

Universidade de São Paulo

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

Física para uma alimentação saudável

Fernanda Cavaliere Ribeiro Sodré

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos

Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física, ao Instituto de Química, ao Instituto de Biociências e a Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos - IFUSP
Profª. Dra. Alice Helena Campos Pierson - UFSCar
Profª. Dra. Maria Regina Dubeux Kawamura - IFUSP

São Paulo

2008

Índice

Capítulo 1

1. Introdução.....	9
1.1 Importância do tema da alimentação	9
1.2 Adolescentes e crianças como grupo de risco	10
1.3 O papel do Estado e sociedade na promoção da vida saudável	11
1.4 Importância da inserção do tema da alimentação na escola	13
1.5 O conceito de alimentação saudável	14
1.6 Objetivo da pesquisa e descrição da dissertação	16

Capítulo 2

2. Referencial teórico.....	18
2.1 A escola	18
2.2 O conhecimento – A pandisciplinaridade	19
2.3 O conhecimento escolar - hipótese da Integração didática	20
2.4 O aluno - A noção de perfil conceitual	22
2.5 O professor	24
2.6 O tema e a escola	25
2.7 Nossas considerações	29

Capítulo 3

3. Elementos históricos das relações entre a Nutrição e as outras ciências....	33
3.1. Origens do mecanicismo e a analogia homem-máquina	33
3.2 Século XVII - Desenvolvimento científico relacionado ao campo da nutrição	39
3.3 Estabelecimento do campo da nutrição	55

Capítulo 4

4. Termodinâmica: uma abordagem qualitativa.....	59
4.1 Introdução	59
4.2 Sistemas Termodinâmicos	59
4.3 Sistemas em equilíbrio e fora dele	70

Capítulo 5

5. Abordagens e concepções: alimentação do ponto de vista da física.....	82
5.1. Hipóteses de trabalho	82
5.2. Método de Pesquisa	83
5.3. Análise dos capítulos ou seções dos livros didáticos	87
5.4. Análise dos resultados	96
5.5. Conclusão	100

Capítulo 6

6. Conhecimento específico em Nutrição.....	103
6.1. Conceitos preliminares	103
6.2 Os nutrientes	104
6.3. Fibra alimentar e água	106
6.4 Órgãos e sistemas que tornam a nutrição possível	107
6.5 O conceito de <i>biodisponibilidade</i> de nutrientes	108
6.6 Valor energético dos alimentos	109
6.7 Alimentação e saúde	110

Capítulo 7

7. Alimentação numa perspectiva interdisciplinar.....	113
7.1 Introdução	113
7.2 Critérios da alimentação	114

7.3 Ampliando a discussão com Schrödinger	125
7.4 Uma síntese	130

Capítulo 8

8. Considerações e finais perspectivas.....	132
---	-----

Apêndice	138
-----------------	-----

Referências Bibliográficas	139
-----------------------------------	-----

**Agradeço aos meus pais, irmãos, ao meu orientador
e amigos, pelo apoio e incentivo dados
durante todo o trabalho**

ABSTRACT

Although the theme of the healthful feeding is traditionally object of study of biological sciences, given its complexity, the subject demands the integration of other areas of the knowledge.

Within this perspective we elaborated, in this work, an interdisciplinary approach on the theme of the healthy feeding, in which Physics is revealed as one of the criteria to understand the subject.

However, since the beginning of the research, we had the hypothesis that students, teachers and authors of textbooks, would prioritize the concept of energy when approaching "feeding" from Physics point of view. This hypothesis was based on the apparent vulgarization of the concept of energy that, close to the calorie concept, it is taken as "the food" of the living beings.

In order to investigate this idea in history, as well in our days, we developed a study on historical elements of the relationships among Physics and Nutrition, and an assessment on the teachers' conceptions and didactic books approaches concerning the concept of feeding, from the Physics point of view.

We also researched on specific contents of Nutrition and Physics areas, in order to offer physical criteria articulated with other areas of knowledge for a discrimination of a healthy feeding.

Therefore, the main objective of this dissertation is to present the theme of the healthy feeding in an interdisciplinary perspective, pointing out, especially, the relevance of the concept of entropy to understand a healthy feeding.

In such a way, we intend to present to the teachers a subsidy for its formation that is capable to extend the perspective of the feeding beyond the energy point of view. We want to show that it is possible, by means of the Physics, to have access to the information for a choice and adoption of the healthy alimentary practices.

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

Sodré, Fernanda Cavaliere Ribeiro

Física para uma alimentação saudável – São Paulo -
2008

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo.
Instituto de Física – Depto. de Física Experimental

Orientador: Prof. Dr. Cristiano Rodrigues de Mattos
Área de Concentração: Ensino de Ciências

Unitermos: 1. Física – estudo e ensino;
2. Alimentação; 3. Interdisciplinaridade.

USP/IF/SBI-069/2008

RESUMO

Embora o tema da alimentação saudável seja tradicionalmente objeto de estudo das ciências biológicas, dada sua complexidade, o assunto exige a integração de outras áreas do conhecimento.

Dentro desta perspectiva, elaboramos neste trabalho uma abordagem interdisciplinar sobre o tema da alimentação saudável, no qual a Física revela-se como um dos critérios para sua compreensão.

Contudo, desde o início da pesquisa, tínhamos a hipótese de que alunos, professores e autores de livros didáticos, priorizariam o conceito de energia ao abordar a alimentação do ponto de vista da física. Esta hipótese baseava-se na aparente vulgarização do conceito de energia que, junto ao conceito de caloria, é tomado como “o alimento” dos seres vivos.

Para investigarmos esta idéia, tanto ao longo da história, como nos dias atuais, realizamos um estudo sobre elementos históricos das relações entre física e nutrição, e um levantamento sobre as concepções de professores e abordagens de livros didáticos acerca da alimentação, do ponto de vista da física.

Pesquisamos também sobre conteúdos específicos nas áreas de nutrição e de física, para que assim, pudéssemos oferecer critérios físicos articulados com outras áreas do conhecimento para a discriminação da alimentação saudável.

Assim, o principal objetivo desta dissertação é apresentar o tema da alimentação saudável numa perspectiva interdisciplinar, explicitando, em especial, a relevância do conceito de entropia para a compreensão da boa alimentação.

Desta forma, pretendemos apresentar aos professores um subsídio para sua formação que seja capaz de ampliar a perspectiva da alimentação para além do ponto de vista energético. Queremos mostrar que é possível, por meio da Física, ter acesso à informação para a escolha e adoção de práticas alimentares saudáveis.

Capítulo 1

Introdução

1.1 Importância do tema da alimentação

Nos últimos anos, diversos fatores contribuíram para que mudanças substanciais nos padrões alimentares e nutricionais ocorressem no Brasil e em outros países.

Por exemplo, a intensificação do processo de urbanização aliada à maior participação da mulher no mercado de trabalho, levaram as pessoas a consumir alimentos fora do domicílio, produtos semi-preparados ou “prontos para o consumo”. Os avanços na tecnologia e no comércio internacional promoveram a transferência e aglutinação dos locais de compra de alimentos para grandes supermercados. Um expressivo crescimento do setor de “serviços e alimentação” pode ser observado junto ao advento de um vocabulário próprio em torno dos alimentos industrializados, como o “*fast food*”¹ (SILVA, 2000).

Os motivos do sucesso destes tipos de alimentos são a rapidez do serviço, a facilidade de acesso em diversos horários, a praticidade e a padronização (o que evita a surpresa ao desembulhar ou ingerir o alimento, garantindo a satisfação esperada pelo consumidor) (SILVA, 2000).

Sobre os locais de venda dos alimentos, de acordo com Ortigoza (1997), a concentração da comercialização em supermercados atingiu, principalmente, as cidades de médio e grande porte. As empresas multinacionais e a agroindústria procuraram estimular esta forma de comércio tendo em vista seu poder de indução a novos hábitos alimentares. Para tanto, um arsenal publicitário foi acionado em torno dos alimentos industrializados, influenciando as preferências alimentares de todas as faixas etárias.

