa todo o consumo de energia subdividido por fonte de energia. Todos seus valores são absolutos, ou seja, todas as células presentes nesse recorte podem ser encontradas de forma direta na matriz completa, com exceção da coluna *Carvão Mineral*. Apenas lembrando, essa coluna foi criada, por motivo de simplificação, como a soma de outras cinco colunas (*Carvão Vapor, Carvão Metalúrgico, Gás de Cidade e de Coqueria, Coque de Carvão Mineral e Alcatrão*), assim, o valor de cada célula dessa coluna na matriz simplificada, é referente a soma dessas cinco colunas na matriz completa.

Agora que temos nossa matriz, algumas observações podem ser feitas. Será que faz sentido mantermos os valores com tal precisão? Não podemos arredondar esses valores? A tabela 7.2 mostra um possível arredondamento.

	Gás Natural	Carvão Mineral	Lenha	Produtos da Cana	Outras Fontes Primárias	Óleo Diesel	Óleo Combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade	Carvão Vegetal	Álcool Etílico	Outras Secundárias de Petróleo	Total
Setor Energético	5.112	196		12.546		166	995		37		1.613			3.747	24.412
Residencial	238		7.529						6.115	8	8.753	584			23.227
Comercial	176		80			57	122		135		5.532	78			6.180
Público	4					97	87		373		3.156				3.717
Agropecuário	2		2.411			5.515	68		23		1.428	7			9.454
Transportes	1.853					30.370	986	14.722		2.828	137		11.792		62.688
Industrial	7.161	9.314	6.564	16.292	5.571	706	3.728		740	4	16.020	3.301		7.288	76.689
Consumo Final	14.546	9.510	16.584	28.838	5.571	36.911	5.986	14.722	7.423	2.840	36.639	3.970	11.792	11.035	206.367

Tabela 7.1 – Recorte da matriz energética brasileira com foco no consumo de energia. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras fontes primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	5.110	200		12.550		170	1000		37		1.610			3.750	24.427
Residencial	240		7.530						6.120	8	8.750	580			23.228
Comercial	180		80			57	120		140		5.530	78			6.185
Público	4					97	87		370		3.160				3.718
Agropecuário	2		2.410			5.520	68		23		1.430	7			9.460
Transportes	1.850					30.370	990	14.720		2.830	140		11.790		62.690
Industrial	7.160	9.310	6.560	16.290	5.570	710	3.730		740	4	16.020	3.300		7.290	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	16.580	28.840	5.570	36.924	5.995	14.720	7.430	2.842	36.640	3.965	11.790	11.040	206.392

Tabela 7.2 – Recorte da matriz energética brasileira com foco no consumo de energia, com arredondamentos. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

Esse arredondamento foi feito para a casa das dezenas, exceto para os valores menores do que 100, pois assim não cometemos o erro de anular algum valor, como por exemplo, o valor do consumo de gás natural no setor público que é de 4 mil *tep*, se efetuássemos esse arredondamento, o valor passaria a ser zero. Com esse critério de arredondamento também mantemos um erro pequeno, com a maioria dos valores sendo abaixo de 0,5 %.

Podemos trabalhar com essa matriz (tabela 7.2) ou, ainda, agrupar algumas colunas chegando à tabela 7.3. Essas tabelas podem ser utilizadas dependendo das questões que serão abordadas nas discussões sobre possíveis discussões sobre sustentabilidade.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha e carvão vegetal	Álcool e produtos da cana	Óleo diesel e outros derivados de petróleo	Gasolina	GLP	Eleticidade	Outras fontes	Total
Setor Energético	5.110	200	0	12.550	1.170		37	1.610	3.750	24.427
Residencial	240		8.110	0	8		6.120	8.750	0	23.228
Comercial	180		158	0	177		140	5.530	0	6.185
Público	4		0	0	184		370	3.160	0	3.718
Agropecuário	2		2.417	0	5.588		23	1.430	0	9.460
Transportes	1.850		0	11.790	34.190	14.720		140	0	62.690
Industrial	7.160	9.310	9.860	16.290	4.444		740	16.020	12.860	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	20.545	40.630	45.761	14.720	7.430	36.640	16.610	206.392

Tabela 7.3 – Recorte da matriz energética brasileira com algumas fontes agrupadas.
Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

7.2. Possíveis leituras para a matriz

As possibilidades de interpretação dessa matriz simplificada são muitas, vamos escolher algumas leituras para realizar algumas interpretações.

7.2.1. Fontes em percentuais

Vamos avaliar a participação de cada fonte de energia em cada setor de consumo. Manipulando os valores da tabela 7.2 com cálculos de porcentagem, chegamos a tabela 7.4.

7.2.2. Consumo em percentual

É interessante sabermos a contribuição de cada setor no consumo de determinada fonte de energia. Para isso transformamos os valores da matriz em porcentagem e obtivemos a matriz apresentada na tabela 7.5. Observe que quase 70 % do consumo de energia brasileiro concentra-se no transporte e na indústria.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras Fontes Primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	20,9	0,8		51,4		0,7	4,1		0,2		6,6			15,4	100,0
Residencial	1,0		32,4						26,3	--	37,7	2,5			100,0
Comercial	2,9		1,3			0,9	1,9		2,3		89,4	1,3			100,0
Público	0,1					2,6	2,3		10,0		85,0				100,0
Agropecuário	--		25,5			58,4	0,7		0,2		15,1	0,1			100,0
Transportes	3,0					48,4	1,6	23,5		4,5	0,2		18,8		100,0
Industrial	9,3	12,1	8,6	21,2	7,3	0,9	4,9		1,0	--	20,9	4,3		9,5	100,0
Consumo final	7,0	4,6	8,0	14,0	2,7	17,9	2,9	7,1	3,6	1,4	17,8	1,9	5,7	5,3	100,0

Tabela 7.4 – Matriz energética brasileira expressa em porcentagem, de acordo com a participação de cada fonte de energia por setor de consumo.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras fontes primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade de	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	35,1	2,1		43,5		0,5	16,7		0,5		4,4			34,0	11,8
Residencial	1,6		45,4						82,4	0,3	23,9	14,6			11,3
Comercial	1,2		0,5			0,2	2,0		1,9		15,1	2,0			3,0
Público	--					0,3	1,5		5,0		8,6				1,8
Agropecuário	--		14,5			14,9	1,1		0,3		3,9	0,2			4,6
Transportes	12,7					82,3	16,5	100,0		99,6	0,4		100,0		30,4
Industrial	49,2	97,9	39,6	56,5	100,0	1,9	62,2		10,0	0,1	43,7	83,2		66,0	37,2
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 7.5 – Matriz energética brasileira expressa em porcentagem, de acordo com a participação de cada setor de consumo por fonte energética.

Célula vazia representa valor nulo.

Célula com -- representa valor desprezível.

7.2.3. A renovabilidade da matriz energética

O conceito de sustentabilidade, como discutimos no capítulo três – *Definições e Representações de Sustentabilidade* – possui diferentes interpretações, as quais usaremos como guia para algumas leituras dessa matriz.

Quando tratamos da sustentabilidade com foco na renovabilidade, ou seja, no âmbito dos recursos naturais renováveis e não-renováveis torna-se desnecessário o detalhamento de algumas fontes que possuem mesma origem, ou mesma fonte primária. Na figura 7.1, mostramos um esquema que indica as transformações de algumas fontes primárias em fontes secundárias.

Figura 7.1 – Transformações de fontes primárias em fontes secundárias.

Para analisarmos a sustentabilidade da matriz energética brasileira sob a perspectiva da renovabilidade, apresentamos a tabela 7.6, na qual as fontes primárias e secundárias são agrupadas, de acordo com o esquema apresentado na figura 7.1. A justificativa para mais essa simplificação é que no caso do petróleo, por exemplo, que é uma fonte não-

renovável, todos seus derivados, obviamente, também são fontes não-renováveis, assim, torna-se desnecessário a explicitação do petróleo e todos seus derivados em colunas individuais. O mesmo ocorre para lenha e produtos da cana, que são as fontes primárias do carvão vegetal e do álcool, respectivamente, essas quatro fontes podem compor apenas uma coluna, denominada *Biomassa*.

	Gás natural	Carvão mineral	Biomassa	Outras fontes primárias	Derivados de petróleo	Eleticidade	Total
Setor Energético	5.110	200	12550		4.957	1.610	24.427
Residencial	240		8.110		6.128	8.750	23.228
Comercial	180		158		317	5.530	6.185
Público	4		0		554	3.160	3.718
Agropecuário	2		2.417		5.611	1.430	9.460
Transportes	1.850		11.790		48.910	140	62.690
Industrial	7.160	9.310	26.150	5.570	12.474	16.020	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	61.175	5.570	78.951	36.640	206.392

Tabela 7.6 – Matriz energética com alguns agrupamentos para análise da renovabilidade.
Unidade: mil tep. Ano: 2009.

Sabemos que as colunas: *gás natural*, *carvão mineral* e *derivados de petróleo* são fontes de energia não-renováveis e, em contrapartida, *biomassa* é uma fonte de energia renovável, porém para *Outras Fontes Primárias* e *Eleticidade* essa distinção não é feita diretamente. Segundo o Balanço Energético Nacional, essas outras fontes primárias são resíduos vegetais e industriais usados para geração de vapor e calor. Embora resíduos vegetais possam ser considerados biomassa, os resíduos industriais podem ser derivados de combustíveis fósseis. Assim, vamos manter de fora de nossa análise essa coluna *Outras fontes primárias*.

No caso da eletricidade, basta responder a seguinte questão: quanto de eletricidade tem origem renovável e quanto tem origem não-renovável?

Para isso, devemos analisar a matriz energética nacional (tabela 7.2), baseando-se na seção 6.3 do capítulo anterior, onde foram exploradas as linhas que indicam as transformações de energia, especialmente as fontes transformadas em eletricidade.

Com os dados das linhas da tabela 7.2 – *Centrais Elétricas de Serviço Público e Centrais Elétricas Autoprodutoras* – construímos a tabela 7.7, que mostra a participação de cada fonte na geração de eletricidade.

Gás natural	2.641
Carvão mineral	1.859
Derivados de petróleo	3.208
Hidráulica	33.625
Biomassa	2.917
Nuclear	3.375
Outras fontes primárias	2.302

Tabela 7.7 – Fontes geradoras de eletricidade. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

A figura 7.2, a qual podemos denominar matriz da eletricidade brasileira, representa a participação de cada fonte na geração de eletricidade no Brasil. Nela, podemos verificar, principalmente, a grande participação da energia hidráulica na produção de eletricidade brasileira.

Figura 7.2 – Matriz da eletricidade brasileira. Ano: 2009.

Agrupando energia hidráulica e biomassa, que são fontes renováveis, temos 73 %; e somando as fontes: gás natural, carvão mineral, derivados de petróleo e energia nuclear, que são não-renováveis, temos 22 %. Os 5 % restantes são referentes a outras fontes primárias que não podemos fazer essa distinção. Aplicando esses percentuais para a eletricidade na tabela 7.6, obtemos a tabela 7.8, que mostra a distribuição da eletricidade segundo a renovabilidade de suas fontes geradoras.

	Origem renovável	Origem não-renovável	Indeterminada
Setor Energético	1.175	354	81
Residencial	6.388	1.925	438
Comercial	4.037	1.217	277
Público	2.307	695	158
Agropecuário	1.044	315	72
Transportes	102	31	7
Industrial	11.695	3.524	801
Consumo Final	26.747	8.061	1.832

Tabela 7.8 – Distribuição das origens da eletricidade. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

Finalmente, criamos condições para analisar a renovabilidade da matriz energética brasileira, tendo um panorama geral do consumo das fontes renováveis *versus* não-renováveis, tabela 7.9.

A partir dessa tabela, construímos um gráfico (figura 7.3) que compara o consumo de energia, das fontes renováveis e não-renováveis, para cada setor de consumo.

Figura 7.3 – Comparação do consumo de fontes de energia renováveis e não-renováveis, para cada setor de consumo. Unidade: *mil tep*. Ano: 2009.

Essa figura ilustra de forma muito clara em qual setor o consumo de fontes não-renováveis é mais evidente: o setor de transportes. Apesar de em todos setores, com exceção do agropecuário e de transportes, o consumo de fontes renováveis superar o consumo de não-renováveis, o setor de transportes contribui, e muito, para a predominância de fontes não-renováveis na matriz energética brasileira.

	Fontes não-renováveis					Fontes renováveis			Indeterminadas	Total
	Gás natural	Carvão mineral	Derivados de petróleo	Elettricidade de origem não-renovável	Total não-renovável	Elettricidade de origem renovável	Biomassa	Total renovável	Outras fontes primárias	
Setor Energético	5.110	200	4.957	354	10.621	1.175	12.550	13.725	81	24.427
Residencial	240		6.128	1.925	8.293	6.388	8.110	14.498	438	23.228
Comercial	180		317	1.217	1.714	4.037	158	4.195	277	6.185
Público	4		554	695	1.253	2.307		2.307	158	3.718
Agropecuário	2		5.611	315	5.928	1.044	2.417	3.461	72	9.460
Transportes	1.850		48.910	31	50.791	102	11.790	11.892	7	62.690
Industrial	7.160	9.310	12.474	3.524	32.468	11.695	26.150	37.845	6.371	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	78.951	8.061	111.068	26.747	61.175	87.922	7.402	206.392

Tabela 7.9 - Matriz energética nacional com foco na renovabilidade. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

7.2.4. Os impactos ambientais na matriz energética

Conforme análise do questionário sobre sustentabilidade no terceiro capítulo, as visões de sustentabilidade da sociedade também abordam os impactos que a utilização dos recursos naturais provocam sobre o meio ambiente. Com base nessas considerações sobre os impactos, desenvolvemos outra possibilidade de leitura da matriz de consumo energético.

Sabemos que determinado impacto não está associado à apenas uma fonte, e determinada fonte não causa apenas um tipo de impacto, mas para simplificar essa análise vamos considerar apenas algumas relações entre fonte energética e impacto ambiental. A queima de combustíveis, como derivados de petróleo, carvão mineral, gás natural, lenha e carvão vegetal emite gás carbônico (que é um dos principais gases responsáveis pelo efeito estufa). A construção de hidrelétricas provoca alagamentos e consequente devastação das regiões represadas⁵. E também o lixo radioativo gerado pelas usinas nucleares produtoras de energia elétrica.

Para analisar esses impactos devido ao consumo de algumas fontes energéticas precisamos fazer alguns ajustes na matriz energética que estamos trabalhando (tabela 7.2). Não podemos avaliar o impacto direto do uso da eletricidade, precisamos desmembrar a coluna da eletricidade conforme suas fontes geradora. Para isso, utilizamos a distribuição da geração de eletricidade apresentada na figura 7.2, e construímos a tabela 7.10.

⁵ No capítulo sobre as fontes de energia mostramos que não são todas hidrelétricas que utilizam represas e barragens, existem PCH's (Pequenas Centrais Hidrelétricas) que utilizam apenas o fluxo do rio para funcionarem, são as usinas "a fio d'água".

	Gás natural	Carvão mineral	Derivados de petróleo	Biomassa	Nuclear	Hidráulica	Outras primárias
Setor energético	81	65	97	97	113	1.081	81
Residencial	438	350	525	525	613	5.865	438
Comercial	277	221	332	332	387	3.706	277
Público	158	126	189	189	221	2.115	158
Agropecuário	71	57	86	86	100	957	71
Transportes	7	5	8	8	10	92	7
Industrial	801	641	961	961	1.121	10.733	801
Consumo final	1.832	1.466	2.198	2.198	2.565	24.548	1.832

Tabela 7.10 – Fontes geradoras de energia elétrica. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

Essas fontes da tabela 7.10, além de serem convertidas em eletricidade, também são consumidas nos diferentes setores, por isso precisamos da tabela 7.11 que contempla as transformações em eletricidade e o consumo dessas fontes. A partir dessa tabela podemos analisar quanto de energia é consumida em relação ao impacto causado.

	Gás natural	Carvão mineral	Derivados de petróleo	Biomassa	Nuclear	Hidráulica	Outras primárias	Total
Setor energético	5.193	261	5.042	12.643	113	1.081	81	24.412
Residencial	676	350	6.648	8.638	613	5.865	438	23.227
Comercial	453	221	646	490	387	3.706	277	6.180
Público	162	126	746	189	221	2.115	158	3.717
Agropecuário	73	57	5.692	2.504	100	957	71	9.454
Transportes	1.860	5	48.914	11.800	10	92	7	62.688
Industrial	7.962	9.911	13.427	27.162	1.121	10.733	6.372	76.689
Consumo final	16.378	10.932	81.115	63.426	2.565	24.548	7.403	206.367

Tabela 7.11 – Consumo de energia total levando em consideração as fontes geradoras de eletricidade. Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

Quando os combustíveis são queimados libera-se uma quantidade de gás carbônico e, por sua vez, as plantas absorvem gás carbônico para produzirem seu próprio alimento, no processo denominado

fotossíntese. O ciclo do carbono é responsável pela rápida absorção de CO₂ da atmosfera, por isso chamaremos de *CO₂ limpo*, o gás carbônico emitido pela queima de biomassa.

No caso dos combustíveis fósseis, esse processo ocorre em uma escala de tempo geológica, por isso chamaremos o gás carbônico emitido por esses combustíveis de *CO₂ sujo*. Isso não significa dizer que esse gás carbônico não seja absorvido rapidamente por algum vegetal, pois ele não é diferenciado do CO₂ emitido pela queima de biomassa, mas sim, que o CO₂ liberado na queima de um combustível fóssil é devido a um processo de fotossíntese que ocorreu há milhões de anos.