Algumas pesquisas recentes confirmam tais mudanças para a população brasileira. Segundo os dados da Pesquisa de Orçamento Familiar de 1995-1996 (POF) (IBGE, 1997) e o Estudo Multicênico sobre o Consumo Alimentar, coordenado pelo Ministério da Saúde (BRASIL 1997), nos últimos trinta anos, tornou-se crescente a adoção de dietas caracterizadas pela OMS/1990 pelo excesso de alimentos com alta densidade energética, ricos em gordura e açúcar refinado. Houve um aumento no consumo de alimentos preparados e produtos industrializados, sugerindo que a alimentação tradicional está sendo substituída por novas práticas alimentares, que simplificam o trabalho e economizam o

¹ Fast food: “caracterizam-se pela comercialização em cadeia (invariavelmente internacionais) que oferecem produtos bem definidos e com pouca variação (ex. hambúrguer). Não há consenso em sua definição, mas parece haver um acordo em defini-los como alimentos rápidos aqueles que se recebe dentro de três minutos após a escolha/pedido e consumidos no máximo em vinte minutos” (SILVA, 2000, p. 6).

tempo das pessoas. Dados mais recentes publicados pela POF (2002-2003) (IBGE, 2004) apontam para o crescimento do excesso de peso e da obesidade em adolescentes em todo o país, em especial para o sexo masculino.

Segundo Bleil (1998) e Monteiro *et al.* (1995), o Brasil é um país em transição nutricional, caracterizada pela substituição da desnutrição decorrente da escassez de alimentos pela obesidade, devido ao excesso e inadequação do consumo alimentar.

Entretanto, crianças e adolescentes apresentam uma tendência maior de incorporar os novos hábitos alimentares citados.

1.2 Adolescentes e crianças como grupo de risco

O período da adolescência, definido geralmente entre 10 e 20 anos, é marcado por transformações físicas, emocionais, cognitivas e sociais, o que acabam por aumentar suas necessidades nutricionais. Nos rapazes, as modificações hormonais contribuem para o crescimento rápido dos músculos e esqueleto, promovendo o aumento das necessidades de proteína, ferro, cálcio e zinco. Já as modificações das garotas envolvem o aumento da massa de gordura do tecido adiposo, além de uma demanda maior por ferro, ocasionada pelo início dos períodos menstruais (ANGELIS, 2001).

Trata-se de uma fase crítica para o desenvolvimento de atividades e comportamentos relacionados à dieta, exercício físico, práticas sexuais, tabagismo, consumo de bebidas alcoólicas e etc (WHITE, 1997). No entanto, os indivíduos nesta faixa etária passam boa parte do tempo fora de casa, integrando grupos que, por fim, vão influenciar a escolha dos alimentos e estabelecer o que é socialmente aceito para todos. De acordo com White (1997), é mais importante para o adolescente ser aceito socialmente do que expressar sua própria opinião, principalmente no caso dela ser contrária à do grupo. Por isso, marcas e produtos alimentares rejeitados pela turma não são adquiridos.

No geral, os alimentos procurados pelos jovens contêm quantidades altas de energia e baixas de ferro, cálcio, vitamina A e fibras (ANGELIS, 2001).

Em 2005, uma pesquisa vinculada ao programa de Pós Graduação Interunidades em Nutrição Humana Aplicada, (Pronut) da USP (AGÊNCIA FAPESP, 2007), avaliou 9720 alunos de idades entre 11 e 18 anos da rede pública de ensino da cidade de São Paulo. Um dos objetivos do trabalho era mapear os índices de desnutrição e obesidade em jovens paulistas. A amostra selecionada continha metade do sexo feminino e metade do masculino. Os dados revelaram que 11% dos meninos e 12,7% das meninas da amostra

apresentam desnutrição leve ou moderada. Algum grau de obesidade foi verificado em 14% e 14,9% para meninos e meninas, respectivamente.

Ochsenhofer *et al.* (2006), estudando 384 adolescentes cursando as 7^a e 8^a séries de uma escola pública, verificaram que 81,51% dos adolescentes compram alimentos da cantina da escola, ao invés da merenda escolar. Os alimentos comprados são doces (72,14%), salgados (54,17%), salgadinhos (28,39%) e refrigerantes (22,14%).

Fisberg (2004) constatou que o número de adolescentes obesos quadruplicou nos últimos 20 anos, sendo a obesidade considerada uma epidemia juvenil.

Rego *et al.* (1990) apontam a obesidade como um dos importantes fatores de risco para doenças crônicas não transmissíveis (DCNT)², como por exemplo: hipertensão arterial, doenças cerebrovasculares, infarto agudo do miocárdio, doenças cardiovasculares, diabetes e alguns tipos de câncer.

Contudo, o tema da alimentação é importante não só para os jovens, mas para todas as idades. No caso das crianças, as refeições precisam ser dirigidas às etapas de desenvolvimento, a fim de aumentar suas defesas, assegurando a saúde. Quando adultos, a qualidade de suas dietas pode ser afetada devido ao aumento das preocupações e das responsabilidades do dia-a-dia, características desta fase da vida. Um pouco mais velhos, com seus próprios estilos de vida e estabelecidos na vida profissional, muitas vezes as pessoas passam a se preocupar mais com alimentação dos filhos do que com a própria. Isto também decorre do fato de estarem com boa saúde, fazendo com que suas atenções se encaminhem para outra direção. No entanto, é nesta fase que as pessoas deveriam assumir a vigilância rigorosa de sua alimentação (ANGELIS, 2001).

É importante salientar o forte peso da televisão como meio de comunicação de massa, na escolha dos alimentos. No Brasil, este eletro-doméstico é bastante acessível à população, estando presente tanto em casas de famílias de alta como de baixa renda. Assim, constantemente propagandas incentivam o consumo de produtos industrializados, que nem sempre são de fácil acesso ou disponibilidade (SILVA, 2000, ORTIGOZA, 1997).

1.3 O papel do Estado e sociedade na promoção da vida saudável

² As doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) são representadas por um grupo de doenças caracterizadas por história natural prolongada, multiplicidade de fatores de riscos complexos, interação de fatores etiológicos desconhecidos, longo período de latência, longo curso assintomático, curso clínico em geral lento, prolongado e permanente, manifestações clínicas com períodos de remissão e de exacerbação, evolução para graus variados de incapacidade ou para a morte.

A seleção dos alimentos não é apenas uma questão individual, de preferência ou hábito. Sabe-se que, a qualidade de informação disponível, a pobreza e a exclusão social contribuem para restringir esta escolha.

De um ponto de vista mais amplo, as condições naturais do clima e do solo, a história, a cultura, as políticas e práticas econômicas e comerciais, também influenciam todo o sistema de produção³, de modo que, práticas alimentares são reflexos de diversos fatores sociais, políticos, econômicos e culturais. Caso sejam produzidos alimentos inadequados ou inseguros, ou que aumentem os riscos de doenças, é necessário que o Estado interfira por meio de funções regulatórias e mediadoras das políticas públicas e setoriais, a fim de garantir a proteção da saúde na população.

Para que modos de vida fundamentados na promoção da saúde e na prevenção das doenças sejam construídos, a responsabilidade do Estado deve ser compartilhada entre a sociedade e os setores produtivos privados e públicos. É pressuposto da promoção de uma alimentação saudável a ampliação e fomentação da autonomia dos indivíduos e grupos, por meio do acesso a informação para a escolha e adoção de práticas alimentares e de vida saudáveis (BRASIL, 2005).

Em 1986, em Ottawa, no Canadá, ocorreu a Primeira Conferência Mundial sobre Promoção da Saúde. A abrangência do conceito de saúde foi enfatizada, uma vez que está vinculada aos recursos sociais, pessoais e não somente à capacidade física ou às condições biológicas dos indivíduos. O modo de viver de cada sujeito se apóia na cultura, nas crenças e nos valores que são compartilhados coletivamente. Desta forma, a concepção de “promoção da saúde” vem sendo sistematizada e disseminada como uma perspectiva capaz de orientar diferentes práticas no campo da saúde (BRASIL, 2005).

Promoção da saúde é o nome dado ao processo de capacitação da comunidade para atuar na melhoria de sua qualidade de vida e saúde, incluindo uma maior participação no controle desse processo. Para atingir um estado completo de bem estar físico, mental e social, os indivíduos e grupos devem saber identificar aspirações, satisfazer necessidades e modificar favoravelmente o meio ambiente. A saúde deve ser vista como um recurso para a vida e não como objetivo de viver.

(BRASIL, 2005, p. 22)

³ Estamos nos referindo como sistema de produção o conjunto constituído pela agricultura, pecuária, produção, processamento, distribuição, importação, exportação, publicidade, abastecimento, comercialização e preparação dos alimentos.

De acordo com este *Guia*⁴, Pesquisas recentes revelaram que a saúde pode estar muito mais relacionada ao modo de viver das pessoas do que em relação às determinações genéticas e biológicas. O sedentarismo, a má alimentação, o ritmo da vida cotidiana, os diferentes tipos de poluição e outros fatores são condicionantes para o desencadeamento das diversas doenças. Por isso, a redução ou eliminação de riscos associados a problemas alimentares e nutricionais ampara-se na promoção de modos de vida saudáveis e na identificação de ações e estratégias que incentivem as pessoas a cuidar de si, de sua família e de sua comunidade, de forma consciente e participativa.

Segundo esta abordagem, identificam-se duas dimensões para a promoção de tais modos: a primeira propõe o estímulo e o incentivo às práticas saudáveis, como o aleitamento materno, a alimentação saudável e a atividade física regular. A segunda objetiva a inibição de hábitos e práticas prejudiciais a saúde, como o consumo de tabaco e de álcool.

Dentro deste quadro situamos nosso trabalho na primeira dimensão, uma vez que procuramos relacionar o tema da alimentação saudável com o ensino de física e posteriormente à formação de professores de Física.

1.4 Importância da inserção do tema da alimentação na escola

Muitos autores defendem a inserção do tema da alimentação na escola. Para Ipiranga (1995), por exemplo, intervenções feitas por educadores no ensino fundamental vão recair sobre uma geração de indivíduos, que poderão reproduzir, no futuro, condutas alimentares adequadas à manutenção da saúde e do estado nutricional.

Nós consideramos a escola como um importante espaço social para a aprendizagem dos atributos de uma alimentação saudável, capaz de promover a saúde e prevenir doenças. A escola pode ser reconhecida, para todos os níveis de ensino, como um instrumento de questionamento e confronto às mensagens publicitárias, veiculadas pela indústria de alimentos junto aos meios de comunicação em massa.

De acordo com Boog (1995), a educação nutricional não é uma ferramenta mágica para levar o educando a obedecer à dieta, mas deve possibilitar que este assuma, com consciência, a responsabilidade pelos seus atos relacionados à nutrição. Ela deve visar à autonomia do aprendiz, sendo conscientizadora e libertadora.

⁴ Guia Alimentar para a População brasileira - Promovendo a alimentação saudável (BRASIL, 2005)

Em outras palavras, o educador deve fortalecer seus estudantes, para que estes passem a agir em relação aos alimentos e à alimentação de forma a prescindir, cada dia mais, das intervenções profissionais.

Tratando-se de um tema interdisciplinar por excelência, nos sentimos motivados a contribuir para o incentivo de práticas de modos de vida saudáveis, com a inclusão de critérios físicos que complementem a concepção já existente de uma alimentação saudável.

Obviamente não temos o intuito de estabelecer prescrições dietéticas, uma vez que estas são fundamentais ao atendimento individual e sendo realizadas por nutricionistas, sob condições específicas. Pretendemos elaborar critérios físicos, a serem seguidos por todos, que possibilitem as pessoas justificarem, através do ponto de vista físico, a preferência a um determinado conjunto de alimentos mais nutritivos, em quantidades suficientes, capaz de promover a saúde e prevenir doenças.

Nossa intenção é, portanto, ser menos prescritivos e mais propositivos. Queremos utilizar a Física como um instrumento de observação dos atributos, vantagens ou ações factíveis que levem a uma alimentação saudável.

1.5 O conceito de alimentação saudável

A ingestão de carboidratos, proteínas, lipídeos, vitaminas, minerais e fibras não pode ser aleatória, uma vez que esses alimentos vão influenciar o estado de saúde do indivíduo ao longo de toda a sua vida (ANGELIS, 2001). A alimentação deveria ser uma prática disciplinada que leve em conta as necessidades dietéticas, a adequação qualitativa da dieta, os hábitos alimentares, o poder aquisitivo, a disponibilidade de alimentos, entre outros fatores.

Nossa proposta de elaborar critérios físicos para uma alimentação saudável deve poder ser somada aos critérios nutricionais já estabelecidos. Como principal referência para definição do conceito de alimentação saudável, utilizaremos o *Guia Alimentar para a População brasileira - Promovendo a alimentação saudável* (BRASIL, 2005).

Apresentaremos, a seguir, os aspectos e atributos que deveriam ser contemplados para a promoção de uma alimentação saudável, os quais nos guiaram ao longo deste trabalho. São eles:

a) **Diversidade dietética**

Há a necessidade da dieta diária ser composta por todos os grupos de alimentos. O consumo de tipos variados de alimentos fornece os diferentes nutrientes, evitando a

limitação da disponibilidade de nutrientes para atender as necessidades do organismo. Por contemplar a variedade de grupos de alimentos, uma alimentação saudável possui várias colorações, apresentando riqueza de vitaminas e minerais. Tal multiplicidade de cores torna a refeição atrativa, agradando os sentidos e estimulando o consumo de alimentos saudáveis, como frutas, legumes, verduras, grãos e tubérculos em geral. A diversidade dietética pressupõe que nenhum alimento específico, ou o grupo deles isoladamente, é suficiente para fornecer todos os nutrientes necessários a uma boa nutrição e conseqüente manutenção da saúde.

b) Harmonia

Esta característica da alimentação se refere à garantia do equilíbrio em quantidade e qualidade para o alcance de uma nutrição adequada. Esta última varia de acordo com a fase do curso da vida que o sujeito se encontra, o estado nutricional, estado de saúde, idade, sexo, grau de atividade física e estado fisiológico.

c) Sabor

Refeições saudáveis são saborosas, e assim, o argumento da ausência de sabor na alimentação saudável precisa ser desmistificado. A mídia costuma associar produtos industrializados a alimentação saudável em detrimento de alimentos naturais ou menos refinados, como frutas, tubérculos, legumes e verduras. Proibições ou limitações a certos alimentos não devem ser feitas se o trabalho desenvolvido não faz parte de orientações individualizadas ou particularizadas, referentes a aconselhamento nutricional de pessoas portadoras ou não de doenças ou distúrbios nutricionais específicos.

d) Acessibilidade física e financeira

Como uma boa alimentação não é cara, uma importante estratégia para a melhoria da qualidade da alimentação é o apoio e fomento às cooperativas e agricultores familiares para a produção e comercialização de alimentos *in natura*⁵, como grãos, leguminosas, frutas, legumes e verduras. De baixo custo financeiro, esta alternativa ainda contribui para o estímulo da geração de renda em pequenas comunidades.

e) Segurança Sanitária

Os alimentos não devem apresentar contaminantes de natureza biológica, física ou química e outros perigos que comprometem a saúde dos indivíduos. Assim, visando

⁵ Alimentos *in natura* são as matérias primas. Esta definição não inclui a idéia de que este alimento tenha sido cultivado sem o uso de defensores agrícolas, ou em tipos especiais de cultura (Sturion, G.L. In: Fapesp, 2000).

reduzir riscos de saúde, medidas preventivas e de controle incluindo as boas práticas de higiene devem ser adotadas em toda a cadeia de alimentos, desde sua origem até o preparo para o consumo em domicílio, em restaurantes ou outros locais que comercializem alimentos.

1.6 Objetivo da pesquisa e descrição da dissertação

Em relação à compreensão do tema da nutrição, com ênfase na alimentação saudável, faz-se necessário observar a hipótese de que os livros didáticos influenciam a formação dos indivíduos (MATTOS & GASPAR, 2001, 2002). Mohr (1995), por exemplo, constatou que 85,3% dos professores do ensino fundamental declaram usar somente o livro didático para organização do conteúdo das aulas de nutrição e alimentação.