As tabelas 7.12 e 7.13 abrangem os consumos dos diferentes setores em função das fontes agrupadas segundo seus impactos, em *mil tep* e em porcentagem, respectivamente. Mantivemos os nomes hidrelétricas e nuclear, ao invés de colocar algum nome para os impactos causados, que poderiam ser alagamentos e lixo radioativo, por exemplo. Uma alternativa de nomenclatura para as colunas *CO₂ sujo* e *CO₂ limpo* seria combustíveis fósseis e biomassa, respectivamente.

	CO ₂ sujo	CO ₂ limpo	Hidrelétricas	Nuclear	Total
Setor energético	10.495	12.643	1.081	113	24.331
Residencial	7.674	8.638	5.865	613	22.789
Comercial	1.320	490	3.706	387	5.903
Público	1.034	189	2.115	221	3.559
Agropecuário	5.822	2.504	957	100	9.383
Transportes	50.780	11.800	92	10	62.681
Industrial	31.300	27.162	10.733	1.121	70.317
Consumo final	108.425	63.426	24.548	2.565	198.964

Tabela 7.12 – Consumo de energia em função dos impactos causados pelas principais fontes energéticas.
Unidade: mil tep. Ano: 2009.

	CO ₂ sujo	CO ₂ limpo	Hidrelétricas	Nuclear	Total
Setor energético	43,1	52,0	4,4	0,5	100,0
Residencial	33,7	37,9	25,7	2,7	100,0
Comercial	22,4	8,3	62,8	6,6	100,0
Público	29,1	5,3	59,4	6,2	100,0
Agropecuário	62,1	26,7	10,2	1,1	100,0
Transportes	81,0	18,8	0,1	--	100,0
Industrial	44,5	38,6	15,3	1,6	100,0
Consumo final	54,5	31,9	12,3	1,3	100,0

Tabela 7.13 – Participação dos impactos da utilização das fontes por setor de consumo, em porcentagem. Ano: 2009.

Com exceção dos setores energético e residencial, todos os demais fazem grande uso dos combustíveis fósseis, sendo necessária uma política energética que priorize a não emissão de gases por combustíveis fósseis.

É importante lembrar que porções da eletricidade foram distribuídas proporcionalmente à oferta das diferentes fontes que geram essa fonte energética. Portanto, não significa que todos os setores façam uso da hidreletricidade, como mostram as tabelas 7.12 e 7.13.

Outra observação que devemos fazer é que, apesar de agruparmos todos combustíveis fósseis em uma única coluna, cada um deles possui uma taxa de emissão de CO₂. As tabelas 7.14 e 7.15 mostram a quantidade de CO₂ emitido por ano por cada fonte de energia e a participação de cada fonte na emissão de CO₂, respectivamente.

	Óleo diesel	Óleo combustível	Querosene	Gasolina	GLP	Outros de petróleo	Carvão mineral	Gás natural	Lenha e carvão vegetal	Total
Setor energético	536	3.340			98	11.400	766	10.833		26.973
Residencial			24		16.218			509	32.153	48.904
Comercial	180	401			371			382	342	1.675
Público	306	291			981			8		1.585
Agropecuário	17.388	227			61			4	10.321	28.001
Transportes	95.666	3.307	8.603	43.130				3.922		154.627
Industrial	2.237	12.458	12		1.961	22.162	35.657	15.179	28.011	117.677
Consumo final	116.311	20.023	8.640	43.130	19.690	33.562	36.423	30.838	70.826	379.442

Tabela 7.14 – Emissão de CO₂ por fonte. Unidade: *mil toneladas*. Fonte: BEN 2010.

	Óleo diesel	Óleo combustível	Querosene	Gasolina	GLP	Outros de petróleo	Carvão mineral	Gás natural	Lenha e carvão vegetal	Total
Setor energético	2,0	12,4			0,4	42,3	2,8	40,2		100,0
Residencial			--		33,2			1,0	65,7	100,0
Comercial	10,7	23,9			22,2			22,8	20,4	100,0
Público	19,3	18,3			61,9			0,5		100,0
Agropecuário	62,1	0,8			0,2			--	36,9	100,0
Transportes	61,9	2,1	5,6	27,9				2,5		100,0
Industrial	1,9	10,6	--		1,7	18,8	30,3	12,9	23,8	100,0
Consumo final	30,7	5,3	2,3	11,4	5,2	8,8	9,6	8,1	18,7	100,0

Tabela 7.15 – Participação de cada fonte energética por setor de consumo na emissão de CO₂, em porcentagem. Ano: 2009.

CAPÍTULO 8

Propostas de atividades a partir dos recortes da matriz energética

Nos capítulos anteriores desenvolvemos um estudo da matriz energética brasileira visando compreender as informações nela contidas e analisar seus diferentes aspectos. Apresentamos, também, uma discussão sobre o consumo de energia de cada família, lembrando que o consumo não é apenas de energia elétrica, mas inclui também outras formas de energia, permitindo construir uma matriz energética domiciliar.

Em relação à matriz energética nacional, propusemos alguns recortes para facilitar diferentes leituras, como por exemplo, a sustentabilidade do ponto de vista das fontes de energia renováveis e não-renováveis, que chamamos de renovabilidade da matriz energética; e também a sustentabilidade com base nos impactos que cada fonte de energia provoca no meio ambiente.

Mas como esses dados podem ser utilizados para discutirmos a sustentabilidade em sala de aula? Nesse capítulo pretendemos apresentar algumas sugestões, através de breves propostas de atividades cujos objetivos são discutir diferentes aspectos da sustentabilidade. Essas sugestões são apenas

exemplos que pretendem indicar o potencial de possíveis discussões, como ponto de partida para novas atividades que podem vir a ser criadas.

Antes das propostas de atividades propriamente ditas, faremos uma abordagem sobre indicadores de sustentabilidades contemplados em outros estudos, os quais podem servir como parâmetros para o desenvolvimento de nossas propostas.

8.1. Indicadores de sustentabilidade energética

Alguns trabalhos analisam a sustentabilidade por meio de alguns critérios, chamados de indicadores⁶. Vamos mostrar alguns exemplos e falar um pouco sobre eles, para depois desenvolvermos algumas propostas com base em alguns desses indicadores, e também com outros, se for necessário.

8.1.1. A relação entre energia e alguns parâmetros sócio-tecno-ambientais

Bermann (2001) considera relações de sustentabilidade entre energia e equidade, energia e meio ambiente, energia e emprego, energia e eficiência, e energia e democracia. Para explicitar essas relações, analisa alguns indicadores de sustentabilidade energética.

A participação de lenha e carvão vegetal no consumo energético do setor residencial, a taxa de eletrificação dos domicílios, a posse de equipamentos eletrodomésticos básicos e uma espécie de cesta básica energética são alguns indicadores para analisar a equidade no uso de energia.

⁶ “Indicadores são ferramentas constituídas por uma ou mais variáveis que, associadas através de diversas formas, revelam significados mais amplos sobre os fenômenos a que se referem.” (IBGE, 2008, p. 10)

As emissões de CO₂ (gás carbônico) e a participação das fontes renováveis na oferta energética são indicadores na relação entre energia e meio ambiente.

As relações entre as oportunidades de emprego e a geração de renda que cada atividade econômica pode criar também são consideradas indicadores de sustentabilidade energética.

Talvez um dos parâmetros importantes para um país em desenvolvimento sejam os indicadores relativos à eficiência energética. O aumento do consumo energético proporciona o aumento da qualidade de vida de uma nação, porém esse consumo deve ser acompanhado de eficiência energética nos processos de transformação. Ou seja, menos recursos naturais, fontes primárias, devem ser convertidos em bens e serviços. A tabela 8.1 apresenta o rendimento dos principais setores de consumo.

Setor de consumo	Rendimento energético
Energético	75,2 %
Residencial	47,4 %
Transportes	37,5 %
Industrial	72,0 %

Tabela 8.1 – Distribuição do rendimento energético de alguns setores de consumo.
Ano: 2004. Fonte: BEN 2010.

Podemos observar que a melhoria na eficiência dos processos de transformação passa por uma mudança de valores na cultura do transporte individual, já que os carros movidos à gasolina e/ou álcool possuem menor eficiência que os movidos à diesel, por exemplo, devido ao fato dos transportes rodoviários coletivos serem movidos à diesel.

Outro setor cuja eficiência ainda pode ser melhorada é o residencial. Isso poderia ocorrer por meio da substituição das lâmpadas incandescentes por lâmpadas fluorescentes, medida bem conhecida nos programas de economia de energia elétrica. E também a utilização de fontes mais eficientes para cocção de alimentos, como GLP e gás natural, em substituição à lenha e carvão vegetal.

Finalmente, o processo de tomadas de decisões em políticas públicas na área energética também são indicadores de sustentabilidade, contemplando a última relação considerada por Bermann (2001), agora entre energia e democracia. Os integrantes das instâncias reguladoras e executivas desses processos são, geralmente, pessoas indicadas, com alguma influência política, isso impede a participação da população na decisão sobre questões energéticas.

Concluindo, preconiza-se aqui a necessidade de publicização da questão energética. O debate de ideias e o confronto de interesses em condições adequadas de informação e conhecimento, se constituem em instrumentos fundamentais na formulação de uma estratégia energética sustentável e democrática. (BERMANN, 2001, p. 94)

8.1.2. Indicadores segundo IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

O documento *Indicadores de desenvolvimento sustentável – Brasil: 2008* (IBGE, 2008) apresenta e discute quatro dimensões dos indicadores de desenvolvimento sustentável: ambiental, social, econômica e institucional. Vamos apresentar apenas dois indicadores, dentro da dimensão econômica,

relativos aos padrões de produção e consumo, que são: consumo de energia *per capita* e intensidade energética.

O consumo de energia per capita é um indicador que utiliza duas variáveis: o consumo final de energia e a população do país. Estudos realizados entre 1992 e 2006 mostram que o consumo final de energia *per capita* no Brasil tem aumentado, exceto no período de 1999 a 2001, no qual a oferta interna de energia não cresceu como nos anos anteriores e posteriores ao período mencionado. Esse valor está em torno de 1 *tep/habitante*, ou 45 *GJ/habitante*, e pode ser obtido por meio da matriz energética nacional (tabelas 6.2 ou 7.3), dividindo o total do consumo final de energia pelo número de habitantes do país.

$$\text{consumo de energia per capita} = \frac{\text{consumo final de energia}}{\text{número de habitantes}}$$

A intensidade energética, outro indicador, utiliza como variáveis o consumo final de energia e o PIB (Produto Interno Bruto), em *tep/reais*. Esse indicador expressa a eficiência energética do país, quanto mais desenvolvido for uma economia, menor será esse indicador.

$$\text{intensidade energética} = \frac{\text{consumo final de energia}}{\text{PIB}}$$

Para que haja um aumento consistente na eficiência energética, faz-se necessário a implementação de programas de economia e de utilização mais eficiente da energia no País. Iniciativas como o Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica – PROCEL, o incentivo ao uso do transporte de massa

nos centros urbanos, o aumento da participação das ferrovias e hidrovias no transporte de cargas, o uso de sistemas de co-geração, a geração descentralizada de energia elétrica etc., podem levar ao aumento da eficiência energética no Brasil a médio e longo prazos. A mudança no perfil industrial brasileiro, com o incentivo a indústrias menos intensivas no uso de energia, também aumentaria a geração de riquezas (PIB) por energia consumida. (IBGE, 2008, p. 336)

8.2. Propostas de atividades e encaminhamentos para discussões

Diante das várias dimensões e indicadores da sustentabilidade apresentados, e considerando os recortes da matriz energética brasileira que foram desenhados nos capítulos anteriores, podemos propor atividades que permitam a articulação desses aspectos.

Essas atividades, portanto, podem ser compreendidas como possíveis propostas de leitura e análise da matriz que traduzam em termos mais concretos a relação entre energia e sustentabilidade.

Não pretendemos construir atividades com roteiros ou procedimentos bem definidos, mas apresentar exemplos de questões que podem vir a ser desenvolvidas, adaptando-se aos contextos educacionais em que forem considerados.

8.2.1. Atividade 1 – Observando e discutindo a matriz energética brasileira

A matriz energética nacional, em suas formas simplificadas, que apresentamos no capítulo anterior pode ser utilizada para algumas leituras iniciais gerais. Ou seja, quando reproduzidas, apresentam-se apenas como um conjunto

de números. A busca do significado para tantos números pode ser também uma proposta de aprendizado sobre a leitura de tabelas.

Nessa atividade propomos apresentar as tabelas 7.2 (tabela 8.2), 7.4 (tabela 8.3) e 7.5 (tabela 8.4) que mostram o recorte da matriz para um estudo inicial da relação entre as fontes energéticas e os setores onde são consumidas. Lembramos que as tabelas 7.4 e 7.5 são leituras, em percentual, da participação de cada fonte por setor de consumo e a participação de cada setor no consumo de determinada fonte, respectivamente. Ou seja, são apenas outras formas de expressão da matriz geral (tabela 7.2). Seguem-se algumas questões que podem ser propostas para iniciar a discussão.

Observando a matriz energética brasileira, o que você pode argumentar sobre:

- a) Quais setores da economia consomem mais energia?
- b) Quais fontes energéticas são mais consumidas?
- c) Existe algum setor que depende somente de uma fonte de energia? Ou algum setor em que determinadas fontes predominem?
- d) Existe alguma fonte presente em todos os setores da economia? Ou em quase todos?
- e) Seria possível eliminar alguma fonte dessa matriz, realizando alguma substituição factível?
- f) De que forma os dados de consumo expressos na matriz podem ser utilizados para propor políticas voltadas para a sustentabilidade?

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras fontes primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	5.110	200		12.550		170	1000		37		1.610			3.750	24.427
Residencial	240		7.530						6.120	8	8.750	580			23.228
Comercial	180		80			57	120		140		5.530	78			6.185
Público	4					97	87		370		3.160				3.718
Agropecuário	2		2.410			5.520	68		23		1.430	7			9.460
Transportes	1.850					30.370	990	14.720		2.830	140		11.790		62.690
Industrial	7.160	9.310	6.560	16.290	5.570	710	3.730		740	4	16.020	3.300		7.290	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	16.580	28.840	5.570	36.924	5.995	14.720	7.430	2.842	36.640	3.965	11.790	11.040	206.392

Tabela 8.2 – Reprodução da matriz *fontes x consumo*, já apresentada na tabela 7.2.
Unidade: mil tep. Ano: 2009.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras Fontes Primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eleticidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	20,9	0,8		51,4		0,7	4,1		0,2		6,6			15,4	100,0
Residencial	1,0		32,4						26,3	--	37,7	2,5			100,0
Comercial	2,9		1,3			0,9	1,9		2,3		89,4	1,3			100,0
Público	0,1					2,6	2,3		10,0		85,0				100,0
Agropecuário	--		25,5			58,4	0,7		0,2		15,1	0,1			100,0
Transportes	3,0					48,4	1,6	23,5		4,5	0,2		18,8		100,0
Industrial	9,3	12,1	8,6	21,2	7,3	0,9	4,9		1,0	--	20,9	4,3		9,5	100,0
Consumo final	7,0	4,6	8,0	14,0	2,7	17,9	2,9	7,1	3,6	1,4	17,8	1,9	5,7	5,3	100,0

Tabela 8.3 – Reprodução da tabela 7.4, que indica em porcentagem, a participação de cada fonte de energia por setor de consumo.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras Fontes Primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Elettricidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	35,1	2,1		43,5		0,5	16,7		0,5		4,4			34,0	11,8
Residencial	1,6		45,4						82,4	0,3	23,9	14,6			11,3
Comercial	1,2		0,5			0,2	2,0		1,9		15,1	2,0			3,0
Público	--					0,3	1,5		5,0		8,6				1,8
Agropecuário	--		14,5			14,9	1,1		0,3		3,9	0,2			4,6
Transportes	12,7					82,3	16,5	100,0		99,6	0,4		100,0		30,4
Industrial	49,2	97,9	39,6	56,5	100,0	1,9	62,2		10,0	0,1	43,7	83,2		66,0	37,2
Consumo final	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 8.4 – Reprodução da tabela 7.5, que indica em porcentagem, a participação de cada setor de consumo por fonte energética.

Discutindo as questões propostas: (a) observando a última coluna da tabela 8.2 ou da tabela 8.4, vemos que o setor industrial é o campeão do consumo energético (76.684.000 *tep/ano*, 37,2 % do total), seguido pelo setor de transportes (62.690.000 *tep/ano*, 30,4 % do total); (b) O óleo diesel é a fonte energética mais consumida (36.924.000 *tep/ano*, 17,9 % do total), logo depois vem a eletricidade (36.640.000 *tep/ano*, 17,8 % do total); (c) de acordo com a tabela 8.3, quase 90 % da energia consumida nos setores comercial e público é eletricidade, evidenciando dependência dessa fonte de energia nesses setores; (d) as três tabelas apresentadas mostram todas as linhas preenchidas nas colunas do gás natural e da eletricidade, isso indica que essas duas fontes são consumidas em todos os setores da economia, ainda que a quantidade de gás natural seja muito pequena nos setores público e agropecuário em relação aos

outros setores, esses valores são de 4.000 tep e 2.000 tep, respectivamente; já o óleo diesel e o óleo combustível participam de todos setores, exceto do consumo residencial e o GLP não está presente apenas no setor de transportes; (e) pensar em eliminar alguma fonte da matriz energética brasileira parece um exercício impossível, devido ao fato dos valores serem consideráveis e também pela diluição do uso de determinada fonte em vários setores, dessa forma, as adaptações tecnológicas atingiriam todos os setores de consumo; (f) o consumo em excesso de fontes não-renováveis, por exemplo, no setor de transportes, pode contribuir para avaliarmos as políticas que envolvem esse setor.

Outras questões que permitem leituras diretas da matriz podem ser feitas, mas agora vamos discutir aspectos de sustentabilidade com foco em algumas particularidades.