Aparentemente, alguns livros didáticos tratam os seres-vivos como máquinas térmicas, que se alimentam de energia, apresentando a fundamental importância do conceito de caloria e do princípio da *conservação de energia*. No entanto, pequena ou nenhuma atenção é dada ao *conceito de entropia*, de forma que a alimentação é considerada apenas como um processo de trocas energéticas.

A imagem do universo e dos seres vivos é discutida há muito tempo, de modo que até antes do século XIII, já se faziam analogias entre o homem e a máquina térmica. Ora, pensar a alimentação apenas numa perspectiva energética é ignorar toda a evolução ocorrida na história da nutrição e de outras ciências, além de excluir a importância de conceitos como o da *entropia* em sistemas termodinâmicos abertos, longe do equilíbrio. Além disso, fazendo uso apenas do conceito de energia não é possível compreender nossa necessidade por diversos outros alimentos não energéticos, como as vitaminas, por exemplo.

Desta forma, o objetivo desta dissertação é apresentar o tema da alimentação saudável numa perspectiva interdisciplinar, explicitando, em especial, a relevância do conceito de entropia para a compreensão da boa alimentação.

Para tanto, dedicamos o segundo capítulo para o estudo do referencial teórico da interdisciplinaridade como complexidade, de modo a fundamentar nosso trabalho.

No capítulo 3 realizamos um levantamento de elementos históricos das relações entre Física e Nutrição, com o objetivo de resgatar momentos em que o conceito de energia esteve em evidência. Tal estudo também nos permitiu conhecer a forma como este se mostra arraigado em nossa sociedade.

No capítulo 4 apresentamos como Termodinâmica numa abordagem qualitativa, com atenção especial ao conceito de entropia, em algumas de suas interpretações. Elaboramos um modelo de sistema termodinâmico para associarmos ao organismo humano, de forma a mantermos nossa atenção para os fluxos de matéria e energia sobre o sistema.

No capítulo 5, realizamos uma investigação sobre as abordagens de livros e concepções de professores em pré-serviço acerca da alimentação do ponto de vista da Física. Nosso propósito foi verificar indícios de sobrevivência de uma concepção física de nutrição puramente energética.

No capítulo 6 foi feito um estudo de conteúdo específico na área de nutrição, para que por último, no capítulo 7, descrevêssemos a alimentação numa perspectiva interdisciplinar.

Assim, embora o tema da alimentação saudável seja tradicionalmente objeto de estudo das ciências biológicas, dada sua complexidade, o assunto exige a integração de outras áreas do conhecimento, como a Física, por exemplo.

Neste penúltimo capítulo, oferecemos critérios físicos articulados com outras áreas do conhecimento para discriminar o que é uma boa alimentação. Queremos mostrar aos estudantes e professores que, além de podermos discutir a alimentação do ponto de vista energético, é possível, por meio da Física, ter acesso à informação para a escolha e adoção de práticas alimentares e de vida saudáveis.

Por fim, no capítulo 8 apresentamos nossas considerações finais e perspectivas futuras do trabalho.

Desta forma, nosso intuito é de abordar a física como um dos instrumentos possíveis para se compreender o mundo cotidiano, no que diz respeito à uma alimentação saudável.

Capítulo 2

Referencial teórico

2.1 A escola

A atuação das instituições escolares é pensada e planejada por diversos profissionais: docentes, investigadores, administradores e políticos da educação.

Determinada a estrutura externa da escola (graus, etapas e divisão em diferentes cursos), administradores escolares, educadores e pesquisadores em geral, decidem sobre horários e planejamentos, objetivos e conteúdos, métodos de ensino, materiais pedagógicos e formas de avaliação (MAZZOTA, 1986).

Todo este processo de seleção e organização, seja interna ou externamente, refletem as finalidades pretendidas pelo ensino, isto é, a função social do sistema educativo.

Uma das prioridades educacionais bastante discutida atualmente é o constante ingresso ao nível seguinte, com especial ênfase na aprovação dos vestibulares (DALDEGAN, 2003). Assim, deste ponto de vista, a escola pode ser considerada um “meio para conduzir as pessoas mais capacitadas à universidade” (ZABALA, 2002, p. 19).

Os fins propedêuticos associados ao ensino são principalmente questionados por atenderem à apenas uma parcela dos estudantes ao invés de priorizar a *educação para a cidadania*. Aliada a esta questão, outro problema muito debatido no âmbito da educação é o enfoque disciplinar dado aos currículos tradicionais. Para Garcia (1998), por exemplo, a estruturação curricular em disciplinas reduz boa parte do ensino à mera transmissão de conteúdos dos livros didáticos. Repleto de idealizações, restrições e simplificações, este tipo de organização pode trazer dificuldades para os alunos compreenderem e utilizarem os conhecimentos escolares em suas vidas. Garcia observa ainda que, em geral, o conhecimento associado aos currículos disciplinares é apresentado nas salas de aula como um conjunto de afirmações inquestionáveis em detrimento dos saberes e das idéias próprias dos alunos sobre o mundo. As turmas são levadas a memorizar e repetir informações, na maioria das vezes sem relação com seu mundo vivencial, tornando-as desprovidas de sentido. Além disso, os temas tratados muitas vezes não levam em conta os problemas e necessidades das comunidades que compõem a própria instituição escolar.

Para nós, a concepção fragmentada de conhecimento, além de poder reforçar o ciclo propedêutico da escola, terminando com a entrada do estudante na universidade, supervaloriza a concepção de uma ciência neutra, que supera opiniões ou crenças pessoais.

Concordamos que estas são conseqüências pedagógicas que podem prejudicar a compreensão acerca da diversidade e da complexidade social na qual a escola se insere (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002). Diante de tais problemas, surgiram propostas de abordagens e modelos educativos integradores na tentativa compensar a dispersão do saber fortemente presente nos currículos escolares.

2.2 O conhecimento – A pandisciplinaridade

De modo a fornecer a este trabalho uma visão sobre conhecimento mais integrada, abarcando aspectos de sua complexidade, utilizaremos o modelo elaborado por Fiedler-Ferrara e Mattos (2002).

Reconhecendo a importância da associação entre o currículo e às escolhas e os fins que se deseja alcançar, os autores consideraram a realidade composta de um grande número de elementos e conexões, contemplando diferentes lógicas. Assim, o conhecimento relacionado a esta realidade foi representado por um modelo complexo e não fragmentado, onde seus vários níveis de organização retroagem:

O modelo de conhecimento que propomos se estabelece em uma estrutura complexa com diversos níveis hierárquicos interagindo em retroação: a pandisciplinaridade (totalidade das disciplinas) (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002, p. 5).

A partir do conceito de pandisciplinaridade, os autores criaram uma representação para materializar um espaço do conhecimento, o *espaço pandisciplinar*, uma “*geometrização através da qual é possível reconhecer subespaços como recortes desse espaço pandisciplinar*”. (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002, p. 5). Assim, a idéia de currículo (pandisciplinar) pode ser compreendida como um “recorte” no conhecimento pandisciplinar, feito por professores e demais profissionais da área, baseados em critérios sócio-educacionais. Tal seleção e organização de conteúdos mostram-se vinculadas diretamente às escolhas e valores destes agentes para que se atinja um determinado fim.

Nesta perspectiva, os termos transdisciplinar, interdisciplinar, pluridisciplinar e intradisciplinar representam diferentes recortes possíveis no conhecimento determinado pelo currículo pandisciplinar. Portanto, neste último, inúmeros tipos de recortes podem ser realizados, envolvendo, de forma interdependente critérios, organização e dinâmica (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002).

Para nós, este ponto de vista é especialmente importante, pois, pretendemos explicitar o recorte feito para a elaboração de uma abordagem interdisciplinar, cujo fim é fornecer instrumentos para a compreensão do tema da alimentação saudável.

No entanto, no momento de planejar recortes (e suas posteriores inclusões em currículos escolares), os autores chamam a atenção para um importante desafio pedagógico, o *princípio do balanço complementar*:

...mais rígidos os critérios ou mais ortodoxa a forma de conceber a organização dos conteúdos, mais delimitados e estreitos serão os contornos da dinâmica professor/aluno/conteúdo (...) no outro extremo, caso se adotem critérios mais flexíveis – consistentes com a realidade psico-sócio-ambiental dos sujeitos, suas formas de organização e dinâmicas do viver e aprender – tanto mais os recortes realizados nos permitem estar-se próximo do mundo real; entretanto, nessa situação, menor será a nossa capacidade de resolver problemas específicos (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002, p. 6)

Deste modo, quanto mais desejamos aprender sobre um objeto e, nos aproximamos dele, menor capacidade temos de resolver problemas específicos. Por outro lado, quanto mais idealizado, fragmentado e especializado for o objeto, mais distantes estaremos da realidade, porém, maior será nossa habilidade de solucionar os problemas específicos abrangidos.

Frente a este aparente paradoxo, Fiedler-Ferrara e Mattos (2002) observam que o desafio em questão é decidir sobre um recorte que leve em consideração finalidades e necessidades dos cidadãos, das famílias, comunidades e sociedades, acabando por desvelar o conhecimento escolar como um instrumento para a compreensão e atuação no cotidiano.

2.3 O conhecimento escolar - hipótese da Integração didática

A idéia de currículo pandisciplinar como um sistema complexo contribui para a compreensão de que, cada currículo, seja multidisciplinar, interdisciplinar, intradisciplinar ou transdisciplinar, é construído a partir de um recorte num sistema hierarquicamente superior (currículo pandisciplinar). Deste modo, entendemos o conhecimento escolar como um recorte nesta complexidade. Por fim, mostraremos nesta seção, como a abordagem de Garcia (1998) sobre o conhecimento escolar e sua *complexificação* se conecta bem à idéia da pandisciplinaridade de Fiedler-Ferrara e Mattos (2002).

Garcia (1998) nomeou de *integração didática* o relacionamento ou interação do conhecimento escolar com diferentes formas do conhecimento, em especial com os

conhecimentos relativos ao senso comum e o científico. Assim, a possibilidade de questionamento e diálogo entre os saberes dos indivíduos e os saberes científicos é considerada como bastante relevante para a construção de conhecimentos, realização de descobertas, discussões de novas possibilidades e de novas idéias.

O autor discute e propõe em sua obra quatro dimensões relevantes à análise da gênese e natureza do conhecimento escolar. A primeira dimensão refere-se à consideração das formas de conhecimento cotidiano (relativo ao senso comum) e científico como comparáveis ou incomparáveis entre si, permitindo maior ou menor interação na elaboração do conhecimento escolar. Este aspecto denota a existência de um grau de continuidade ou descontinuidade entre ambas.

A segunda e terceira dimensões dizem respeito ao grau de generalidade das estruturas de conhecimento próprias do conhecimento escolar, e a possibilidade ou não de substituição do conhecimento cotidiano pelo científico em contexto escolar, respectivamente. Por último, na quarta dimensão, García se refere à viabilidade ou não da aplicação dos modelos e conteúdos aprendidos na escola no mundo cotidiano.

Levando em conta esta análise, García (1998) estabeleceu hipóteses para a construção do conhecimento escolar:

i) Hipótese da compatibilidade

Os conhecimentos científico e cotidiano são considerados epistemologias semelhantes, havendo uma continuidade entre eles. Nesta circunstância, o sujeito pode transitar com facilidade de uma forma de conhecimento à outra, utilizando os conhecimentos aprendidos na escola em sua vida cotidiana.

ii) Hipótese da substituição

As epistemologias do conhecimento científico e cotidiano são consideradas incompatíveis e bastante distintas, havendo uma descontinuidade entre as elas. Desta maneira, um dos principais papéis da escola é o de substituir as idéias intuitivas dos alunos, ligadas ao conhecimento cotidiano, pelas idéias científicas, (promovendo-se a chamada mudança conceitual). Neste caso, o conhecimento resultante é bastante específico de cada domínio do conhecimento.

iii) Hipótese da independência e coexistência

As epistemologias dos conhecimentos cotidiano e científico não são apenas distintas, mas geradas e aplicadas em contextos diferentes. Segundo esta hipótese, não é possível a transição de uma forma à outra de conhecimento sem que haja alguma referência

aos correspondentes contextos concretos. Nestas condições, os sujeitos terão dificuldades em aplicar os conteúdos aprendidos longe do ambiente escolar.

iv) Hipótese da integração – enriquecimento do conhecimento cotidiano

O conhecimento escolar é determinado pela integração transformadora das contribuições de diversas formas de conhecimento. Neste caso, Garcia denomina de princípio da complementaridade a evolução conjunta dos conhecimentos cotidiano e científico, para dar origem ao conhecimento cotidiano complexificado. Assim, diferentemente da hipótese anterior, o papel fundamental da escola deve ser o de propiciar a substituição de formas de pensamento cotidiano simples por outras complexas, transformando a maneira dos sujeitos de interpretar e de atuar no mundo.

Nós nos identificamos com esta última hipótese a respeito da construção do conhecimento escolar. De acordo com o autor, a introdução de elementos do conhecimento científico transforma o conhecimento cotidiano, de modo a enriquecê-lo por meio da complexificação, dando suporte ao conhecimento escolar e tornando mais palpável a utilização deste conhecimento complexificado em contexto diferente do escolar.

Assim, deseja-se que a escola propicie a substituição de formas de conhecimento simples por outras complexas, fazendo do conhecimento escolar um conhecimento cotidiano complexificado.

Deste modo, relacionamos a visão de conhecimento escolar de Garcia à Fiedler-Ferrara & Mattos da seguinte forma: para estes últimos autores o conhecimento escolar representa um recorte que leva em conta valores e finalidades de professores e de sua comunidade, e que é composto de um determinado conjunto de elementos e relações provenientes de diversas formas de conhecimento. Com isso, podemos considerar que este conjunto também contribui para enriquecer o recorte (conhecimento escolar), o que Garcia interpreta como sua complexificação.

2.4 O aluno - A noção de perfil conceitual

Uma vez que Garcia evidencia a importância da interação entre diferentes tipos de conhecimento, faz-se necessário conhecer os conhecimentos prévios dos alunos, principalmente no que diz respeito ao cotidiano. Esta necessidade pressupõe uma determinada visão sobre o processo de aprendizagem, assunto que vamos discutir a seguir.

Nas últimas décadas, na tentativa de justificar a aprendizagem de conceitos, pesquisas sobre *concepções alternativas* predominavam a área do ensino de ciências.

Segundo esta abordagem, a aprendizagem ocorre principalmente por meio da exposição das idéias prévias do estudante, seguida do envolvimento e participação do aluno na construção do conhecimento (MORTIMER, 1995). Juntamente a este tipo de estudo, diversos foram os trabalhos publicados envolvendo a noção de mudança conceitual.

Contudo, de acordo com os críticos, um dos problemas das abordagens baseadas na mudança conceitual, tomada como substituição conceitual, é a referência constante do aluno como um sujeito ideal, criador de seu próprio conhecimento. Este retrato pode, de certa forma, ofuscar o importante papel desempenhado pelo professor no processo de aprendizagem (ECHEVERRÍA, 1993). Além disso, a substituição de conceitos considerados “errados” (relativos ao senso comum) pelos “certos” (os científicos) atribui à conceitualização científica o status de “verdade absoluta” (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002).

De fato, com a constatação de que as idéias prévias dos estudantes eram mantidas, as metodologias fundadas na mudança conceitual mostraram-se inadequadas. Nesta perspectiva, como alternativa a este tipo de abordagem, Mortimer (1995), baseando-se na noção de perfil epistemológico de Bachelard, propôs um modelo para descrever a evolução das idéias conseqüente ao processo de ensino, tanto no espaço social da sala de aula, como nos indivíduos. Assim, os sujeitos podem ter várias visões sobre o mesmo conceito, as quais denominou de zonas do perfil conceitual.