8.2.2. Atividade 2 – Sustentabilidade e renovabilidade

A renovabilidade da matriz energética foi bastante trabalhada no capítulo anterior (seção 7.2.3), apresentando diferentes subsídios para uma discussão dessa questão. Apenas com o intuito de formalizar a discussão já realizada, apresentamos uma possível proposta para iniciar essa discussão:

Uma das formas de propor a sustentabilidade é por meio da garantia de recursos energéticos para as gerações futuras. Isso implica, em certo sentido, em se considerar a utilização de fontes que não se esgotarão facilmente, ou seja, fazer uso de fontes de energia renováveis. O que é uma fonte renovável? Como a matriz energética contribui para avaliarmos o consumo de fontes de

energia renováveis e não-renováveis? Qual o grau de renovabilidade da matriz energética brasileira? Em quais setores da economia o consumo de fontes não-renováveis é mais explícito? Ou seja, onde estão os problemas da matriz energética nacional em relação às fontes esgotáveis de energia? Quais seriam “boas políticas” para a questão, a serem consideradas em paralelo com aspectos locais e específicos?

Para discutir essas questões são reapresentadas algumas versões das matrizes energéticas. A tabela 8.5 mostra as fontes agrupadas conforme suas origens, já que a gasolina, por exemplo, é uma fonte não-renovável por ser derivada também de uma fonte não-renovável, que é o petróleo. Assim, para análise da renovabilidade da matriz, torna-se desnecessária a apresentação dos derivados de petróleo em colunas independentes.

	Gás natural	Carvão mineral	Biomassa	Outras fontes primárias	Derivados de petróleo	Eleticidade	Total
Setor Energético	5.110	200	12550		4.957	1.610	24.427
Residencial	240		8.110		6.128	8.750	23.228
Comercial	180		158		317	5.530	6.185
Público	4		0		554	3.160	3.718
Agropecuário	2		2.417		5.611	1.430	9.460
Transportes	1.850		11.790		48.910	140	62.690
Industrial	7.160	9.310	26.150	5.570	12.474	16.020	76.684
Consumo Final	14.546	9.510	61.175	5.570	78.951	36.640	206.392

Tabela 8.5 – Matriz energética com alguns agrupamentos para análise da renovabilidade.
Unidade: mil *tep*. Ano: 2009.

Nesse momento cabe a discussão sobre a eletricidade: ela é renovável ou não-renovável? A resposta a essa pergunta não é direta, pois os sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica são interligados, não sendo possível sabermos a origem (hidrelétrica, termelétrica, nuclear, biomassa etc.) da eletricidade que alimenta a lâmpada que está acesa para você ler esse texto. O que podemos fazer é uma análise da matriz de energia elétrica, ou seja, avaliar qual a participação de cada fonte energética na produção de eletricidade. A figura 8.1 mostra essa distribuição e permite avaliar qual a participação das fontes renováveis e das não-renováveis na geração de eletricidade.

Figura 8.1 – Matriz da eletricidade. Ano: 2009

As fontes renováveis (energia hidráulica e biomassa) são responsáveis por 73 % da matriz de eletricidade, já as fontes não-renováveis (gás natural, carvão mineral, derivados de petróleo e energia nuclear) correspondem a

22 % da produção de energia elétrica nacional. Os 5 % restantes são referentes a outras fontes primárias que não podemos fazer essa distinção. Aplicando-se essas porcentagens no consumo de eletricidade, avaliamos a renovabilidade em todos os setores do consumo e apresentamos o gráfico a seguir (figura 8.2).

Figura 8.2 – Comparação do consumo de fontes de energia renováveis e não-renováveis, para cada setor de consumo. Unidade: *mil tep*. Ano: 2009.

Apenas nos setores agropecuário e de transportes o consumo de fontes não-renováveis supera o de fontes renováveis, o que é mais do que suficiente para o consumo final de fontes renováveis ser bem menor. Essa análise chama a atenção para possíveis enganos com relação a matriz energética brasileira ser renovável. Não é. Só quando discutimos apenas a produção de energia elétrica podemos afirmar que a maioria é de origem renovável, mas ainda assim os valores comumente anunciados pela mídia são muitas vezes superestimados.

Segundo essa análise, fica evidente que o grande problema da matriz energética brasileira no que concerne ao uso de fontes esgotáveis de energia, está no setor de transportes, o qual depende fortemente da gasolina e do óleo diesel. Políticas de incentivo à produção de etanol e biocombustíveis deveriam ser praticadas, mas sobretudo, os transportes públicos deveriam receber maior atenção, bem como a utilização de ferrovias nos transportes rodoviários de produtos, além de serem revistas as proximidades das fábricas e dos centros de consumo.

8.2.3. Atividade 3 – Sustentabilidade e impactos ambientais

Uma associação muito comum quando se fala em sustentabilidade é feita com os impactos que cada fonte energética causa ao meio ambiente. Como a matriz energética nacional pode ser utilizada para avaliar esses impactos? Quais fontes da matriz energética brasileira contribuem para a emissão de CO₂? Quais os outros impactos ambientais causados pela utilização de cada uma das fontes energéticas da matriz? Que setores mais contribuem em cada tipo de impacto ambiental?

Para analisarmos os impactos devido ao consumo das fontes energéticas precisamos primeiramente analisar quais fontes geram a eletricidade, conforme já apresentado na seção 7.2.4, depois somar com todas as outras fontes, isso está apresentado na tabela 8.6.

	Gás natural	Carvão mineral	Derivados de petróleo	Biomassa	Nuclear	Hidráulica	Outras primárias	Total
Setor energético	5.193	261	5.042	12.643	113	1.081	81	24.412
Residencial	676	350	6.648	8.638	613	5.865	438	23.227
Comercial	453	221	646	490	387	3.706	277	6.180
Público	162	126	746	189	221	2.115	158	3.717
Agropecuário	73	57	5.692	2.504	100	957	71	9.454
Transportes	1.860	5	48.914	11.800	10	92	7	62.688
Industrial	7.962	9.911	13.427	27.162	1.121	10.733	6.372	76.689
Consumo final	16.378	10.932	81.115	63.426	2.565	24.548	7.403	206.367

Tabela 8.6 – Reprodução da tabela 7.11, que indica o consumo de energia total levando em consideração as fontes geradoras de eletricidade. Unidade: mil tep. Ano: 2009.

Agrupando os combustíveis fósseis devido à emissão de CO₂ na atmosfera (CO₂ sujo), e denominando a biomassa como responsável também pela emissão de CO₂, mas um CO₂ considerado limpo pela rápida reabsorção no ciclo do carbono, juntamente com os impactos causados pelas hidrelétricas e pelas usinas nucleares, apresentamos a tabela 8.7, que indica a participação de cada tipo de impacto em cada setor do consumo.

	CO ₂ sujo	CO ₂ limpo	Hidrelétricas	Nuclear	Total
Setor energético	43,1	52,0	4,4	0,5	100,0
Residencial	33,7	37,9	25,7	2,7	100,0
Comercial	22,4	8,3	62,8	6,6	100,0
Público	29,1	5,3	59,4	6,2	100,0
Agropecuário	62,1	26,7	10,2	1,1	100,0
Transportes	81,0	18,8	0,1	--	100,0
Industrial	44,5	38,6	15,3	1,6	100,0
Consumo final	54,5	31,9	12,3	1,3	100,0

Tabela 8.7 – Reprodução da tabela 7.13, que indica a participação dos impactos da utilização das fontes por setor de consumo, em porcentagem. Ano: 2009.

Com exceção dos setores energético e residencial, todos os demais fazem grande uso dos combustíveis fósseis, sendo necessária uma política energética que priorize a não emissão de gases por combustíveis fósseis.

Lembrando também que a emissão de CO₂ não é a mesma para cada combustível, a tabela 8.8 mostra a participação de cada fonte na emissão de CO₂.

	Óleo diesel	Óleo combustível	Querosene	Gasolina	GLP	Outros de petróleo	Carvão mineral	Gás natural	Lenha e carvão vegetal	Total
Setor energético	2,0	12,4			0,4	42,3	2,8	40,2		100,0
Residencial			--		33,2			1,0	65,7	100,0
Comercial	10,7	23,9			22,2			22,8	20,4	100,0
Público	19,3	18,3			61,9			0,5		100,0
Agropecuário	62,1	0,8			0,2			--	36,9	100,0
Transportes	61,9	2,1	5,6	27,9				2,5		100,0
Industrial	1,9	10,6	--		1,7	18,8	30,3	12,9	23,8	100,0
Consumo final	30,7	5,3	2,3	11,4	5,2	8,8	9,6	8,1	18,7	100,0

Tabela 8.8 – Reprodução da tabela 7.15, que mostra a participação de cada fonte energética por setor de consumo na emissão de CO₂, em porcentagem. Ano: 2009.

Observando essa tabela vemos que, apesar da lenha no setor residencial ser o maior contribuinte na emissão de CO₂, ainda é um derivado de combustível fóssil – o óleo diesel - o maior responsável pela emissão desses gases. O grande consumo de lenha que ainda hoje existe no setor residencial é um indicador de pouca sustentabilidade do ponto de vista social, devido ao fato de grande parte da população ainda não ter acesso a fogões a gás.

8.2.4. Atividade 4 – Sustentabilidade e desigualdade

O consumo de energia de cada cidadão pode refletir a quantidade de bens de consumo e serviços de que dispõe e isso pode ser um sinalizador de sua qualidade de vida, pelo menos em aspectos materiais. Assim, uma sociedade que possui má distribuição no consumo de energia não pode ser considerada sustentável. Para discutirmos essa relação entre sustentabilidade e desigualdade, partimos do levantamento de uma questão para reflexão:

O consumo de energia nacional é bem distribuído entre os 190 milhões de brasileiros? De que forma a matriz energética pode contribuir para avaliarmos se nossa sociedade é sustentável do ponto de vista social? Todas as famílias brasileiras apresentam igual consumo de energia? Qual o consumo de eletricidade de uma residência? E o consumo por morador? Esse valor condiz com sua “conta de luz” mensal? Qual o consumo total de energia de um brasileiro? Em que esses valores diferem?

Essa proposta de atividade pretende problematizar a desigualdade no consumo de energia dos brasileiros, tanto para a eletricidade quanto para o total de energia consumida.

Comparando esses valores com valores reais de seu consumo individual, verificando sua “conta de luz”, por exemplo, pode ser um indicativo para avaliarmos se o consumo energético é bem distribuído nas diferentes regiões e classes sociais do país, de forma que uma boa distribuição no consumo de energia indica níveis de sustentabilidade de uma economia do ponto de vista social.

Nessas condições, um possível encaminhamento seria avaliar o quanto o consumo médio residencial de sua casa pode ser comparado ao consumo médio residencial da população de brasileiros. Para isso, pode-se utilizar os dados da matriz apresentada na tabela 8.6, cujos valores estão expressos em uma unidade mais comum para a sociedade, devido ao consumo de eletricidade em nossas residências ser medido em *quilowatt-hora (kWh)*. Os valores dessa tabela são os valores da tabela 7.2 multiplicados por 11.630.000⁷.

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras fontes primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Eletricidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	59.429	2.326		145.957		1.977	11.630		430		18.724			43.613	284.086
Residencial	2.791		87.574						71.176	93	101.763	6.745			270.142
Comercial	2.093		930			663	1.396		1.628		64.314	907			71.932
Público	47					1.128	1.012		4.303		36.751				43.240
Agropecuário	23		28.028			64.198	791		267		16.631	81			110.020
Transportes	21.516					353.203	11.514	171.194		32.913	1.628		137.118		729.085
Industrial	83.271	108.275	76.293	189.453	64.779	8.257	43.380		8.606	47	186.313	38.379		84.783	891.835
Consumo Final	169.170	110.601	192.825	335.409	64.779	429.426	69.722	171.194	86.411	33.052	426.123	46.113	137.118	128.395	2.400.339

Tabela 8.6 – Matriz energética nacional *fontes x consumo*, em *milhões de kWh*. Ano: 2009.

A partir de dados como esses é possível discutir a questão, apontando possíveis limitações para esse tipo de análise ou outras estratégias para o aprofundamento do tema.

⁷ 1 mil tep = 11.630.000 kWh

Conforme os dados da tabela 8.6, o consumo de eletricidade no setor residencial é de 101.763 *milhões de kWh*, dividindo pela população brasileira, temos o consumo de eletricidade anual *per capita*, que é de aproximadamente 540 *kWh*. Dividindo esse valor por doze meses, temos o consumo de energia elétrica médio mensal de cada brasileiro, isto é, 45 *kWh*.

Esse valor pode ser comparado com o consumo de eletricidade encontrado em nossa “conta de luz” mensal. Por exemplo: uma residência com quatro moradores e consumo mensal de 300 *kWh*, tem um consumo individual de 75 *kWh*. Esse valor está acima da média nacional e sinaliza que, pelo menos nesse caso, não há uma boa distribuição no consumo de energia no país.

Sabemos que não utilizamos apenas a energia elétrica, além dela utilizamos outras fontes, por exemplo, para locomoção, para aquecimento (ou resfriamento) de alimentos e/ou ambientes, e também existe uma grande quantidade de energia incorporada nos bens que possuímos, por exemplo, nossas roupas, já que foi necessária uma quantidade de energia em seu processo de fabricação.

Portanto, também é relevante avaliarmos o consumo total de energia *per capita*. Para isso, dividimos o consumo energético total (2.400.339 *milhões de kWh*) pela população do país (190 milhões), assim teremos o consumo energético total *per capita*, que é de aproximadamente 12.633 *kWh/per capita/ano*. Dividindo ainda esse valor por doze meses, temos um consumo médio mensal de aproximadamente 1.050 *kWh* para cada brasileiro.

Será que todos são responsáveis por esse valor? Obviamente que não. Isso significa que muito mais do que esses 1.050 *kWh* são devidos a

uma pequena porção da população, que tem acesso aos mais variados produtos. O consumo de energia não é igualitário. Ou seja, não há sustentabilidade energética do ponto de vista social.

Na seção 4.5, onde discutimos o desenvolvimento segundo o IDH, esse valor de 12.633 kWh, que equivale a 1,1 *tep*, está em conformidade com estudo apresentado na figura 4.7, que mostra a correlação entre o consumo de energia *per capita* e o IDH. Nessa figura, observamos que os países com elevado IDH possuem consumo de energia *per capita* muito maior que 1 *tep*.

Comparar o valor obtido para o consumo total de energia com nossa “conta de luz” não teria sentido, pois como já mencionamos, o consumo energético total inclui outras fontes de energia. Uma comparação mais próxima da realidade seria fazendo uso da matriz domiciliar apresentada e desenvolvida no capítulo cinco.

A tabela 5.4 sugere um valor de 700 kWh para o consumo total de uma residência com quatro moradores, isto é, menos de 200 kWh/morador/mês, ou seja, 20 % do valor encontrado com os dados da matriz (1.050 kWh). Um fato importante que devemos mencionar é uma limitação da nossa matriz domiciliar, que implica em parte dessa diferença de 80 %, pois não consideramos a energia incorporada em nossos alimentos e bens de consumo, como roupas, utensílios, casas e carros. Eliminada essa limitação, ainda resta o problema da distribuição da energia de forma justa para toda a população, pois estamos calculando uma média.

8.2.5. Atividade 5 – Sustentabilidade e desenvolvimento (I)

O nível de desenvolvimento de um país é medido pela soma do valor de todos os bens que produz. Esse nível é traduzido pelo PIB (Produto Interno Bruto). Para discutir a sustentabilidade do ponto de vista do desenvolvimento de uma sociedade, propomos as seguintes questões:

O desenvolvimento econômico de um país (cidade, estado ou região) deve influenciar o consumo de energia por parte da respectiva sociedade. Como a matriz energética e as informações da tabela 8.7 podem ser utilizadas para a análise da sustentabilidade no âmbito do desenvolvimento de um país? Isto é, quais informações dessa tabela são relevantes para se avaliar o desenvolvimento de um país? Compare o consumo médio de energia de um brasileiro com os estrangeiros. Somente o PIB contempla o nível de desenvolvimento econômico de um país? Pense em dois hipotéticos países que possuem o mesmo PIB, mas consumos de energia diferentes, qual poderia ser considerado mais sustentável, ou mais desenvolvido, o que consome mais, ou que consome menos energia?

Os dados apresentados na tabela 8.7 possibilitam o cálculo do PIB *per capita* e do consumo de energia *per capita*. Isso pode subsidiar discussões sobre a desigualdade na busca da sustentabilidade. Sobretudo, um indicador utilizado pelo IBGE, e já apresentado na seção 8.1, sugere o cálculo da eficiência energética, ou intensidade energética como denominada pelo IBGE, que seria a quantidade de energia consumida para se obter cada unidade do PIB.

País	Extensão territorial (km ²)	População (habitantes)	PIB (milhões de US\$)	Consumo de energia (mil tep)
África do Sul	1.221.037	50.492.408	285.983	64.087
Alemanha	356.733	82.056.775	3.330.030	235.673
Argentina	2.766.889	40.665.732	308.740	55.318
Bangladesh	143.998	164.425.491	89.159	21.866
Brasil	8.514.876	195.423.252	1.571.957	211.722
Canadá	9.976.139	33.889.747	1.336.067	202.264
China	9.596.961	1.354.146.443	4.984.426	1.370.726
Espanha	504.782	45.316.586	1.464.088	99.065
EUA	9.363.520	317.641.087	14.119.295	1.542.245
França	551.500	62.636.580	2.649.389	165.545
Índia	3.287.590	1.214.464.312	1.287.292	407.562
Japão	377.801	126.995.411	5.068.997	318.810
Noruega	323.895	4.855.315	378.592	20.896
Portugal	92.389	10.732.357	233.489	19.272
Venezuela	912.050	29.043.555	325.965	44.407

Tabela 8.7 – Informações geográficas, econômicas e energéticas de alguns países.

Fontes: IEA, 2008. (Disponível em <<http://www.iea.org>> Acesso em: dezembro de 2010.)
 IBGE – Países@, 2010. (Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/paisesat>> Acesso em: dezembro de 2010)

A tabela 8.8 mostra um possível encaminhamento para discussão dessas questões. Selecionamos alguns países e os classificamos segundo alguns aspectos. Observamos que o país com maior Índice de Desenvolvimento Humano (IDH), a Noruega, possui maior Produto Interno Bruto (PIB) *per capita* e também maior consumo de energia por unidade do PIB, porém ocupa a 3ª colocação dentre os países escolhidos para essas comparações no quesito consumo de energia *per capita*. Isso porque países como Canadá e Estados Unidos consomem mais energia *per capita*. Esse fato implica em discussões quanto ao desenvolvimento desses países, que possuem muitos dólares, mas a eficiência no consumo energético não é atingida de forma satisfatória.

Olhando para o caso do Brasil, ocupamos entre essas quinze nações, o 10º PIB e o 12º lugar em consumo de energia, porém o 8º no consumo de energia por unidade do PIB. Lembrando que esse índice, indicado na última coluna da tabela 8.3, pode variar de zero a um, considerado melhor nível de desenvolvimento quanto mais próximo de zero, o Brasil possui um valor considerado bom, que é de 0,135.

Essa variedade de índices mostra que as análises quanto ao desenvolvimento das nações não convergem para valores absolutos, isto é, dependendo da leitura realizada chegamos a classificações distintas.

Posição no IDH	País	Valor do IDH 2010	PIB <i>per capita</i> (mil US\$ / habitante)	Consumo de energia <i>per capita</i> (tep / habitante)	Consumo de energia por unidade do PIB (tep / mil US\$)
1º	Noruega	0,938	78,0 (1º)	4,3 (3º)	0,055 (1º)
4º	EUA	0,902	44,5 (2º)	4,9 (2º)	0,109 (7º)
8º	Canadá	0,888	39,4 (6º)	6,0 (1º)	0,151 (10º)
10º	Alemanha	0,885	40,6 (4º)	2,9 (4º)	0,071 (5º)
11º	Japão	0,884	39,9 (5º)	2,5 (6º)	0,063 (3º)
14º	França	0,872	42,3 (3º)	2,6 (5º)	0,062 (2º)
20º	Espanha	0,863	32,3 (7º)	2,2 (7º)	0,068 (4º)
40º	Portugal	0,795	21,8 (8º)	1,8 (8º)	0,083 (6º)
46º	Argentina	0,775	7,6 (11º)	1,4 (10º)	0,179 (11º)
73º	Brasil	0,699	8,0 (10º)	1,1 (12º)	0,135 (8º)
75º	Venezuela	0,696	11,2 (9º)	1,5 (9º)	0,136 (9º)
89º	China	0,663	3,7 (13º)	1,0 (13º)	0,275 (14º)
110º	África do Sul	0,597	5,7 (12º)	1,3 (11º)	0,224 (12º)
119º	Índia	0,519	1,1 (14º)	0,3 (14º)	0,317 (15º)
129º	Bangladesh	0,469	0,5 (15º)	0,1 (15º)	0,245 (13º)

Tabela 8.8 – Classificação de alguns países segundo IDH, PIB *per capita*, consumo de energia *per capita* e Consumo de energia por unidade do PIB.

Fontes: IEA, 2008. (Disponível em <<http://www.iea.org>> Acesso em: dezembro de 2010)
 IBGE – Países@, 2010. (Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/paisesat>> Acesso em: dezembro de 2010)
 PNUD, 2010. (Disponível em <<http://www.pnud.org.br>> Acesso em: dezembro de 2010)

8.2.6. Atividade 6 – Sustentabilidade e desenvolvimento (II)

Outra discussão com relação ao desenvolvimento sustentável pode ser alimentada pelas seguintes questões:

A figura 8.3 mostra a variação do PIB e a variação do consumo de energia no Brasil nos últimos anos. O que você entende a partir da semelhança entre as curvas? Qual sua hipótese para o distanciamento das curvas a partir do ano de 2004? Levando em consideração os aspectos de sustentabilidade e desenvolvimento, pode-se considerar algum período com um desenvolvimento mais sustentável? E menos sustentável?

Figura 8.1 – Variação do PIB e variação do consumo de energia (1998 – 2007)

Fonte: ANEEL. Atlas de Energia Elétrica do Brasil, 2008.

A semelhança entre as curvas de variação do consumo energético e do PIB evidencia estreita relação entre esses dois índices. Já vimos anteriormente que um aumento nos bens de consumo e serviço de uma nação deve vir acompanhado de uma diminuição, ou pelo menos manutenção, do consumo de energia, pois isso mostra que o desenvolvimento também ocorre na eficiência dos processos de transformação de energia.

Observamos que a partir de 2004 o PIB mantém seu valor, mas o consumo de energia apresenta uma queda, isso pode ser um indicativo de melhoria na eficiência dos processos de transformação de energia. A curva também evidencia a crise energética que o Brasil passou em 2001, conhecida como apagão. O consumo de energia e o PIB vinham aumentando até que o sistema energético nacional ficou sobrecarregado. Isso causou uma desaceleração no crescimento, como mostra a queda das curvas nos anos seguintes.

Podemos considerar um bom nível de sustentabilidade do ponto de vista econômico quando as curvas apresentam maior distanciamento juntamente com o maior PIB. A partir do ano de 2007 podemos observar esse aspecto. Já período entre 2003 e 2004 tem um aumento no PIB, mas o consumo de energia também aumenta de forma acentuada, isso evidencia uma queda na eficiência energética dos processos de transformação.

8.2.7. Atividade 7 – Sustentabilidade e eficiência

O menor consumo de energia também pode ser atingido melhorando os processos de transformação de energia, isto é, tornando os centros de transformação mais eficientes.

Analisando a matriz energética nacional, apresentada na tabela 8.9, em qual (ou quais) setores de consumo de energia deve-se realizar maiores investimentos com o propósito de aumentar a eficiência energética? Ou seja, quais setores consomem mais energia e merecem maior atenção nos programas para o melhor uso de fontes primárias?

	Gás natural	Carvão mineral	Lenha	Produtos da cana	Outras Fontes Primárias	Óleo diesel	Óleo combustível	Gasolina	GLP	Querosene	Elettricidade	Carvão vegetal	Álcool etílico	Outras secundárias de petróleo	Total
Setor Energético	35,1	2,1		43,5		0,5	16,7		0,5		4,4			34,0	11,8
Residencial	1,6		45,4						82,4	0,3	23,9	14,6			11,3
Comercial	1,2		0,5			0,2	2,0		1,9		15,1	2,0			3,0
Público	--					0,3	1,5		5,0		8,6				1,8
Agropecuário	--		14,5			14,9	1,1		0,3		3,9	0,2			4,6
Transportes	12,7					82,3	16,5	100,0		99,6	0,4		100,0		30,4
Industrial	49,2	97,9	39,6	56,5	100,0	1,9	62,2		10,0	0,1	43,7	83,2		66,0	37,2
Consumo final	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabela 8.9 – Reprodução da tabela 7.5, que indica em porcentagem, a participação de cada setor de consumo por fonte energética.

A participação de cada setor da economia no consumo de energia nacional, conforme a tabela 8.9, mostra que quase 70 % do consumo energético brasileiro ocorre no transporte e na indústria. Sendo esses, portanto, os setores que merecem maior atenção nas tentativas de melhorar a eficiência dos processos de transformação de energia. Obviamente, o consumo residencial também contribui para o consumo e devemos sempre tentar diminuí-lo, mas está longe de ser um problema frente a esses outros setores, pois contribui com pouco mais de 11 % do consumo total de energia brasileiro.

Os dados da tabela 8.10 mostram o rendimento energético de alguns setores. Esses dados corroboram em parte para a análise que fizemos, pois o setor de transporte é o que possui menor eficiência nas transformações de energia e também é um dos setores que mais consomem. O setor residencial

também possui baixo rendimento. A má distribuição energética na sociedade contribui para esses dados, por exemplo, devido ao consumo de lenha, cuja eficiência é baixa. A substituição por fogões a gás seria uma melhoria nesse sentido e sabemos que a população mais carente é quem necessita dessa medida.

Setor de consumo	Rendimento energético
Energético	75,2 %
Residencial	47,4 %
Transportes	37,5 %
Industrial	72,0 %

Tabela 8.10 – Distribuição do rendimento energético de alguns setores de consumo.
Ano: 2004. Fonte: BEN 2010.

8.3. Considerações gerais

As propostas apresentadas não têm a pretensão de esgotar as possibilidades de discussão sobre o tema energia no contexto crítico que propomos. Mas sim, devem servir como exemplos norteadores e motivadores para outras reflexões.

A matriz energética é muito rica, sobretudo todo o Balanço Energético Nacional (BEN), possibilitando desde discussões simples sobre conversões de unidades até o planejamento do setor energético nacional.

Também podem ser abordados outros aspectos econômicos, como a relação do valor dos combustíveis dos automóveis com as disputas por

petróleo no Oriente Médio, ou a valorização do açúcar brasileiro no exterior favorecendo o aumento na sua produção em detrimento da produção de etanol.

Propostas que analisam casos específicos de usinas de produção de energia, como os constantes impasses que as novas gigantes hidrelétricas, por exemplo, as usinas do Rio Madeira em Rondônia: Jirau e Santo Antônio; ou no Pará: Belo Monte no Rio Xingu e São Luiz do Tapajós, no Rio Tapajós, também seriam exemplos de temas motivadores para a construção de atividades envolvendo a problematização de questões energéticas.

CAPÍTULO 9

Considerações sobre alcance e limitações dos resultados

Nossas discussões visam propor uma forma alternativa de abordagem das ideias sobre energia e de seus significados, para além apenas do conceito físico propriamente dito. Consideramos que o tratamento usualmente dado a esse conceito poderia ganhar uma maior abrangência se as questões relacionadas à sustentabilidade fossem também contempladas. É dessa forma que podemos considerar ter obtido um instrumento importante através da introdução das discussões da matriz energética brasileira.

Como vimos, a sustentabilidade envolve diferentes representações. Um levantamento dessas representações com os alunos, como instrumento didático, pode ser um ponto de partida importante para sua discussão. Nesse sentido, uma análise das ideias de um grupo ou uma turma pode ser um momento importante para estender a discussão para além dos aspectos relacionados apenas à renovabilidade ou aos impactos ambientais. Os diferentes sentidos sobre o conceito de sustentabilidade permitem enriquecer a discussão, sobretudo inserindo o ser humano como agente responsável pelas transformações e caminhos da sociedade.

Para isso, é imprescindível que a questão da sustentabilidade passe a contemplar mais de perto as formas de consumo de energia e os modelos de desenvolvimento associados. Não se trata apenas de buscar novas e melhores fontes de geração de energia, mas principalmente de rever padrões de consumo.

Apontamos que um primeiro passo nessa direção pode ser a introdução de matrizes que apresentem fontes e formas de consumo de forma articulada. Um exercício inicial, e já carregado de significado, pode ser a construção de matrizes energéticas domiciliares, não só como introdução às questões a serem trabalhadas, mas também como apresentação da própria ideia de matriz e as ferramentas de análise.

Vimos que a matriz energética brasileira é também uma poderosa ferramenta, na medida em que permite considerar o cenário social mais amplo. Ela traz dados que nos permitem refletir sobre onde cada fonte de energia é consumida. Também podemos utilizá-la para avaliarmos a participação das energias não-renováveis na economia nacional, além de ser capaz de problematizar questões sociais como a desigualdade no consumo de energia. Também é potencialmente rica para discussões com relação aos impactos que cada fonte energética causa ao meio ambiente.

Uma abordagem na perspectiva nacional abre espaço, ainda, para a percepção de que as questões de sustentabilidade devem ser consideradas também para além do universo individual ou domiciliar.

O consumo de energia não pode ser reduzido apenas a uma diminuição no consumo de eletricidade, ou ao entendimento da conta de luz domiciliar. Uma análise de algumas ações nesse sentido também poderiam ser importantes para problematizar alguns jargões e mitos a respeito do que “é ecologicamente correto”, como por exemplo, o uso de sacolas de papel em substituição ao de sacolas plásticas, ou a compra de carros elétricos. Políticas energéticas de utilização de tecnologias mais eficientes na transformação de fontes primárias em fontes secundárias, por exemplo, acarretariam de maneira realmente significativa em menor uso dos recursos naturais, além de menor geração de resíduos.

No presente desenvolvimento, utilizamos apenas os últimos quatro anos do Balanço Energético Nacional (BEN) e alguns dados da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) como fonte de pesquisa mais técnica. Outros dados para comparações e problematizações sobre prováveis divergências contribuiriam para o desenvolvimento das potencialidades de cada fonte energética, além de confrontar os dados apresentados pelos órgãos responsáveis.

Com relação às propostas de atividades, elas não são questões fechadas para uso em sala de aula, embora possam ser utilizadas sob formas próximas às que foram apresentadas. No entanto, foram concebidas apenas como parâmetros, ou fontes de inspiração, para novas atividades a serem elaboradas pelo professor, dependendo do contexto em que queira inserir essa discussão.

O desenvolvimento dessas propostas em uma sala de aula real poderia incrementar as possibilidades, assim como propiciar um espaço para o surgimento de novas questões. Dessa forma, entendemos ter apenas proposto um primeiro passo, abrindo perspectivas para novos trabalhos e reflexões.

Referências

- ALDABÓ, R. *Energia Eólica*, São Paulo: Artliber Editora, 2002.
- ANNEL. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil / Agência Nacional de Energia Elétrica*. Brasília: ANEEL, 2008.
- BARBOSA, J. P. V. *Estudo exploratório de modelos mentais de energia*. Florianópolis: Atas do VII EPEF, 2000.
- BARDIN, L. *Análise de Conteúdo*. Lisboa: Ed. 70, 2008.
- BELLEN, H. M. V. *Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2005.
- BENJAMIN, A. A., TEIXEIRA, O. P. B. *Análise do uso de um texto paradigmático sobre energia e meio ambiente*. Florianópolis: Atas do VII EPEF, 2000).
- BERMANN, C. *Energia no Brasil: para quê? para quem? Crise e alternativas para um país sustentável*. São Paulo: Editora Livraria da Física/FASE, 2001.
- BERNARDO, J. R. R., VIANNA, D. M., FONTOURA, H. A. *A energia elétrica na sala de aula do ensino médio: estratégias de abordagem em ciência-tecnologia-sociedade (CTS)*. Florianópolis: Atas do VI ENPEC, 2007.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2007: Ano base 2006*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007*. Rio de Janeiro: EPE, 2008.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2009: Ano base 2008*. Rio de Janeiro: EPE, 2009.
- BRASIL. Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2010: Ano base 2009*. Rio de Janeiro: EPE, 2010.
- BRASIL. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais. PCN+ Ensino Médio*. Brasília: MEC, SEMTEC, 2002.
- CAMARGO, A. L. de B. *Desenvolvimento sustentável: dimensões e desafios*. Campinas: Papirus, 2003.
- COMISSÃO MUNDIAL SOBRE MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. Relatório Brundtland. *Nosso futuro comum*. Rio de Janeiro: Editora FGV, 1991.

CRESPO, S. (Org.). *O que o brasileiro pensa sobre meio ambiente e o consumo sustentável*. Rio de Janeiro: ISEER/MMA, 2003.

CUNHA, S. B. e GUERRA, A. J. T. (orgs.). *A questão ambiental: Diferentes abordagens*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

DIAS, R. A., MATTOS, C. R. de., BALESTIERI, J. A. P. *Uso racional da energia: ensino e cidadania*, São Paulo: UNESP, 2006.

DIAS, R. A., MATTOS, C. R. de., BALESTIERI, J. A. P. *Elementos para uma educação do uso racional de energia*. Bauru: Atas do IV ENPEC, 2003.

FARIAS, C. R. O., CARVALHO, W. L. P. *O caso judicial da UHE três irmãos: perspectivas educativas para tratar sobre energia, desenvolvimento e direito ambiental no ensino médio*. Bauru : Atas do IV ENPEC, 2003.

FERREIRA, C. F., SANTOS, L. M., LOPES, A. F. e BOZELLI, R. L. *Análises das representações sociais sobre meio ambiente de técnicos e professores da secretaria de educação e meio ambiente*. Florianópolis: Atas do VI ENPEC, 2007.

FEYNMAN, R. P. *Física em 12 lições*. Rio de Janeiro: Ediouro, 2005.

GOLDEMBERG, J. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. São Paulo: Edusp, 1998.

GUARIGLIA, C. E., VIGGIANO, E., MATTOS, C R. *Categorias de questões sobre energia no ENEM*. Florianópolis: Atas do VII ENPEC, 2009.

HARTMANN, A. e ZIMMERMANN, E. *Concepções de sociedade sustentável resultantes de um trabalho interdisciplinar*. Florianópolis: Atas do VI ENPEC, 2007.

IBGE. *Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil 2008*. Rio de Janeiro: IBGE, 2008.

USP, IF. *Trabalho humano e uso de energia*. SP: CESP, 1986.

JACQUES, V., ALVES FILHO, J. P. *O conceito de energia: os livros didáticos e as concepções alternativas*. Curitiba: Atas do XI EPEF, 2008.

JAPIASSÚ JÚNIOR, F. *Energia solar, eólica e biomassa no ensino de Física*. Rio de Janeiro: Atas do XVI SNEF, 2005.

KAWAMURA, M. R. *Desenvolvimento sustentável: uma abordagem Física*. São Paulo: Instituto de Física, 2007.

LEFF, E. *Aventuras da epistemologia ambiental*. Rio de Janeiro: Garamond, 2004.

LOPES, N. C, CARVALHO, W. L. P. *Energia e desenvolvimento humano: uma abordagem sociocientífica no ensino de ciências*. Florianópolis: Atas do VII ENPEC, 2009.