Uma vez que o indivíduo não abandona suas idéias prévias, o aprendido é considerado como um novo aspecto do mesmo conceito, incorporando uma nova zona ao perfil. Desta forma, as diversas zonas do perfil conceitual, sejam relativas ao cotidiano, científico ou escolar, coexistem em uma mesma pessoa. Mortimer também considerou a presença da relação entre perfil e contexto:

... podemos tentar definir o perfil conceitual como um sistema supra-individual de formas de pensamento que pode ser atribuído a qualquer indivíduo, dentro de uma mesma cultura. Apesar de cada indivíduo possuir um perfil diferente, as categorias pelas quais ele é traçado são as mesmas para cada conceito. A noção de perfil conceitual é, portanto, dependente do contexto, uma vez que é fortemente influenciada pelas experiências distintas de cada indivíduo; e dependente do conteúdo, já que, para cada conceito em particular, tem-se um perfil diferente (MORTIMER, 2000, p. 80).

Contudo, a relação entre perfil conceitual e contexto foi melhor desenvolvida por Rodrigues & Mattos (2006). Tomando o contexto como um sistema complexo, os diversos elementos que o constituem estão em retro-alimentação, sendo composto de diversos níveis

hierárquicos de interação (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002). Considera-se o mundo, a realidade vivida também como um sistema complexo, cujas estruturas estão refletidas nas representações cognitivas do sujeito. Assim, o perfil conceitual do indivíduo refere-se a estas representações, compostas por zonas. Por sua vez, as zonas refletem os sentidos atribuídos às palavras em contextos específicos. Os sentidos são atribuídos pelos sujeitos em contextos específicos, não existindo de forma isolada (RODRIGUES & MATTOS, 2006).

A concepção de perfil conceitual de Rodrigues e Mattos (2006, 2007) constitui-se de três dimensões:

Dimensão epistemológica: refere-se à produção do conhecimento e suas diversas interpretações da natureza associadas às correntes filosóficas. Esta dimensão trata de “como” o sujeito conhece um objeto, relacionando-o à história e à filosofia da ciência.

Dimensão ontológica: trata da natureza dos objetos, referindo-se à questão do “o que é” o objeto. Esta dimensão está bastante ligada à polissemia das palavras que representam conceitos, permitindo muitas possibilidades de significado.

Dimensão axiológica: refere-se aos valores e fins atribuídos aos objetos. Trata-se da questão do “por que” das escolhas, suas motivações e intenções, dentro das quais o conceito é utilizado pelo sujeito.

Visto desta perspectiva, a aprendizagem deve ser compreendida como uma dinâmica ou evolução do perfil conceitual, na qual, o sujeito cria ou modifica zonas. O processo de ensino-aprendizado deve proporcionar que o indivíduo compreenda a adequação do uso de uma determinada zona do perfil conceitual a um contexto específico. Em outras palavras, o conceito científico deve ser entendido junto a um sentido, relativo a um determinado contexto, cujas regras (regentes das relações internas do contexto) implicam no uso da ciência para a resolução do problema apresentado (RODRIGUES & MATTOS, 2006).

Assim, as instituições escolares devem se preocupar em preparar sujeitos capazes de estruturar um tipo de conhecimento que revele a complexidade do mundo, reconhecendo, sobretudo, seus limites, seu domínio de validade.

2.5 O professor

Um dos obstáculos para a implementação de enfoques integradores ou interdisciplinares em sala de aula é a resistência imposta pelos próprios professores à inclusão de novos temas. Por exemplo, de acordo com Silva (1999), os educadores, em

geral, preferem se distanciar de assuntos que pouco ou de fato não estudaram, declarando ter afinidade ou desinteresse às diversas áreas do conhecimento. Este comportamento, no entanto, fortalece ainda mais o caráter fragmentário dos conteúdos escolares, os tornando mais estanques e desconectados entre si e entre outras disciplinas (FIEDLER-FERRARA, MATTOS, 2002).

Deste modo, manifesta-se uma grande ambigüidade em relação às escolas e os professores. Se por um lado deseja-se um ensino que prepare o sujeito para a vida, para o exercício da cidadania e para uma conduta ética e solidária, com alunos participando ativamente do processo de ensino aprendizagem, por outro, observam-se docentes empenhados em construir barreiras para cercar e isolar as disciplinas que ministram, de modo a evitar que as discussões sobre o objeto estudado “escape” aos assuntos listados nos manuais didáticos.

Baseando-nos em Garcia (1998), acreditamos que os conteúdos devem ser tratados de maneira mais flexível e menos estanque, com a possibilidade de extrapolação de alguns “limites disciplinares”, para provocar questionamentos, estimular a curiosidade e a imaginação dos alunos. O educador deve permitir a inserção de temas abertos e complexos, como os sócio-ambientais, uma vez que estes podem abrir caminho para o debate de problemas atuais. Esta estratégia pode possibilitar a percepção do conhecimento escolar como um instrumento de compreensão e atuação no mundo, além de fazer com que o aluno dialogue com mais constância com o professor, colegas e materiais.

Entretanto, de acordo com Baird *et al* (1991), modificações no comportamento dos educandos tem maior oportunidade de ocorrência se observarmos primeiro uma mudança de postura nos educadores. Nesta perspectiva, a formação inicial de professores ou as licenciaturas tornam-se nosso alvo de interesse. Trata-se de um momento estratégico para a alteração dos valores e atitudes dos docentes em relação ao conhecimento, e de uma etapa favorável à abordagem, estudo e incorporação de temas interdisciplinares. Deste modo, os futuros educadores podem refletir com mais intensidade sobre os interesses sócio-históricos dos estudantes e da sociedade, construindo uma percepção mais integrada da ciência.

2.6 O tema e a escola

Para dar um caráter mais pragmático ao nosso trabalho, vamos utilizar o aporte de Gavidia & Rodes (1998) dedicado à introdução de temas envolvendo a *Educação para a Saúde* (EpS) na escola.

Segundo os autores, a escolha por um determinado tipo de abordagem envolve fatores como recursos disponíveis e o interesse dos alunos, dos professores e da comunidade no geral. Desta forma, considerando as possíveis estratégias a serem utilizadas pelas escolas, de acordo com suas possibilidades e características, os autores realizaram uma análise sobre o grau de integração entre a temática transversal e o currículo escolar. Deste estudo, foram elaborados sete níveis de integração:

Primeiro nível – não são realizadas atividades específicas de Educação para a Saúde

Nesta categoria, as instituições escolares não desenvolvem atividades de Educação para a saúde explicitamente. Isso significa que, não estão inclusas atividades cuja finalidade seja fornecer ao sujeito uma maneira de pensar, sentir e comportar-se de maneira equilibrada com seu entorno físico, biológico e sociocultural.

Contudo, Gavidia & Rodes (1998) acrescentam que mesmo de forma inconsciente todas as instituições educativas realizam EpS, uma vez que a escolha pelos produtos vendidos e a forma como organizam as lanchonetes, preparam as refeições e servem os alunos, bem como as atitudes e hábitos de professores frente a alimentação, ao tabagismo, a sexualidade, a higiene, são maneiras não formais de educar para a saúde.

Segundo nível – atividades EpS de modo pontual

Neste nível os professores têm consciência da importância da EpS, mas, pelas características da instituição, é bastante difícil inseri-la de uma forma global e incluí-la como disciplina. Assim, a EpS é abordada como uma aplicação ou complemento dos temas disciplinares, buscando a conexão com os interesses dos alunos e com temas relevantes e atuais de nossa sociedade, servindo, desta maneira, para uma melhor compreensão da própria disciplina. Assim, sem que haja uma alteração brusca no currículo, são desenvolvidos conteúdos, conceitos, procedimentos e atitudes envolvendo a saúde. Por exemplo, isso pode ocorrer quando no estudo do aparelho digestivo, debate-se sobre dietas equilibradas, ou ao tratar da energia podemos abordar a energia dos alimentos, do meio ambiente, etc.

Também são incluídas nesta categoria atividades extracurriculares, como conferências realizadas por sanitaristas ou outros profissionais de fora da comunidade escolar, a apresentação de bons documentários ou filmes, visitas a determinados centros produtores de alimento, etc. Estas atividades teriam uma eficiência muito maior se estiverem atreladas a um projeto mais global, pois, do contrário, correm o risco de serem recebidas pelos alunos como temas isolados, utilizados para escapar da rotina de aula.