LORENZETTI, L. *Estilos de pensamento em educação ambiental*. Tese de Doutorado. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008.

LORENZETTI, L., DELIZOICOV, D. *Estilos de pensamento em educação ambiental: uma análise a partir das dissertações e teses*. Florianópolis: Atas do VII ENPEC, 2009.

LOUREIRO, C. F. B. *Complexidade e dialética: contribuições à práxis política e emancipatória em educação ambiental*. Educ. Soc., v. 27, n. 94, p. 131-152, Campinas, 2006.

LOUREIRO, C. F. B. *Trajetória e Fundamentos da Educação Ambiental*. São Paulo: Cortez, 2004.

LOUREIRO, C., LAYARGUES, P. e CASTRO, R. *Educação ambiental: repensando o espaço da cidadania*. São Paulo: Cortez, 2002.

MARTINS, R. L. C., SOUZA, N. S., PAMPLONA, M. H., BASTOS FILHO, R. P., PEIXOTO, K. C. Q. C., LINHARES, M. P. *Mapas conceituais em aulas de Biologia, Física e Química: uma abordagem integrada do conceito energia*. Florianópolis: Atas do VII ENPEC, 2009.

MEADOWS, D., MEADOWS, D. RANDERS, J. BEHRENS, W. *Limites do crescimento: um relatório para o projeto do Clube de Roma sobre o dilema da humanidade*. São Paulo: Perspectiva, 1972.

MICHINEL, J. L., ALMEIDA, M. J. P. M. *O funcionamento da leitura de textos divergentes referentes a energia: perfil conceitual de estudantes de Física*. Florianópolis: Atas do VII EPEF, 2000.

MONTEIRO, M. A. A., TEIXEIRA, O. P. B. *Estruturação de atividades envolvendo o conceito de energia para um curso de formação continuada de professores de Física do ensino médio*. Florianópolis: Atas do VII EPEF, 2000.

MONTIBELLER FILHO, G. *O mito do desenvolvimento sustentável*. Florianópolis: Editora da UFSC, 2004.

OLIVEIRA, R. B. J., MARQUES, C. A., DELIZOICOV, D. *Os usos da energia na concepção dos alunos do ensino médio*. Bauru: Atas do IV ENPEC, 2003.

PENTEADO, H. *Meio ambiente e formação de professores*. São Paulo: Cortez, 1994.

PEREIRA, G. R., BOUZADA FILHO, M. V., NEVES, M. A. *Um estudo sobre a inserção do tema “energia nuclear” no ensino médio de municípios da baixada fluminense – RJ*. Florianópolis: Atas do VII ENPEC, 2009.

PINHEIRO, N. A. M., SILVEIRA, R. M. C. F. e BAZZO, W. A. *Ciência, Tecnologia e Sociedade: A Relevância do Enfoque CTS para o Contexto do Ensino Médio*. Revista Ciência e Educação, v. 13, n. 1, p. 71-84, Bauru, 2007.

PINHEIRO, T. F., PIETROCOLA, M., ALVES FILHO, J. P. *Um exemplo de construção de uma ilha de racionalidade em torno da noção de energia*. Florianópolis: Atas do VII EPEF, 2000.

PORTO-GONÇALVES, C. W. *A globalização da natureza e a natureza da globalização*. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2006.

PRESTES, R. F., SILVA, A. M. M. *O ciclo dialético questionamento-argumentação-comunicação em uma proposta de estudo das questões energéticas na sala de aula de Física*. Curitiba: Atas do XI EPEF, 2008.

REIGOTA, M. *Meio ambiente e representação social*. São Paulo: Cortez, 1998.

RODRIGUES, A. M., MATTOS, C. R. *A relação entre contexto e perfil conceitual: um exemplo para a energia*. Florianópolis: Atas do VI ENPEC 2007.

SANTOS, W. L. P. dos e Mortimer, E. F. *Uma Análise de Pressupostos Teóricos da abordagem C-T-S (Ciência – Tecnologia – Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira*. Revista Ensaio – Pesquisa em Educação em Ciências, v. 2, n. 2, Belo Horizonte, 2002.

SANTOS, L. C. *Efeito estufa e o Ensino de Física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Física – USP, 2002.

SILVA, L. F., CARVALHO, L. M. *O ensino de Física e a temática ambiental: a produção de energia elétrica em larga escala como um tema controverso*. Londrina: atas do X EPEF, 2006.

SOUSA, P. F. F. *Energia e Desenvolvimento sustentável: Perspectivas para o Ensino de Física*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Física – USP, 2005.

SOUSA, P. F. F., KAWAMURA, M. R. D. *Desenvolvimento sustentável e ensino de Física*. Jaboticatubas: Atas do IX EPEF, 2004.

STRIEDER, R. B. *Abordagem CTS e Ensino Médio: Espaços de Articulação*. Dissertação de Mestrado. São Paulo: Instituto de Física – USP, 2008.

TAMAIIO, I. *O professor na construção do conceito de natureza*. São Paulo: Annablumme, 2002.

Anexo 1

Questões do ENEM

1. (ENEM 1998) Na figura abaixo está esquematizado um tipo de usina utilizada na geração de eletricidade.

Analisando o esquema, é possível identificar que se trata de uma usina:

- (A) hidrelétrica, porque a água corrente baixa a temperatura da turbina.
- (B) hidrelétrica, porque a usina faz uso da energia cinética da água.
- (C) termoeletrica, porque no movimento das turbinas ocorre aquecimento.
- (D) eólica, porque a turbina é movida pelo movimento da água.
- (E) nuclear, porque a energia é obtida do núcleo das moléculas de água.

2. (ENEM 1998) A eficiência de uma usina, do tipo da representada na figura da questão anterior, é da ordem de 0,9, ou seja, 90 % da energia da água no início do processo se transforma em energia elétrica. A usina Ji-Paraná, do Estado de Rondônia, tem potência instalada de 512 Milhões de Watt, e a barragem tem altura de aproximadamente 120 m. A vazão do rio Ji-Paraná, em litros de água por segundo, deve ser da ordem de:

- (A) 50
- (B) 500
- (C) 5.000
- (D) 50.000
- (E) 500.000

3. (ENEM 1998) No processo de obtenção de eletricidade, ocorrem várias transformações de energia. Considere duas delas:

- I. cinética em elétrica
- II. potencial gravitacional em cinética

Analisando o esquema, é possível identificar que elas se encontram, respectivamente, entre:

- (A) I - a água no nível h e a turbina, II - o gerador e a torre de distribuição.
- (B) I - a água no nível h e a turbina, II - a turbina e o gerador.
- (C) I - a turbina e o gerador, II - a turbina e o gerador.
- (D) I - a turbina e o gerador, II - a água no nível h e a turbina.
- (E) I - o gerador e a torre de distribuição, II - a água no nível h e a turbina.

(ENEM 1999) O diagrama abaixo representa a energia solar que atinge a Terra e sua utilização na geração de eletricidade. A energia solar é responsável pela manutenção do ciclo da água, pela movimentação do ar, e pelo ciclo do carbono que ocorre através da fotossíntese dos vegetais, da decomposição e da respiração dos seres vivos, além da formação de combustíveis fósseis.

4. De acordo com o diagrama, a humanidade aproveita, na forma de energia elétrica, uma fração da energia recebida como radiação solar, correspondente a:

- (A) 4×10^{-9}
- (B) $2,5 \times 10^{-6}$
- (C) 4×10^{-4}
- (D) $2,5 \times 10^{-3}$
- (E) 4×10^{-2}

5. De acordo com este diagrama, uma das modalidades de produção de energia elétrica envolve combustíveis fósseis. A modalidade de produção, o combustível e a escala de tempo típica associada à formação desse combustível são, respectivamente,

(A) hidroelétricas	- chuvas	- um dia
(B) hidroelétricas	- aquecimento do solo	- um mês
(C) termoeleétricas	- petróleo	- 200 anos
(D) termoeleétricas	- aquecimento do solo	- 1 milhão de anos
(E) termoeleétricas	- petróleo	- 500 milhões de anos

6. No diagrama estão representadas as duas modalidades mais comuns de usinas elétricas, as hidroelétricas e as termoeleétricas. No Brasil, a construção de usinas hidroelétricas deve ser incentivada porque essas

- I. utilizam fontes renováveis, o que não ocorre com as termoeleétricas que utilizam fontes que necessitam de bilhões de anos para serem reabastecidas.
- II. apresentam impacto ambiental nulo, pelo represamento das águas no curso normal dos rios.
- III. aumentam o índice pluviométrico da região de seca do Nordeste, pelo represamento de águas.

Das três afirmações acima, somente

- (A) I está correta.
- (B) II está correta.
- (C) III está correta.
- (D) I e II estão corretas.
- (E) II e III estão corretas.

7. (ENEM 1999) A tabela a seguir apresenta alguns exemplos de processos, fenômenos ou objetos em que ocorrem transformações de energia. Nessa tabela, aparecem as direções de transformação de energia. Por exemplo, o termopar é um dispositivo onde energia térmica se transforma em energia elétrica.

De Em	Elétrica	Química	Mecânica	Térmica
Elétrica	Transformador			Termopar
Química				Reações endotérmicas
Mecânica		Dinamite	Pêndulo	
Térmica				Fusão

Dentre os processos indicados na tabela, ocorre conservação de energia

- (A) em todos os processos.
- (B) somente nos processos que envolvem transformações de energia sem dissipação de calor.
- (C) somente nos processos que envolvem transformações de energia mecânica.
- (D) somente nos processos que não envolvem energia química.
- (E) somente nos processos que não envolvem nem energia química nem energia térmica.

8. (ENEM 2000) A energia térmica liberada em processos de fissão nuclear pode ser utilizada na geração de vapor para produzir energia mecânica que, por sua vez, será convertida em energia elétrica. Abaixo está representado um esquema básico de uma usina de energia nuclear.

A partir do esquema são feitas as seguintes afirmações:

- I. a energia liberada na reação é usada para ferver a água que, como vapor a alta pressão, aciona a turbina.
- II. a turbina, que adquire uma energia cinética de rotação, é acoplada mecanicamente ao gerador para produção de energia elétrica.
- III. a água depois de passar pela turbina é pré-aquecida no condensador e bombeada de volta ao reator.

Dentre as afirmações acima, somente está(ão) correta(s):

- (A) I.
- (B) II.
- (C) III.
- (D) I e II.
- (E) II e III.

(ENEM 2001) A distribuição média, por tipo de equipamento, do consumo de energia elétrica nas residências no Brasil é apresentada no gráfico.

9. Em associação com os dados do gráfico, considere as variáveis:

- I. Potência do equipamento.
- II. Horas de funcionamento.
- III. Número de equipamentos.

O valor das frações percentuais do consumo de energia depende de

- (A) I, apenas.
- (B) II, apenas.
- (C) I e II, apenas.
- (D) II e III, apenas.
- (E) I, II e III.

10. Como medida de economia, em uma residência com 4 moradores, o consumo mensal médio de energia elétrica foi reduzido para 300 kWh. Se essa residência obedece à distribuição dada no gráfico, e se nela há um único chuveiro de 5000 W, pode-se concluir que o banho diário de cada morador passou a ter uma duração média, em minutos, de

- (A) 2,5
- (B) 5,0.
- (C) 7,5.
- (D) 10,0.
- (E) 12,0.

11. (ENEM 2001) O consumo total de energia nas residências brasileiras envolve diversas fontes, como eletricidade, gás de cozinha, lenha, etc. O gráfico mostra a evolução do consumo de energia elétrica residencial, comparada com o consumo total de energia residencial, de 1970 a 1995.

*tep = toneladas equivalentes de petróleo

Fonte: valores calculados através dos dados obtidos de: <http://infoener.iee.usp.br/1999>.

Verifica-se que a participação percentual da energia elétrica no total de energia gasto nas residências brasileiras cresceu entre 1970 e 1995, passando, aproximadamente, de

- (A) 10 % para 40 %.
- (B) 10 % para 60 %.
- (C) 20 % para 60 %.
- (D) 25 % para 35 %.
- (E) 40 % para 80 %.

12. (ENEM 2002) Na comparação entre diferentes processos de geração de energia, devem ser considerados aspectos econômicos, sociais e ambientais. Um fator economicamente relevante nessa comparação é a eficiência do processo. Eis um exemplo: a utilização do gás natural como fonte de aquecimento pode ser feita pela simples queima num fogão (uso direto), ou pela produção de eletricidade em uma termoeletrica e uso de aquecimento elétrico (uso

indireto). Os rendimentos correspondentes a cada etapa de dois desses processos estão indicados entre parênteses no esquema.

Na comparação das eficiências, em termos globais, entre esses dois processos (direto e indireto), verifica-se que

- (A) a menor eficiência de P2 deve-se, sobretudo, ao baixo rendimento da termoeletrica.
- (B) a menor eficiência de P2 deve-se, sobretudo, ao baixo rendimento na distribuição.
- (C) a maior eficiência de P2 deve-se ao alto rendimento do aquecedor elétrico.
- (D) a menor eficiência de P1 deve-se, sobretudo, ao baixo rendimento da fornalha.
- (E) a menor eficiência de P1 deve-se, sobretudo, ao alto rendimento de sua distribuição.

13. (ENEM 2002) Os números e cifras envolvidos, quando lidamos com dados sobre produção e consumo de energia em nosso país, são sempre muito grandes. Apenas no setor residencial, em um único dia, o consumo de energia elétrica é da ordem de 200 mil MWh. Para avaliar esse consumo, imagine uma situação em que o Brasil não dispusesse de hidrelétricas e tivesse de depender somente de termoeletricas, onde cada kg de carvão, ao ser queimado, permite obter uma quantidade de energia da ordem de 10 kWh. Considerando que um caminhão transporta, em média, 10 toneladas de carvão, a quantidade de caminhões de carvão necessária para abastecer as termoeletricas, a cada dia, seria da ordem de

- (A) 20 (B) 200 (C) 1.000 (D) 2.000 (E) 10.000

14. (ENEM 2002) Segundo matéria publicada em um jornal brasileiro, Todo o lixo (orgânico) produzido pelo Brasil hoje cerca de 20 milhões de toneladas por ano seria capaz de aumentar em 15 % a oferta de energia elétrica. Isso representa a metade da energia produzida pela hidrelétrica de Itaipu. O segredo está na celulignina, combustível sólido gerado a partir de um processo químico a que são submetidos os resíduos orgânicos.

O Estado de São Paulo, 01/01/2001.

Independentemente da viabilidade econômica desse processo, ainda em fase de pesquisa, na produção de energia pela técnica citada nessa matéria, a celulignina faria o mesmo papel

- (A) do gás natural em uma usina termoeletrica.
- (B) do vapor d'água em uma usina termoeletrica.
- (C) da queda d'água em uma usina hidrelétrica.
- (D) das pás das turbinas em uma usina eólica.
- (E) do reator nuclear em uma usina termonuclear.

15. (ENEM 2002) Entre as inúmeras recomendações dadas para a economia de energia elétrica em uma residência, destacamos as seguintes:

- Substitua lâmpadas incandescentes por fluorescentes compactas.
- Evite usar o chuveiro elétrico com a chave na posição inverno ou quente
- Acumule uma quantidade de roupa para ser passada a ferro elétrico de uma só vez.
- Evite o uso de tomadas múltiplas para ligar vários aparelhos simultaneamente.
- Utilize, na instalação elétrica, fios de diâmetros recomendados às suas finalidades.

A característica comum a todas essas recomendações é a proposta de economizar energia através da tentativa de, no dia-a-dia, reduzir

- (A) a potência dos aparelhos e dispositivos elétricos.
- (B) o tempo de utilização dos aparelhos e dispositivos.
- (C) o consumo de energia elétrica convertida em energia térmica.

- (D) o consumo de energia térmica convertida em energia elétrica.
 (E) o consumo de energia elétrica através de correntes de fuga.

16. (ENEM 2002) O diagrama mostra a utilização das diferentes fontes de energia no cenário mundial. Embora aproximadamente um terço de toda energia primária seja orientada à produção de eletricidade, apenas 10 % do total são obtidos em forma de energia elétrica útil.

A pouca eficiência do processo de produção de eletricidade deve-se, sobretudo, ao fato de as usinas

- (A) nucleares utilizarem processos de aquecimento, nos quais as temperaturas atingem milhões de graus Celsius, favorecendo perdas por fissão nuclear.
 (B) termelétricas utilizarem processos de aquecimento a baixas temperaturas, apenas da ordem de centenas de graus Celsius, o que impede a queima total dos combustíveis fósseis.
 (C) hidrelétricas terem o aproveitamento energético baixo, uma vez que parte da água em queda não atinge as pás das turbinas que acionam os geradores elétricos.
 (D) nucleares e termelétricas utilizarem processos de transformação de calor em trabalho útil, no qual as perdas de calor são sempre bastante elevadas.
 (E) termelétricas e hidrelétricas serem capazes de utilizar diretamente o calor obtido do combustível para aquecer a água, sem perda para o meio.

17. (ENEM 2002) Em usinas hidrelétricas, a queda d'água move turbinas que acionam geradores. Em usinas eólicas, os geradores são acionados por hélices movidas pelo vento. Na conversão direta solar – elétrica são células fotovoltaicas que produzem tensão elétrica. Além de todos produzirem eletricidade, esses processos têm em comum o fato de

- (A) não provocarem impacto ambiental.
 (B) dependerem de condições climáticas.
 (C) a energia gerada poder ser armazenada.
 (D) utilizarem fontes de energia renováveis.
 (E) dependerem das reservas de combustíveis fósseis.

18. (ENEM 2003)

“Águas de março definem se falta luz este ano”.

Esse foi o título de uma reportagem em jornal de circulação nacional, pouco antes do início do racionamento do consumo de energia elétrica, em 2001.

No Brasil, a relação entre a produção de eletricidade e a utilização de recursos hídricos, estabelecida nessa manchete, se justifica porque

- (A) a geração de eletricidade nas usinas hidrelétricas exige a manutenção de um dado fluxo de água nas barragens.
 (B) o sistema de tratamento da água e sua distribuição consomem grande quantidade de energia elétrica.

- (C) a geração de eletricidade nas usinas termelétricas utiliza grande volume de água para refrigeração.
- (D) o consumo de água e de energia elétrica utilizadas na indústria compete com o da agricultura.
- (E) é grande o uso de chuveiros elétricos, cuja operação implica abundante consumo de água.

19. (ENEM 2003) Na música "Bye, bye, Brasil", de Chico Buarque de Holanda e Roberto Menescal, os versos

"puseram uma usina no mar
talvez fique ruim pra pescar"

poderiam estar se referindo à usina nuclear de Angra dos Reis, no litoral do Estado do Rio de Janeiro. No caso de tratar-se dessa usina, em funcionamento normal, dificuldades para a pesca nas proximidades poderiam ser causadas

- (A) pelo aquecimento das águas, utilizadas para refrigeração da usina, que alteraria a fauna marinha.
- (B) pela oxidação de equipamentos pesados e por detonações que espantariam os peixes.
- (C) pelos rejeitos radioativos lançados continuamente no mar, que provocariam a morte dos peixes.
- (D) pela contaminação por metais pesados dos processos de enriquecimento do urânio.
- (E) pelo vazamento de lixo atômico colocado em tonéis e lançado ao mar nas vizinhanças da usina.

20. (ENEM 2003) A eficiência do fogão de cozinha pode ser analisada em relação ao tipo de energia que ele utiliza. O gráfico abaixo mostra a eficiência de diferentes tipos de fogão.

Pode-se verificar que a eficiência dos fogões aumenta

- (A) à medida que diminui o custo dos combustíveis.
- (B) à medida que passam a empregar combustíveis renováveis.
- (C) cerca de duas vezes, quando se substitui fogão a lenha por fogão a gás.
- (D) Cerca de duas vezes, quando se substitui fogão a gás por fogão elétrico.
- (E) quando são utilizados combustíveis sólidos.

21. (ENEM 2003) O setor de transporte, que concentra uma grande parcela da demanda de energia no país, continuamente busca alternativas de combustíveis. Investigando alternativas ao óleo diesel, alguns especialistas apontam para o uso do óleo de girassol, menos poluente e de fonte renovável, ainda em fase experimental. Foi constatado que um trator pode rodar, nas mesmas condições, mais tempo com um litro de óleo de girassol, que com um litro de óleo diesel.

Essa constatação significaria, portanto, que usando óleo de girassol,

- (A) o consumo por km seria maior do que com óleo diesel.
- (B) as velocidades atingidas seriam maiores do que com óleo diesel.
- (C) o combustível do tanque acabaria em menos tempo do que com óleo diesel.
- (D) a potência desenvolvida, pelo motor, em uma hora, seria menor do que com óleo diesel.
- (E) a energia liberada por um litro desse combustível seria maior do que por um de óleo diesel.

22. (ENEM 2003) No Brasil, o sistema de transporte depende do uso de combustíveis fósseis e de biomassa, cuja energia é convertida em movimento de veículos. Para esses combustíveis, a transformação de energia química em energia mecânica acontece

- (A) na combustão, que gera gases quentes para mover os pistões no motor.
- (B) nos eixos, que transferem torque às rodas e impulsionam o veículo.
- (C) na ignição, quando a energia elétrica é convertida em trabalho.
- (D) na exaustão, quando gases quentes são expelidos para trás.
- (E) na carburação, com a difusão do combustível no ar.

23. (ENEM 2003) Nos últimos anos, o gás natural (GNV: gás natural veicular) vem sendo utilizado pela frota de veículos nacional, por ser viável economicamente e menos agressivo do ponto de vista ambiental. O quadro compara algumas características do gás natural e da gasolina em condições ambiente.

	Densidade (kg /m ³)	Poder Calorífico (kJ /kg)
GNV	0,8	50.200
Gasolina	738	46.900

Apesar das vantagens no uso de GNV, sua utilização implica algumas adaptações técnicas, pois, em condições ambiente, o volume de combustível necessário, em relação ao de gasolina, para produzir a mesma energia, seria

- (A) muito maior, o que requer um motor muito mais potente.
- (B) muito maior, o que requer que ele seja armazenado a alta pressão.
- (C) igual, mas sua potência será muito menor.
- (D) muito menor, o que o torna o veículo menos eficiente.
- (E) muito menor, o que facilita sua dispersão para a atmosfera.

24. (ENEM 2003) Em um debate sobre o futuro do setor de transporte de uma grande cidade brasileira com trânsito intenso, foi apresentado um conjunto de propostas. Entre as propostas reproduzidas abaixo, aquela que atende, ao mesmo tempo, a implicações sociais e ambientais presentes nesse setor é

- (A) proibir o uso de combustíveis produzidos a partir de recursos naturais.
- (B) promover a substituição de veículos a diesel por veículos a gasolina.
- (C) incentivar a substituição do transporte individual por transportes coletivos.
- (D) aumentar a importação de diesel para substituir os veículos a álcool.
- (E) diminuir o uso de combustíveis voláteis devido ao perigo que representam.

25. (ENEM 2003) Do ponto de vista ambiental, uma distinção importante que se faz entre os combustíveis é serem provenientes ou não de fontes renováveis. No caso dos derivados de petróleo e do álcool de cana, essa distinção se caracteriza

- (A) pela diferença nas escalas de tempo de formação das fontes, período geológico no caso do petróleo e anual no da cana.
- (B) pelo maior ou menor tempo para se reciclar o combustível utilizado, tempo muito maior no caso do álcool.
- (C) pelo maior ou menor tempo para se reciclar o combustível utilizado, tempo muito maior no caso dos derivados do petróleo.
- (D) pelo tempo de combustão de uma mesma quantidade de combustível, tempo muito maior para os derivados do petróleo do que do álcool.
- (E) pelo tempo de produção de combustível, pois o refino do petróleo leva dez vezes mais tempo do que a destilação do fermento de cana.

26. (ENEM 2004) Os sistemas de cogeração representam uma prática de utilização racional de combustíveis e de produção de energia. Isto já se pratica em algumas indústrias de açúcar e de álcool, nas quais se aproveita o bagaço da cana, um de seus subprodutos, para produção de energia. Esse processo está ilustrado no esquema abaixo.

Entre os argumentos favoráveis a esse sistema de cogeração pode-se destacar que ele

- (A) otimiza o aproveitamento energético, ao usar queima do bagaço nos processos térmicos da usina e na geração de eletricidade.
- (B) aumenta a produção de álcool e de açúcar, ao usar o bagaço como insumo suplementar.
- (C) economiza na compra da cana-de-açúcar, já que o bagaço também pode ser transformado em álcool.
- (D) aumenta a produtividade, ao fazer uso do álcool para a geração de calor na própria usina.
- (E) reduz o uso de máquinas e equipamentos na produção de açúcar e álcool, por não manipular o bagaço da cana.

27. (ENEM 2004) O debate em torno do uso da energia nuclear para produção de eletricidade permanece atual. Em um encontro internacional para a discussão desse tema, foram colocados os seguintes argumentos:

- I. Uma grande vantagem das usinas nucleares é o fato de não contribuírem para o aumento do efeito estufa, uma vez que o urânio, utilizado como “combustível”, não é queimado mas sofre fissão.
- II. Ainda que sejam raros os acidentes com usinas nucleares, seus efeitos podem ser tão graves que essa alternativa de geração de eletricidade não nos permite ficar tranquilos.

A respeito desses argumentos, pode-se afirmar que

- (A) o primeiro é válido e o segundo não é, já que nunca ocorreram acidentes com usinas nucleares.
- (B) o segundo é válido e o primeiro não é, pois de fato há queima de combustível na geração nuclear de eletricidade.
- (C) o segundo é válido e o primeiro é irrelevante, pois nenhuma forma de gerar eletricidade produz gases do efeito estufa.
- (D) ambos são válidos para se compararem vantagens e riscos na opção por essa forma de geração de energia.
- (E) ambos são irrelevantes, pois a opção pela energia nuclear está-se tornando uma necessidade inquestionável.

28. (ENEM 2004) Entre outubro e fevereiro, a cada ano, em alguns estados das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste, os relógios permanecem adiantados em uma hora, passando a vigorar o chamado horário de verão. Essa medida, que se repete todos os anos, visa

- (A) promover a economia de energia, permitindo um melhor aproveitamento do período de iluminação natural do dia, que é maior nessa época do ano.
- (B) diminuir o consumo de energia em todas as horas do dia, propiciando uma melhor distribuição da demanda entre o período da manhã e da tarde.
- (C) adequar o sistema de abastecimento das barragens hidrelétricas ao regime de chuvas, abundantes nessa época do ano nas regiões que adotam esse horário.
- (D) incentivar o turismo, permitindo um melhor aproveitamento do período da tarde, horário em que os bares e restaurantes são mais freqüentados.
- (E) responder a uma exigência das indústrias, possibilitando que elas realizem um melhor escalonamento das férias de seus funcionários.

29. (ENEM 2005) Observe a situação descrita na tirinha abaixo.

(Francisco Caruso & Luisa Daou, *Tirinhas de Física*, vol. 2, CBPF, Rio de Janeiro, 2000.)

Assim que o menino lança a flecha, há transformação de um tipo de energia em outra. A transformação, nesse caso, é de energia

- (A) potencial elástica em energia gravitacional.
- (B) gravitacional em energia potencial.
- (C) potencial elástica em energia cinética.
- (D) cinética em energia potencial elástica.
- (E) gravitacional em energia cinética.

30. (ENEM 2005) Podemos estimar o consumo de energia elétrica de uma casa considerando as principais fontes desse consumo. Pense na situação em que apenas os aparelhos que constam da tabela abaixo fossem utilizados diariamente da mesma forma.

Tabela: A tabela fornece a potência e o tempo efetivo de uso diário de cada aparelho doméstico.

Aparelho	Potência (KW)	Tempo de uso diário (horas)
Ar condicionado	1,5	8
Chuveiro elétrico	3,3	1/3
Freezer	0,2	10
Geladeira	0,35	10
Lâmpadas	0,10	6

Supondo que o mês tenha 30 dias e que o custo de 1 KWh é de R\$ 0,40, o consumo de energia elétrica mensal dessa casa, é de aproximadamente

- (A) R\$ 135.
- (B) R\$ 165.
- (C) R\$ 190.
- (D) R\$ 210.
- (E) R\$ 230.

31. (ENEM 2006) A figura abaixo ilustra uma gangorra de brinquedo feita com uma vela. A vela é acesa nas duas extremidades e, inicialmente, deixa-se uma das extremidades mais baixa que a outra. A combustão da parafina da extremidade mais baixa provoca a fusão. A parafina da extremidade mais baixa da vela pinga mais rapidamente que na outra extremidade. O pingar da parafina fundida resulta na diminuição da massa da vela na extremidade mais baixa, o que ocasiona a inversão das posições. Assim, enquanto a vela queima, oscilam as duas extremidades.

Nesse brinquedo, observa-se a seguinte seqüência de transformações de energia:

- (A) energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional → energia cinética
 (B) energia potencial gravitacional → energia elástica → energia cinética
 (C) energia cinética → energia resultante de processo químico → energia potencial gravitacional
 (D) energia mecânica → energia luminosa → energia potencial gravitacional
 (E) energia resultante do processo químico → energia luminosa → energia cinética

32. (ENEM 2007)

Istoé, n.º 1.864, set./2005, p. 69 (com adaptações).

Com o projeto de mochila ilustrado acima, pretende-se aproveitar, na geração de energia elétrica para acionar dispositivos eletrônicos portáteis, parte da energia desperdiçada no ato de caminhar. As transformações de energia envolvidas na produção de eletricidade enquanto uma pessoa caminha com essa mochila podem ser assim esquematizadas:

As energias I e II, representadas no esquema acima, podem ser identificadas, respectivamente, como

- (A) cinética e elétrica.
 (B) térmica e cinética.
 (C) térmica e elétrica.
 (D) sonora e térmica.
 (E) radiante e elétrica.

33. (ENEM 2007) Qual das seguintes fontes de produção de energia é a mais recomendável para a diminuição dos gases causadores do aquecimento global?

- (A) Óleo diesel.
 (B) Gasolina.
 (C) Carvão mineral.
 (D) Gás natural.
 (E) Vento.

(ENEM 2008) Diagrama para as questões 34 e 35

O diagrama abaixo representa, de forma esquemática e simplificada, a distribuição da energia proveniente do Sol sobre a atmosfera e a superfície terrestre. Na área delimitada pela linha tracejada, são destacados alguns processos envolvidos no fluxo de energia na atmosfera.

Raymond A. Serway e John W. Jewett. **Princípios de Física**, v. 2, fig. 18.12 (com adaptações).

34. Com base no diagrama acima, conclui-se que

- (A) a maior parte da radiação incidente sobre o planeta fica retida na atmosfera.
- (B) a quantidade de energia refletida pelo ar, pelas nuvens e pelo solo é superior à absorvida pela superfície.
- (C) a atmosfera absorve 70% da radiação solar incidente sobre a Terra.
- (D) mais da metade da radiação solar que é absorvida diretamente pelo solo é devolvida para a atmosfera.
- (E) a quantidade de radiação emitida para o espaço pela atmosfera é menor que a irradiada para o espaço pela superfície.

35. A chuva é o fenômeno natural responsável pela manutenção dos níveis adequados de água dos reservatórios das usinas hidrelétricas. Esse fenômeno, assim como todo o ciclo hidrológico, depende muito da energia solar. Dos processos numerados no diagrama, aquele que se relaciona mais diretamente com o nível dos reservatórios de usinas hidrelétricas é o de número

- (A) I. (B) II. (C) III. (D) IV. (E) V.

36. (ENEM 2008) “A energia geotérmica tem sua origem no núcleo derretido da Terra, onde as temperaturas atingem 4.000 °C. Essa energia é primeiramente produzida pela decomposição de materiais radiativos dentro do planeta. Em fontes geotérmicas, a água, aprisionada em um reservatório subterrâneo, é aquecida pelas rochas ao redor e fica submetida a altas pressões, podendo atingir temperaturas de até 370 °C sem entrar em ebulição. Ao ser liberada na superfície, à pressão ambiente, ela se vaporiza e se resfria, formando fontes ou gêiseres. O vapor de poços geotérmicos é separado da água e é utilizado no funcionamento de turbinas para gerar eletricidade. A água quente pode ser utilizada para aquecimento direto ou em usinas de dessalinização”.

Roger A. Hinrichs e Merlin Kleinbach. *Energia em meio ambiente*. Ed. ABDR (com adaptações).

Depreende-se das informações acima que as usinas geotérmicas

- (A) utilizam a mesma fonte primária de energia que as usinas nucleares, sendo, portanto, semelhantes os riscos decorrentes de ambas.
- (B) funcionam com base na conversão de energia potencial gravitacional em energia térmica.
- (C) podem aproveitar a energia química transformada em térmica no processo de dessalinização.
- (D) assemelham-se às usinas nucleares no que diz respeito à conversão de energia térmica em cinética e, depois, em elétrica.
- (E) transformam inicialmente a energia solar em energia cinética e, depois, em energia térmica.

37. (ENEM 2008) A Lei Federal n.º 11.097/2005 dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira e fixa em 5 %, em volume, o percentual mínimo obrigatório a ser adicionado ao óleo diesel vendido ao consumidor. De acordo com essa lei, biocombustível é “derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão ou, conforme regulamento, para geração de outro tipo de energia, que possa substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil”. A introdução de biocombustíveis na matriz energética brasileira

- (A) colabora na redução dos efeitos da degradação ambiental global produzida pelo uso de combustíveis fósseis, como os derivados do petróleo.
- (B) provoca uma redução de 5 % na quantidade de carbono emitido pelos veículos automotores e colabora no controle do desmatamento.
- (C) incentiva o setor econômico brasileiro a se adaptar ao uso de uma fonte de energia derivada de uma biomassa inesgotável.
- (D) aponta para pequena possibilidade de expansão do uso de biocombustíveis, fixado, por lei, em 5 % do consumo de derivados do petróleo.
- (E) diversifica o uso de fontes alternativas de energia que reduzem os impactos da produção do etanol por meio da monocultura da cana-de-açúcar.

38. (ENEM 2008) Uma fonte de energia que não agride o ambiente, é totalmente segura e usa um tipo de matéria-prima infinita é a energia eólica, que gera eletricidade a partir da força dos ventos. O Brasil é um país privilegiado por ter o tipo de ventilação necessária para produzi-la. Todavia, ela é a menos usada na matriz energética brasileira. O Ministério de Minas e Energia estima que as turbinas eólicas produzam apenas 0,25 % da energia consumida no país. Isso ocorre porque ela compete com uma usina mais barata e eficiente: a hidrelétrica, que responde por 80 % da energia do Brasil. O investimento para se construir uma hidrelétrica é de aproximadamente US\$ 100 por quilowatt. Os parques eólicos exigem investimento de cerca de US\$ 2 mil por quilowatt e a construção de uma usina nuclear, de aproximadamente US\$ 6 mil por quilowatt. Instalados os parques, a energia dos ventos é bastante competitiva, custando R\$ 200,00 por megawatt-hora frente a R\$ 150,00 por megawatt-hora das hidrelétricas e a R\$ 600,00 por megawatt-hora das termelétricas

Época. 21/4/2008 (com adaptações).