Terceiro nível – tratamento vertical ou disciplinar

Neste nível, a Educação para a saúde recebe o mesmo tratamento de uma disciplina, apresentando objetivos e conteúdos próprios. São realizadas atividades seqüenciadas e organizadas, mas descontextualizadas do restante da programação das aulas. Assim, como a temática da saúde é apresentada de forma disciplinar, não estando integrada numa perspectiva global, há risco em obter resultados de menor alcance do que em os esperados de uma proposta mais integrada, havendo possível perda de interesse por parte dos alunos.

Quarto nível – uma instituição escolar “saudável”

Uma instituição escolar saudável é aquela que possui o tema da saúde presente na própria vida escolar. O ambiente físico é cuidado constantemente para que sempre seja um lugar cômodo, seguro, em que tanto professores como estudantes e funcionários possam conviver de modo solidário. É importante haver árvores no pátio, aulas suficientemente iluminadas, ventiladas, amplas, com mobílias e recintos limpos e em bom estado. Em relação ao processo de ensino e aprendizagem, este tipo de instituição enfatiza a prática de valores e atitudes relacionadas à promoção da saúde, como o respeito pela vida, o amor à natureza, a responsabilidade, a justiça, a solidariedade, a auto-estima, etc. A organização das atividades escolares deve respeitar os diferentes ritmos de aprendizagem, para que as tarefas de ensinar e aprender não se realizem contra os alunos ou professores. Os instrumentos de expressão devem estar ao alcance de todos (revistas, participação em órgãos acadêmicos, etc.) e as relações pessoais são incentivadas para que todos se sintam parte importante do coletivo escolar.

É importante que as decisões cotidianas se traduzam numa visão crítica e solidária com o meio: a seleção e preparação dos lanches, a eletricidade que se consome, o volume de lixo e desperdícios que se produzem. Colaboração, compromisso com as pessoas. Aqui, se trata de explicitar e transmitir um currículo que antes era oculto, como uma via de transmissão de atitudes e valores. Esta é uma maneira de fazer com que a EpS não consista somente em uns temas que se ensinam e se aprendem em um momento determinado, sendo que se impregne a toda a vida na escola.

Quinto nível - tratamento transversal da EpS a partir das áreas de conhecimento

Um verdadeiro tratamento transversal supõe que a maior parte das disciplinas participe do seu desenvolvimento. A estrutura disciplinar tradicional é mantida, mas as áreas incorporam a saúde e seus objetivos e conteúdos. Isto não significa a ampliação da matéria, sendo uma troca metodológica em que a saúde impregna o ato didático e onde se conjuga o saber escolar com o saber cotidiano para fazer frente aos problemas de saúde da vida diária. Este nível requer o estabelecimento de um planejamento prévio, no qual serão

selecionados conteúdos mínimos de saúde, para cada ciclo, curso e área. Serão planejados os conteúdos a serem tratados por cada disciplina, de forma a evitar repetições desnecessárias, ou que fiquem fora do currículo temas fundamentais. Serão determinadas as estratégias necessárias para o desenvolvimento de capacidades e atitudes.

Nesta categoria, há a ação conjunta e coordenada de professores, para que sejam evitadas contradições entre os objetivos de saúde explicitados e a atuação didática cotidiana.

Sexto nível – Tratamento transversal tomando a educação para saúde como eixo estruturador do processo de ensino-aprendizagem.

Neste nível há uma maior integração e compromisso, com o tema transversal EpS constituindo o eixo principal do currículo escolar. Os conteúdos para a saúde são então núcleos estruturantes do ensino-aprendizagem, no lugar das disciplinas que tradicionalmente tem servido para articulá-lo, com a intenção de delinear um currículo mais integrador, que globalize e unifique o estudo da realidade, compartimentado pela organização em disciplinas. Estas deixam de ser o único referente para a seleção de temas de estudo, e se convertem em instrumentos, que possuem seus próprios conceitos, procedimentos, valores, etc. Trata-se de um trabalho que pode ser organizado envolvendo projetos de investigação ou de interesses. Por exemplo, como: “*A alimentação saudável e solidária com o meio ambiente*”, “*Os problemas da sociedade de consumo e sua influência na saúde*”, “*O equilíbrio pessoal*”.

A escolha dos temas deve ser feita por uma equipe de professores.

Sétimo nível – A escola promotora da saúde

Este é o maior nível de integração da EpS, e objetiva primordialmente contribuir para o desenvolvimento da saúde dos alunos e da comunidade em que está inserida. A característica principal desta escola é a importância que concede ao âmbito social. São realizados projetos sobre problemas de saúde relevantes para os alunos e para a sociedade. Desta forma contribui-se para estabelecer e consolidar as políticas saudáveis promovidas pelas instituições e colabora para reforçar as ações comunitárias. Assim, os alunos tornam-se agentes ativos da saúde, divulgando informações, atitudes e comportamentos, em especial fora da escola. Deste modo, o estudante não apenas desenvolve atitudes e recursos individuais, como contribui para criar um ambiente social onde as mensagens saudáveis são melhores recebidas. Esta escola tenta não somente difundir conhecimento por meio dos estudantes, mas modificar comportamentos de risco dos adultos, e desenvolver a sensibilidade e atenção às necessidades dos filhos. Isto requer a constituição de uma

comissão escolar de saúde onde participem diversos agentes sociais, de forma que cada um colabore com seu ponto de vista, fazendo da escola um centro difusor da saúde.

2.7 Nossas considerações

De acordo com Garcia (1998), frente a problemas constatados junto ao ensino disciplinar tradicional, como a dificuldade de contemplar a diversidade do mundo, torna-se necessária a inclusão de temas que sejam capazes de mobilizar conteúdos culturais significativos, socialmente relevantes à comunidade na qual se insere a escola. É nesta perspectiva que justificamos nossa escolha pelo tema da *alimentação saudável*. Trata-se de uma temática aberta, complexa, bastante atual e relevante a diversas comunidades, principalmente quando consideramos os dados recentes sobre a má alimentação de jovens estudantes brasileiros (AGÊNCIA FAPESP, 2007; OCHSENHOFER, 2006; FISBERG, 2004; ANGELIS, 2001), junto aos riscos das doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) (REGO, 1990).

Contudo, assuntos como este, muito presente no cotidiano das pessoas, apresentam-se desprovidos de fronteiras epistemológicas. Ora, sobre este fato, acreditamos que o modo pelo qual estamos acostumados a aprender, por meio de simplificações delimitadas por teorias e encerradas em disciplinas, acaba por promover um distanciamento entre a realidade e os conteúdos escolares, em diversos níveis de ensino. É exatamente sobre esta questão que queremos chamar a atenção: como poderíamos proceder para aproximar conteúdos escolares, como a Física em especial, de uma temática complexa, pertencente a nossa realidade?

Neste trabalho elaboramos uma possível alternativa a este problema. Estamos oferecendo um exemplo de como os professores podem, por meio de uma abordagem interdisciplinar, criar instrumentos de compreensão da realidade. Em outras palavras, vamos fornecer um caminho para a articulação de diferentes tipos de conhecimentos, e uma forma de estruturá-lo junto ao currículo escolar, visando um determinado fim.

Para tanto, decidimos utilizar a abordagem interdisciplinar, na tentativa de abarcar um pouco dos aspectos da diversidade do tema. Contudo, ressaltamos que, de forma alguma consideramos a interdisciplinaridade como panacéia para a introdução de temas complexos na escola, ou como um saber unificado capaz de solucionar problemas do ensino. Nós a entendemos como um ponto de vista que pode permitir uma reflexão aprofundada e crítica sobre os conteúdos ou temas selecionados (FAZENDA, 1995).

Devido à polissemia do termo *interdisciplinaridade* (BERTI, 2007), vamos utilizar a concepção de interdisciplinaridade como um recorte na pandisciplinaridade (FIEDLER-FERRARA & MATTOS, 2002), a fim de desvelar um pouco da complexidade não só do assunto, mas de todo o processo de ensino.