De acordo com o texto, entre as razões que contribuem para a menor participação da energia eólica na matriz energética brasileira, inclui-se o fato de

- (A) haver, no país, baixa disponibilidade de ventos que podem gerar energia elétrica.
- (B) o investimento por quilowatt exigido para a construção de parques eólicos ser de aproximadamente 20 vezes o necessário para a construção de hidrelétricas.
- (C) o investimento por quilowatt exigido para a construção de parques eólicos ser igual a 1/3 do necessário para a construção de usinas nucleares.
- (D) o custo médio por megawatt-hora de energia obtida após instalação de parques eólicos ser igual a 1,2 multiplicado pelo custo médio do megawatt-hora obtido das hidrelétricas.
- (E) o custo médio por megawatt-hora de energia obtida após instalação de parques eólicos ser igual a 1/3 do custo médio do megawatt-hora obtido das termelétricas.

39. (ENEM 2008) O gráfico a seguir ilustra a evolução do consumo de eletricidade no Brasil, em GWh, em quatro setores de consumo, no período de 1975 a 2005.

A racionalização do uso da eletricidade faz parte dos programas oficiais do governo brasileiro desde 1980. No entanto, houve um período crítico, conhecido como “apagão”, que exigiu mudanças de hábitos da população brasileira e resultou na maior, mais rápida e significativa economia de energia. De acordo com o gráfico, conclui-se que o “apagão” ocorreu no biênio

- (A) 1998-1999.
- (B) 1999-2000.
- (C) 2000-2001.
- (D) 2001-2002.
- (E) 2002-2003.

40. (ENEM 2009) A economia moderna depende da disponibilidade de muita energia em diferentes formas, para funcionar e crescer. No Brasil, o consumo total de energia pelas indústrias cresceu mais de quatro vezes no período entre 1970 e 2005. Enquanto os investimentos em energias limpas e renováveis, como solar e eólica, ainda são incipientes, ao se avaliar a possibilidade de instalação de usinas geradoras de energia elétrica, diversos fatores devem ser levados em consideração, tais como os impactos causados ao ambiente e às populações locais.

RICARDO, B.; CAMPANILI, M. Almanaque Brasil Socioambiental. São Paulo: Instituto Socioambiental, 2007 (adaptado).

Em uma situação hipotética, optou-se por construir uma usina hidrelétrica em região que abrange diversas quedas d’água em rios cercados por mata, alegando-se que causaria impacto ambiental muito menor que uma usina termelétrica. Entre os possíveis impactos da instalação de uma usina hidrelétrica nessa região, inclui-se

- (A) a poluição da água por metais da usina.
- (B) a destruição do habitat de animais terrestres.
- (C) o aumento expressivo na liberação de CO₂ para a atmosfera.
- (D) o consumo não renovável de toda água que passa pelas turbinas.
- (E) o aprofundamento no leito do rio, com a menor deposição de resíduos no trecho de rio anterior à represa.

41. (ENEM 2009) A fotossíntese é importante para a vida na Terra. Nos cloroplastos dos organismos fotossintetizantes, a energia solar é convertida em energia química que, juntamente com água e gás carbônico (CO₂), é utilizada para a síntese de compostos orgânicos (carboidratos). A fotossíntese é o único processo de importância biológica capaz de realizar essa conversão. Todos os organismos, incluindo os produtores, aproveitam a energia armazenada nos carboidratos para impulsionar os processos celulares, liberando CO₂ para a atmosfera e água para a célula por meio da respiração celular. Além disso, grande fração dos recursos energéticos do planeta, produzidos tanto no presente (biomassa) como em tempos remotos (combustível fóssil), é resultante da atividade fotossintética.

As informações sobre obtenção e transformação dos recursos naturais por meio dos processos vitais de fotossíntese e respiração, descritas no texto, permitem concluir que

- (A) o CO_2 e a água são moléculas de alto teor energético.
 (B) os carboidratos convertem energia solar em energia química.
 (C) a vida na Terra depende, em última análise, da energia proveniente do Sol.
 (D) o processo respiratório é responsável pela retirada de carbono da atmosfera.
 (E) a produção de biomassa e de combustível fóssil, por si, é responsável pelo aumento de CO_2 atmosférico.

42. (ENEM 2009) A eficiência de um processo de conversão de energia é definida como a razão entre a produção de energia ou trabalho útil e o total de entrada de energia no processo. A figura mostra um processo com diversas etapas. Nesse caso, a eficiência geral será igual ao produto das eficiências das etapas individuais. A entrada de energia que não se transforma em trabalho útil é perdida sob formas não utilizáveis (como resíduos de calor).

HINRICHS, R. A. *Energia e Meio Ambiente*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado).

Aumentar a eficiência dos processos de conversão de energia implica economizar recursos e combustíveis. Das propostas seguintes, qual resultará em maior aumento da eficiência geral do processo?

- (A) Aumentar a quantidade de combustível para queima na usina de força.
 (B) Utilizar lâmpadas incandescentes, que geram pouco calor e muita luminosidade.
 (C) Manter o menor número possível de aparelhos elétricos em funcionamento nas moradias.
 (D) Utilizar cabos com menor diâmetro nas linhas de transmissão a fim de economizar o material condutor.
 (E) Utilizar materiais com melhores propriedades condutoras nas linhas de transmissão e lâmpadas fluorescentes nas moradias.

43. (ENEM 2009) A instalação elétrica de uma casa envolve várias etapas, desde a alocação dos dispositivos, instrumentos e aparelhos elétricos, até a escolha dos materiais que a compõem, passando pelo dimensionamento da potência requerida, da fiação necessária, dos eletrodutos*, entre outras. Para cada aparelho elétrico existe um valor de potência associado. Valores típicos de potências para alguns aparelhos elétricos são apresentados no quadro seguinte:

Aparelhos	Potência (W)
Aparelho de som	120
Chuveiro elétrico	3.000
Ferro elétrico	500
Televisor	200
Geladeira	200
Rádio	50

*Eletrodutos são condutos por onde passa a fiação de uma instalação elétrica, com a finalidade de protegê-la.

A escolha das lâmpadas é essencial para obtenção de uma boa iluminação. A potência da lâmpada deverá estar de acordo com o tamanho do cômodo a ser iluminado. O quadro a seguir mostra a relação entre as áreas dos cômodos (em m²) e as potências das lâmpadas (em W), e foi utilizado como referência para o primeiro pavimento de uma residência.

Área do Cômodo (m ²)	Potência da Lâmpada (W)		
	Sala/copa /cozinha	Quarto, varanda e corredor	Banheiro
Até 6,0	60	60	60
6,0 a 7,5	100	100	60
7,5 a 10,5	100	100	100

Obs.: Para efeitos dos cálculos das áreas, as paredes são desconsideradas.
 Considerando a planta baixa fornecida, com todos os aparelhos em funcionamento, a potência total, em watts, será de

- (A) 4.070.

(B) 4.270.

(C) 4.320.

(D) 4.390.

(E) 4.470.
44. (ENEM 2009) O esquema mostra um diagrama de bloco de uma estação geradora de eletricidade abastecida por combustível fóssil.

HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M. **Energia e meio ambiente**.
 São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2003 (adaptado).

Se fosse necessário melhorar o rendimento dessa usina, que forneceria eletricidade para abastecer uma cidade, qual das seguintes ações poderia resultar em alguma economia de energia, sem afetar a capacidade de geração da usina?

- (A) Reduzir a quantidade de combustível fornecido à usina para ser queimado.
- (B) Reduzir o volume de água do lago que circula no condensador de vapor.
- (C) Reduzir o tamanho da bomba usada para devolver a água líquida à caldeira.
- (D) Melhorar a capacidade dos dutos com vapor conduzirem calor para o ambiente.
- (E) Usar o calor liberado com os gases pela chaminé para mover um outro gerador.

45. (ENEM 2009) É possível, com 1 litro de gasolina, usando todo o calor produzido por sua combustão direta, aquecer 200 litros de água de 20 °C a 55 °C. Pode-se efetuar esse mesmo aquecimento por um gerador de eletricidade, que consome 1 litro de gasolina por hora e fornece 110 V a um resistor de 11 Ω , imerso na água, durante um certo intervalo de tempo. Todo o calor liberado pelo resistor é transferido à água. Considerando que o calor específico da água é igual a 4,19 J g⁻¹ °C⁻¹, aproximadamente qual a quantidade de gasolina consumida para o aquecimento de água obtido pelo gerador, quando comparado ao obtido a partir da combustão?

- (A) A quantidade de gasolina consumida é igual para os dois casos.
- (B) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é duas vezes maior que a consumida na combustão.
- (C) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é duas vezes menor que a consumida na combustão.
- (D) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é sete vezes maior que a consumida na combustão.
- (E) A quantidade de gasolina consumida pelo gerador é sete vezes menor que a consumida na combustão.

46. (ENEM 2010) A usina hidrelétrica de Belo Monte será construída no rio Xingu, no município de Vitória de Xingu, no Pará. A usina será a terceira maior do mundo e a maior totalmente brasileira, com capacidade de 11,2 mil megawatts. Os índios do Xingu tomam a paisagem com seus cocares, arcos e flechas. Em Altamira, no Pará, agricultores fecharam estradas de uma região que será inundada pelas águas da usina.

BACOCINA, D.; QUEIROZ, G.; BORGES, R. Fim do leilão, começo da confusão. Istoé Dinheiro. Ano 13, n.º 655, 28 abr. 2010 (adaptado).

Os impasses, resistências e desafios associados à construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte estão relacionados

- (A) ao potencial hidrelétrico dos rios no norte e nordeste quando comparados às bacias hidrográficas das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país.
- (B) à necessidade de equilibrar e compatibilizar o investimento no crescimento do país com os esforços para a conservação ambiental.
- (C) à grande quantidade de recursos disponíveis para as obras e à escassez dos recursos direcionados para o pagamento pela desapropriação das terras.
- (D) ao direito histórico dos indígenas à posse dessas terras e à ausência de reconhecimento desse direito por parte das empreiteiras.
- (E) ao aproveitamento da mão de obra especializada disponível na região Norte e o interesse das construtoras na vinda de profissionais do Sudeste do país.

47. (ENEM 2010)

ZIEGLER, M.F. Energia Sustentável. *Revista IstoÉ*. 28 abr. 2010.

A fonte de energia representada na figura, considerada uma das mais limpas e sustentáveis do mundo, é extraída do calor gerado

- (A) pela circulação do magma no subsolo.
- (B) pelas erupções constantes dos vulcões.
- (C) pelo sol que aquece as águas com radiação ultravioleta.
- (D) pela queima do carvão e combustíveis fósseis.
- (E) pelos detritos e cinzas vulcânicas.

48. (ENEM 2010) O crescimento da produção de energia elétrica ao longo do tempo tem influenciado decisivamente o progresso da humanidade, mas também tem criado uma séria preocupação: o prejuízo ao meio ambiente. Nos próximos anos, uma nova tecnologia de geração de energia elétrica deverá ganhar espaço: as células a combustível hidrogênio/oxigênio.

VILLULLAS, H. M.; TICIANELLI, E. A.; GONZÁLEZ, E. R. *Química Nova Na Escola*. N°15, maio 2002.

Com base no texto e na figura, a produção de energia elétrica por meio da célula a combustível hidrogênio/oxigênio diferencia-se dos processos convencionais porque

- (A) transforma energia química em energia elétrica, sem causar danos ao meio ambiente, porque o principal subproduto formado é a água.
- (B) converte a energia química contida nas moléculas dos componentes em energia térmica, sem que ocorra a produção de gases poluentes nocivos ao meio ambiente.
- (C) transforma energia química em energia elétrica, porém emite gases poluentes da mesma forma que a produção de energia a partir dos combustíveis fósseis.
- (D) converte energia elétrica proveniente dos combustíveis fósseis em energia química, retraindo os gases poluentes produzidos no processo sem alterar a qualidade do meio ambiente.
- (E) converte a energia potencial acumulada nas moléculas de água contidas no sistema em energia química, sem que ocorra a produção de gases poluentes nocivos ao meio ambiente.

49. (ENEM 2010) A energia elétrica consumida nas residências é medida, em quilowatt-hora, por meio de um relógio medidor de consumo. Nesse relógio, da direita para esquerda, tem-se o ponteiro da unidade, da dezena, da centena e do milhar. Se um ponteiro estiver entre dois números, considera-se o último número ultrapassado pelo ponteiro. Suponha que as medidas indicadas nos esquemas seguintes tenham sido feitas em uma cidade em que o preço do quilowatt-hora fosse de R\$ 0,20.

FILHO, A.G.; BAROLLI, E. *Instalação Elétrica*. São Paulo: Scipione, 1997.

O valor a ser pago pelo consumo de energia elétrica registrado seria de

- (A) R\$ 41,80
- (B) R\$ 42,00
- (C) R\$ 43,00
- (D) R\$ 43,80
- (E) R\$ 44,00

50. (ENEM 2010) No que tange à tecnologia de combustíveis alternativos, muitos especialistas em energia acreditam que os alcoóis vão crescer em importância em um futuro próximo. Realmente, alcoóis como metanol e etanol têm encontrado alguns nichos para uso doméstico como combustíveis há muitas décadas e, recentemente, vêm obtendo uma aceitação cada vez maior como aditivos, ou mesmo como substitutos para gasolina em veículos. Algumas das propriedades físicas desses combustíveis são mostradas no quadro seguinte.

Álcool	Densidade a 25 °C (g/mL)	Calor de Combustão (kJ/mol)
Metanol (CH ₃ OH)	0,79	-726,0
Etanol (CH ₃ CH ₂ OH)	0,79	-1367,0

BAIRD, C. *Química Ambiental*. São Paulo: Artmed, 1995 (adaptado).

Dados: Massas molares em g/mol: H = 1,0 ; C = 12,0 ; O = 16,0.

Considere que, em pequenos volumes, o custo de produção de ambos os alcoóis seja o mesmo. Dessa forma, do ponto de vista econômico, é mais vantajoso utilizar

- (A) metanol, pois sua combustão completa fornece aproximadamente 22,7 kJ de energia por litro de combustível queimado.
- (B) etanol, pois sua combustão completa fornece aproximadamente 29,7 kJ de energia por litro de combustível queimado.
- (C) metanol, pois sua combustão completa fornece aproximadamente 17,9 MJ de energia por litro de combustível queimado.
- (D) etanol, pois sua combustão completa fornece aproximadamente 23,5 MJ de energia por litro de combustível queimado.
- (E) etanol, pois sua combustão completa fornece aproximadamente 33,7 MJ de energia por litro de combustível queimado.

51. (ENEM 2010) Deseja-se instalar uma estação de geração de energia elétrica em um município localizado no interior de um pequeno vale cercado de altas montanhas de difícil acesso. A cidade é cruzada por um rio, que é fonte de água para consumo, irrigação das lavouras de subsistência e pesca. Na região, que possui pequena extensão territorial, a incidência solar é alta o ano todo. A estação em questão irá abastecer apenas o município apresentado.

Qual forma de obtenção de energia, entre as apresentadas, é a mais indicada para ser implantada nesse município de modo a causar o menor impacto

- (A) Termelétrica, pois é possível utilizar a água do rio no sistema de refrigeração.
- (B) Eólica, pois a geografia do local é própria para a captação desse tipo de energia.
- (C) Nuclear, pois o modo de resfriamento de seus sistemas não afetaria a população.
- (D) Fotovoltaica, pois é possível aproveitar a energia solar que chega à superfície do local.
- (E) Hidrelétrica, pois o rio que corta o município é suficiente para abastecer a usina construída.

GABARITO

1. B	2. E	3. D	4. B	5. E	6. A	7. A	8. D	9. E	10. C
11. B	12. A	13. D	14. A	15. C	16. D	17. D	18. A	19. A	20. C
21. E	22. A	23. B	24. C	25. A	26. A	27. D	28. A	29. C	30. E
31. A	32. A	33. E	34. D	35. E	36. D	37. A	38. B	39. C	40. B
41. C	42. E	43. D	44. E	45. D	46. B	47. A	48. A	49. E	50. D
51. D									

Anexo 2

Levantamento de concepções sobre sustentabilidade

No seu entender, o que é ou em que consiste a sustentabilidade?

01	A sustentabilidade consiste na utilização dos recursos naturais sem um impacto significativamente negativo no meio ambiente.
02	Trata-se de explorar o meio em que se vive de modo a obter o maior rendimento, causando o menor dano possível.
03	É uma maneira de produção, onde a fonte pode ser inesgotável ou os produtos dessa produção podem ser reutilizados.
04	Um ecossistema que se mantém constante por si próprio.
05	Estabelecimento de uma relação entre a ação humana e o meio-ambiente de modo que as atividades desenvolvidas pela sociedade possam ser mantidas a longo prazo sem o comprometimento da sua manutenção e sem a ocorrência de grandes impactos em outras atividades humanas e em outros domínios do meio-ambiente.
06	Sustentabilidade é a mentalidade que todas as pessoas devem ter para preservar o meio-ambiente, através do reaproveitamento de recursos.
07	É uma forma de utilizar os recursos naturais sem agredir a natureza, ou seja, “repondo” o que é retirado do meio-ambiente ou usando com moderação.
08	Sustentabilidade é, para o ser humano, usufruir dos recursos naturais sem destruí-los, podendo, desta forma, usufruir para sempre.
09	Sustentabilidade é a “idéia” de usar os recursos naturais de forma racional, para que outras gerações também possam usufruir.
10	É uma forma de o homem tirar recursos necessários para sua sobrevivência sem degradar o meio em que vive.
11	É o desenvolvimento de atividades que não agridam, ou tentem compensar os danos causados a natureza.
12	Consiste em utilizar recursos da natureza em uma velocidade em que ela possa repor esses recursos, fazendo dessa forma um consumo consciente em que evitará a escassez de recursos.
13	Meio; forma de manter uma fonte que provém algo proveitoso, a fim de que esta seja capaz de continuar a fornecer-nos um produto, por exemplo.
14	Sustentabilidade consiste no conjunto de práticas que visam o maior aproveitamento dos recursos naturais com o menor prejuízo e comprometimento do meio ambiente.
15	Consiste numa interação não destrutiva com o meio ambiente, principalmente com os recursos esgotáveis.
16	A capacidade de usar os meios naturais sem destruí-los, ou seja, aproveitar os recursos naturais, mas respeitando os limites da floresta (como o tempo para reflorestamento e reposição).
17	A sustentabilidade é obter a produção econômica de uma nação reduzindo ao máximo a predação e degradação da natureza, repondo aquilo que foi extraído quase nas mesmas condições iniciais.

18	Consiste em retirar os recursos do meio ambiente de forma que este seja capaz de repô-los, sem comprometê-lo.
19	Sustentabilidade é quando você retorna à natureza recursos que foram dela retirados, de modo a não deixar “sequelas” ao meio ambiente.
20	Sustentabilidade é explorar o meio, porém sem agredi-lo permanentemente, de forma consciente.
21	O uso sem desperdício dos recursos naturais e o reaproveitamento de materiais que seriam descartados.
22	Sustentabilidade é o modo de viver que consiste em realizar nossas tarefas de modo a não prejudicar o meio em que vivemos.
23	O ato do ser humano alterar o ambiente à sua volta sem provocar mudanças bruscas e maléficas ao equilíbrio que se estabelecia neste.
24	A sustentabilidade é uma forma de se desenvolver algo, evoluir, de modo que o meio-ambiente não seja prejudicado.
25	Algo para ser feito a fim de manter um equilíbrio, o funcionamento natural de um sistema.
26	A sustentabilidade consiste na manutenção do meio-ambiente, em cuidar para que ainda reste recursos no futuro.
27	Sustentabilidade está relacionada a ações que promovam um meio sustentável, estável.
28	Sustentabilidade consiste no uso de recursos imediatamente, porém garantindo que as futuras gerações tenham à disposição esses mesmos recursos.
29	Sustentabilidade é o fato de tirar proveito do meio-ambiente sem que este seja destruído.
30	A sustentabilidade consiste em utilizar de maneira racional os recursos do meio, no caso de recursos não renováveis a utilização da reciclagem, por exemplo.
31	A sustentabilidade é realizar algo de forma eficiente, de forma que não haja desperdício e que possa preservar o meio-ambiente.
32	Sustentabilidade é desenvolver-se sem destruir o meio-ambiente.
33	Sustentabilidade ou desenvolvimento sustentável consiste num progresso econômico que não gera prejuízo ao meio ambiente.
34	É a busca do equilíbrio, entre produção e desenvolvimento, de forma que se busque poucas alterações no que já é natural do meio.
35	É a idéia do uso, produção, trabalho consciente. Algo que avalia os danos ambientais e evita o desperdício com atitudes.
36	Sustentabilidade é não utilizar mais o meio-ambiente como matéria-prima, é tentar reutilizar os materiais, reciclá-los.
37	No meu entender sustentabilidade pode ser traduzida como sendo a existência e convivência equilibrada entre as matérias vivas e não vivas.
38	É fazer uma atividade que não destrói e afeta o meio-ambiente.
39	É a capacidade de manter os padrões naturais e financeiros do local onde se vive (país/estado/cidade).
40	É o processo de nossa sobrevivência na natureza, como alimentação, energia; e como podemos retirar coisas da natureza sem esgotar tudo.
41	É conseguir aproveitar as coisas sem danificá-las, como pegar uma fruta, mas deixando o suficiente para um replantio.
42	Sustentabilidade é o quanto algo tende a se manter sem interferência

	externa.
43	Sustentabilidade é a manutenção do equilíbrio entre vários agentes do meio ambiente.
44	É o meio de manter as coisas cotidianas funcionando, como exemplo para que a economia de um país não se abale, é necessário não ter muito desemprego.
45	Acredito que sejam os recursos naturais (água, ar) juntamente com os aspectos econômicos (por exemplo, produzir energia, limpar rios).
46	Seria uma forma de habitar o meio em que vivemos, sem, no entanto, destruir esse meio. As transformações que porventura ocorressem não deveriam destruí-lo, e sim adaptá-lo.
47	Sustentabilidade consiste no equilíbrio entre o que é produzido e o que é jogado fora.
48	É o processo necessário para manter alguma coisa funcionando.
49	É a capacidade de manter o meio ambiente em equilíbrio utilizando os recursos que ele mesmo fornece.
50	Não sei.
51	Manipulação de matéria-prima na fabricação de objetos, porém substituindo ou repondo no meio ambiente os recursos usados.
52	Sustentabilidade é um modo de se manter com auxílio exclusivo do meio ambiente, plantando o próprio sustento.
53	Creio que seja um indicador que avalia se determinada coisa está indo bem.
54	É a ideia do moto perpétuo, isto é, consumo de tudo que possa ser produzido sem danos ao “meio ambiente”.
55	É utilizar-se desse espaço de tal forma que o mesmo possa ser utilizado pelo máximo de tempo possível, o que prevê técnicas de controle e até mesmo formas de utilização.
56	Sobreviver se uma forma que não agride o meio ambiente, sem esgotar o meio em que se vive, e sem fazer com que tenhamos “natureza artificial”.
57	Tentativa de sustentar o que a natureza nos concede em forma de reciclagens. Tentativa de “economizar” aquilo que é esgotável, de minimizar todas as formas de lixo.
58	Significa o consumo de uma fonte de suprimentos, mas de que algum modo essa seja renovável simultaneamente ao seu consumo.
59	Controle, manter algo em equilíbrio.
60	Um sistema, que sem a interferência externa, seria capaz de se manter.
61	A capacidade de se sustentar em meio a dinâmica necessária do dia-a-dia.
62	Sustentabilidade é o conjunto de relações naturais que tornam o meio isento de ajuda externa pra manter-se vivo por muito tempo.
63	Processo pelo qual um determinado sistema se apoia com finalidade de não se extinguir sem motivo previsível.
64	Sustentabilidade é o desenvolvimento de atividades que interfiram de forma mínima no meio ambiente, reutilizando materiais já usados antes para minimizar qualquer impacto.
65	É manter o meio ambiente um ambiente bom para a vida.
66	É, por exemplo, explorar as riquezas das florestas sem necessariamente ter de cortar as árvores para fazer móveis/carvão. Seria extrair a borracha

	dos seringais e do açaí sem ter de cortar estas árvores.
67	Quando o objetivo é apenas se sustentar, em outras palavras, sobreviver; e está de lado a ideia do lucro como venda. Também não existe a ideia de troca. Só produz o que consome.
68	É o processo de interdependência entre grupos específicos.
69	Sustentabilidade consiste em um conjunto de ações voltadas para a minimização do impacto do consumo e produção desempenhados pela sociedade atual.
70	É o grau de efetividade, ou melhor dizendo, de eficiência dos fatores ambientais no sentido de manter as condições propícias a existência do meio ambiente.
71	Está relacionada com a nossa interação com o meio ambiente, com a melhor forma de nos relacionarmos.
72	Sustentar algo?
73	É a utilização equilibrada dos recursos naturais, isto é, a manutenção da quantidade de “alimentos” em relação aos seres consumidores.
74	Prática de uso racional dos recursos naturais, bem como meios de não contaminação do meio.
75	É a permanência não agressiva de um ser vivo dentro de um determinado ecossistema para não provocar futuras mudanças no meio ambiente.
76	É uma forma de se utilizar dos bens naturais do planeta fazendo com que estes nunca se acabem ou demorem o maior tempo possível para acabar.
77	Sustentabilidade está ligado à convivência harmoniosa entre os agentes do meio ambiente.
78	É a interação entre ser humano e meio ambiente de forma a permitir que o último se regenere em tempo hábil.

Anexo 3

Modelos de síntese das características de fontes energéticas

ENERGIA HIDRELÉTRICA

Fonte	A fonte direta é a energia de movimento da água, seja da água em queda, seja do fluxo de água de um rio. Como fonte primária última, poderia ser mencionada a energia solar, uma vez que o movimento das águas é parte do ciclo da água, que é movido pela absorção de energia solar.
Forma de produção	Usinas hidrelétricas envolvem turbinas e geradores. Nas turbinas, o movimento da água é utilizado para mover grandes hélices. Nos geradores, o movimento das hélices gera corrente elétrica alternada. A energia produzida tem que ser transportada por linhas de transmissão e não há como armazená-la ao longo do dia ou do ano.
Características da produção	São construídas barragens, que represam a água e permitem a manutenção de uma altura de queda e uma vazão constante, suficientes para gerar energia $P = (\Delta m / \Delta t) g H_{\text{queda}}$
Indicadores da produção	Potência nominal (MW) Potência efetiva (MW) Potência média (MW)
Tipos de usinas	Grande, médio e pequeno porte, em função da potência produzida. Mais recentemente, foram desenvolvidas usinas a fluxo natural, com turbinas imersas no corpo do rio, são chamadas usinas hidrelétricas “a fio d’água”. Essas usinas não necessitam de reservatório, conseqüentemente, não há alagamentos, porém, em épocas de baixo fluxo do rio, a capacidade de produção de energia elétrica da usina diminui.
Renovabilidade	As hidrelétricas são fontes renováveis, pois dependem da movimentação das águas no planeta. Não há recursos descartados, pois as águas não se contaminam e podem ser utilizadas rio abaixo.
Intervalos de tempo característicos	Tempo para construção e instalação Durabilidade das obras após a construção Cheias e vazantes da represa acompanham, em geral, o ciclo anual de chuvas e épocas secas do clima da região
Indicadores de eficiência	Em alguns casos, utiliza-se kW produzido por área inundada.
Impactos na instalação	Inundação de grandes áreas, muitas vezes produtivas, deslocamento de populações, alteração do regime rios, habitat de peixes, etc.
Impactos no meio ambiente na utilização	Em alguns casos, quando as regiões foram alagadas com a presença de árvores, a decomposição das árvores produz grandes quantidades de gás carbônico e metano. Para usinas de grande porte, é possível que haja alterações climáticas locais, como aumento da umidade, além de que o aumento da pressão sobre terreno pode ocasionar alterações geológicas significativas. Em outros casos, alterações no fluxo do rio são importantes. Em caso de cheias, a abertura de comportas pode ocasionar cheias nas regiões ribeirinhas.
Questões ambientais específicas ou socioambientais	“Disputa” das águas utilizadas para abastecimento e para produção de energia

ENERGIA TERMELÉTRICA

Fonte	A fonte direta é a energia liberada na queima de combustíveis fósseis (carvão mineral, gás natural e derivados de petróleo) ou biomassa (cana-de-açúcar e soja, por exemplo), num processo denominado combustão. Como fonte primária última, poderia ser mencionada a energia solar, uma vez que os combustíveis fósseis são resultado da decomposição de matéria orgânica animal (no caso do gás natural e do petróleo) e vegetal (no caso do carvão mineral).
Forma de produção	Usinas termoeletricas envolvem turbinas e geradores. Nas turbinas, o vapor gerado pelo aquecimento de água devido a queima dos combustíveis, é utilizado para mover grandes hélices. Nos geradores, o movimento das hélices gera corrente elétrica alternada. A energia produzida tem que ser transportada por linhas de transmissão e não há como armazená-la ao longo do dia ou do ano.
Características da produção	A usina pode ser ligada ou desligada a qualquer momento, bastando apenas um estoque de combustível. Não depende de fatores climáticos.
Indicadores da produção	Potência nominal (MW) Potência efetiva (MW) Potência média (MW)
Tipos de usinas	Movida a carvão mineral; Movida a óleo combustível (derivado de petróleo); Movida a gás natural.
Renovabilidade	Os combustíveis fósseis (carvão mineral, petróleo e gás natural) são fontes de energia consideradas esgotáveis, pois sua formação necessita de milhões de anos. Já a biomassa é uma fonte renovável, pois sua produção requer um curto intervalo de tempo.
Intervalos de tempo característicos	Tempo para construção e instalação. Durabilidade das obras após a construção.
Indicadores de eficiência	kW produzido por emissão de gases.
Impactos na instalação	A extração do petróleo ocorre principalmente no fundo dos oceanos e mares, havendo a necessidade de construção de grandes plataformas, alterando o ambiente aquático e podendo causar vazamentos de óleo nas perfurações.
Impactos no meio ambiente na utilização	Emissão de gases poluentes, principalmente os chamados gases de efeito estufa. No caso da biomassa, há uma rápida reabsorção desses gases na fotossíntese.
Questões ambientais específicas ou socioambientais	Disputas por territórios ricos em jazidas de carvão, petróleo e gás natural. Condições precárias de trabalho por parte dos mineradores na extração de carvão mineral.

ENERGIA SOLAR

Fonte	A absorção da energia emitida pelo Sol é a principal fonte de energia do planeta Terra. Sem ela as plantas não realizariam a fotossíntese e a forma de vida que conhecemos não seria possível devido às baixas temperaturas. A energia liberada pelo Sol tem origem nas fusões nucleares dos núcleos de hidrogênio, que ocorrem incessantemente nessa estrela, formando núcleos de hélio. Esse processo, conhecido como fusão nuclear, libera uma grande quantidade de energia e uma pequena porção dela chega até a Terra. Dessa porção, uma parte consegue atravessar a atmosfera e chegar até nós, o que é suficiente para mover tudo o que conhecemos e o que não conhecemos.
Forma de produção	A energia solar é utilizada principalmente de duas formas: térmica e fotovoltaica. A energia solar térmica consiste na utilização de painéis coletores solares para aquecimento de água. Esse uso substitui a utilização de chuveiros elétricos, ou seja, contribui para a diminuição do consumo de energia elétrica. A energia solar fotovoltaica é utilizada para geração de energia elétrica.
Características da produção	$E_{\text{incidente}} = 0,2 \text{ kWh/m}^2$
Renovabilidade	Fonte de energia considerada inesgotável.
Intervalos de tempo característicos	Variação diurna (movimento de rotação da Terra em torno do seu eixo); Variação sazonal (inclinação do eixo da Terra); Variação anual (órbita elíptica da Terra em torno do Sol).
Custos	Módulos fotovoltaicos muito caros.

ENERGIA NUCLEAR

Fonte	Essa forma de energia é obtida por meio de reações que ocorrem nos núcleos atômicos, as quais liberam grande quantidade de energia, de acordo com a famosa equação $E = mc^2$. Essa equação mostra que uma pequena massa pode ser convertida numa imensa quantidade de energia, isso porque o fator de multiplicação da massa é o quadrado da velocidade da luz ($c = 3 \times 10^8$ m/s). As reações nucleares podem ser de dois tipos: fissão nuclear e fusão nuclear. As usinas nucleares atuais funcionam devido ao processo de fissão nuclear, na qual núcleos de átomos pesados são quebrados após serem atingidos por nêutrons, gerando uma reação em cadeia.
Forma de produção	As chamadas usinas term nucleares envolvem turbinas e geradores. Nas turbinas, o vapor gerado pelo aquecimento de água devido a energia liberada na fissão nuclear, é utilizado para mover grandes hélices. Nos geradores, o movimento das hélices gera corrente elétrica alternada. A energia produzida tem que ser transportada por linhas de transmissão e não há como armazená-la ao longo do dia ou do ano.
Características da produção	A usina pode ser ligada ou desligada a qualquer momento, bastando apenas um estoque de combustível nuclear. Apenas 0,7 % do Urânio disponível na natureza é físsil (U_{235}), assim, a maioria abundante de Urânio na natureza (U_{238}) precisa ser preparada – enriquecida – para se tornar físsil. Não depende de fatores climáticos.
Tipos de usinas	Reatores refrigerados a gás aperfeiçoados (agr) Reatores a água pressurizada (pwr) Reatores a água fervente (bwr) Reatores a água pesada
Renovabilidade	Toda a quantidade disponível no planeta foi produzida na criação do Universo, portanto é uma fonte não-renovável de energia.
Intervalos de tempo característicos	Tempo para construção e instalação. Durabilidade das obras após a construção.
Impactos no meio ambiente na utilização	Os resíduos gerados na produção de energia elétrica são considerados lixo radioativo e não podem ser reaproveitados. Precisam ser armazenados em locais muito seguros para que não haja vazamentos.
Questões ambientais específicas ou socioambientais	Acidentes em usinas nucleares como a de Chernobyl provocam desconfiança na população com relação a utilização desse fonte energética.

ENERGIA EÓLICA

Fonte:	A fonte direta é a energia de movimento do ar. Como fonte primária última, poderia ser mencionada a energia solar, uma vez que os ventos são causados principalmente pela diferença de aquecimento da superfície terrestre.
Forma de produção	Usinas eólicas envolvem turbinas e geradores. Nas turbinas, os ventos são utilizados para mover grandes hélices. Nos geradores, o movimento das hélices gera corrente elétrica alternada. A energia produzida tem que ser transportada por linhas de transmissão e não há como armazená-la ao longo do dia ou do ano.
Características da produção	São construídos grandes aerogeradores, cuja potência é dada pela equação: $P = \frac{\rho \cdot A \cdot V^3}{2},$ onde ρ é a densidade do ar no local, A é a área da superfície traçada pelas hélices e V é a velocidade do vento.
Indicadores da produção	Potência nominal (kW ou MW) Potência efetiva (kW ou MW) Potência média (kW ou MW)
Renovabilidade	A energia eólica é uma fonte renovável, pois depende do movimento do ar no planeta. Não há recursos descartados, pois o ar não é contaminado e pode ser utilizado após passar pelas hélices.
Intervalos de tempo característicos	Tempo para construção e instalação. Durabilidade das obras após a construção. A velocidade dos ventos depende da hora, dia, estação do ano e de outros aspectos climáticos.
Indicadores de eficiência	“Mesmo os sistemas mais modernos não conseguem converter mais de 59,3 % da energia total dos ventos”.
Impactos no meio ambiente na utilização	Ruído. Colisão de pássaros.
Questões socioambientais	Impacto visual e aceitação pública.