Em relação a visão que temos de aprendizagem, a noção de perfil conceitual elaborada por Rodrigues e Mattos (2006) se adequou bem aos nossos referenciais. A aprendizagem foi considerada como uma dinâmica ou evolução no perfil conceitual do sujeito. Dentro desta dinâmica, o conceito científico deve ser entendido junto a um sentido, relativo a um determinado contexto, cujas regras internas implicam no uso da ciência para a resolução do problema apresentado (RODRIGUES & MATTOS, 2006). Neste momento, reconhecemos a necessidade do envolvimento de um aporte científico, o que possibilita uma transformação no conhecimento cotidiano, uma vez que é “enriquecido” por meio de uma “complexificação” (GARCIA, 1998). E assim, a Física pode ser evidenciada como um instrumento para a compreensão de um tema complexo, pertencente ao cotidiano dos alunos.

Pensando em incluir em trabalhos futuros esta abordagem em instituições escolares, tomamos como referência o trabalho de Davidia e Rodes (1998). Estes autores analisaram e elaboraram sete possíveis maneiras de introduzir e integrar temas envolvendo a *Educação para a Saúde* (EpS) nas escolas.

Para nós, nossa proposta para o tema da *alimentação saudável* pode ser classificada na *segunda* categoria de integração, seja para inserção em nível médio ou superior de ensino. Esta conclusão baseia-se no fato de que as escolas em nossas comunidades (São Paulo, capital) possuem currículos bastante tradicionais. Se os temas EpS forem introduzidos como uma aplicação ou complemento de temas disciplinares, sem que haja uma alteração brusca no currículo, poderemos visualizar mais facilmente a adesão deste tipo de abordagem nos tradicionais currículos das instituições de ensino.

Destacamos ainda que, em todo trabalho interdisciplinar o papel do professor pesquisador é extremamente importante. Para nós, é ele quem vai escolher e avaliar a importância do tema a ser pesquisado, além de estudar e estabelecer conexões entre as diversas áreas do conhecimento, visando uma determinada finalidade.

Por fim, para que propostas sejam reproduzidas por outros educadores (não necessariamente pesquisadores), sendo sustentadas por estes profissionais, faz-se necessário subsidiar os docentes com materiais didáticos ou paradidáticos (MATTOS & DRUMOND, 2004), projeto que pretendemos desenvolver futuramente. Concordamos que

tais materiais, em geral, são mais aproveitados se introduzidos junto a cursos ou oficinas de formação de professores, como a que realizamos no XVII Simpósio Nacional de Ensino de Física, em São Luís, em 2007.

Capítulo 3

Elementos históricos das relações entre a Nutrição e outras ciências

Desde o início de nossa pesquisa, tínhamos uma hipótese de que alunos, professores e autores de livros didáticos descreveriam (ou optariam por descrever), a alimentação, do ponto de vista da física, como um processo puramente energético, priorizando os aspectos quantitativos da energia.

Para justificarmos nossa hipótese, realizamos um levantamento de elementos históricos das relações entre Física e Nutrição, visando conhecer a forma como o conceito de energia está arraigado em nossa sociedade e cultura, bem como resgatar origens e momentos em que a analogia entre homem e máquina térmica esteve em evidência.

Ressaltamos que o objetivo deste capítulo não é, de forma alguma, realizar um estudo em história da ciência. Nosso propósito é retomar alguns momentos da história dos conceitos que explicitem o forte peso dado ao conceito de energia e à imagem do homem como máquina, bem como sua contribuição para o desenvolvimento do campo da nutrição.

Desta forma, durante nosso estudo, pudemos eleger três momentos principais para este capítulo, e que podem também nos auxiliar à construção da abordagem interdisciplinar.

O primeiro deles refere-se às origens da analogia entre homem e máquina e o surgimento do mecanicismo.

O segundo momento divide-se em duas partes. A primeira parte destina-se a descoberta da relação entre os fenômenos da combustão, respiração, nutrição, trabalho muscular e calor nos seres vivos. A segunda parte foi dedicada ao reconhecimento do calor como forma de energia, e à percepção de que o princípio da conservação da energia era válido para organismos vivos. Este fato fez com que a “ciência do calor”, protagonizada por químicos e físicos, tomasse conta dos assuntos relacionados à alimentação.

O terceiro momento refere-se ao estabelecimento do campo da nutrição e à descoberta das vitaminas, fase em que a atenção dos cientistas é desviada dos aspectos energéticos para determinados elementos especiais para o organismo humano.

Acreditamos que este levantamento seja fundamental para nossa pesquisa, pois nos ajuda a compreender a relevância que determinados conceitos tiveram ou ainda tem sobre

o tema, além de nos possibilitar um melhor entendimento do caráter interdisciplinar do assunto.

3.1. Origens do mecanicismo e a analogia homem-máquina

Provavelmente as máquinas mais antigas construídas foram as chamadas simples, como alavancas, roldanas, planos inclinados e etc. A alavanca talvez seja tão primitiva quanto o próprio homem (CLEATOR, 1955).

A fonte de energia para estes antigos artefatos era externa, já que eram equipamentos movidos normalmente à base do esforço humano ou de animais de carga, demandando um dispendioso trabalho.

Quantas horas de trabalho humano teriam sido consagradas à extração e desbastamento do material usado na Grande Pirâmide de Quéops, ou no transporte de material pela rampa de terra (plano inclinado) que conduzia ao local? (...) Não conhecemos os pormenores exatos deste empreendimento monumental, mas calculou-se que mais de 2.250.000 blocos de pedra foram utilizados, alguns dos quais pesando mais de 15 toneladas. Não é de admirar que posteriormente se afirmasse que para completar a obra mais de 100.000 homens nela trabalharam durante vinte anos! (CLEATOR, 1955, p. 13)

Como alternativa a este esforço, buscou-se a criação de máquinas que pudessem ser acionadas por outras ligadas às forças da natureza. Surgiram assim, aproximadamente no século II d.C. os moinhos de água na Europa. Nestas estruturas mecânicas, a passagem de um certo volume de líquido causava o movimento dos lemes de uma grande roda, capaz de moer cereais (como trigo, aveia, cevada, entre outros), serrar madeira e etc. Segundo Bernal (1975b) e Cleator (1955), os primeiros moinhos de água foram construídos no período clássico (cerca de 50 a.C.), um milênio antes dos moinhos de vento, mas só na Idade Média seu uso se tornou freqüente.

Contudo, além destas máquinas, havia um outro tipo de mecanismo que desde a antiguidade exerceu grande encanto ao homem, os *autômatos*.

De acordo com uma enciclopédia alemã de 1732, os autômatos poderiam ser definidos como “*instrumentos mecânicos preparados de modo tão sutil e engenhoso, segundo as artes da geometria, que se movem andam sem a ajuda da força externa*” (LOSANO, 1990, p.13). Estes dispositivos provocaram grande fascínio nas pessoas principalmente porque seus motores não eram visíveis externamente. Ou seja, enquanto

uma carroça, puxada por cavalos, tinha evidente o animal como sua fonte energética, tais mecanismos pareciam se movimentar por si só.

Embora grande parte servisse de brinquedos e enfeites, alguns autômatos tinham finalidade prática, principalmente os construídos por mecânicos árabes e alexandrinos, que podiam, por exemplo, medir a quantidade de sangue numa sangria, ou distribuir água e bebidas em regiões ou recipientes diferentes.

Segundo Price (1976) por muitos anos estes objetos semoventes foram considerados como provas da possibilidade de compreensão da natureza em termos mecânicos. De fato, a familiaridade com os autômatos pôde, de alguma forma, incentivar a idéia de que estes reproduziam o universo natural, seja físico ou biológico.

No século XIII, Santo Tomás de Aquino (1225 – 1274), frade dominicano e teólogo afirmava que os animais poderiam ser compreendidos em termos mecânicos, uma vez que exibiam comportamento regular e ordenado. A distinção entre animal e homem deveria ser feita levando-se em conta que os humanos possuem uma alma racional, ou eram dotados de razão. Nesta época, tornou-se freqüente a construção de macacos mecânicos, sendo considerada a racionalidade a principal diferença entre humanos e “máquinas–animal” (PRICE, 1976).

A crença da semelhança entre autômatos e organismos vivos pode ser ilustrada nesta citação de Thomas Hobbes (1588 – 1679):

Por que não podemos dizer que todos os autômatos ou as máquinas que se movem sozinhas por meio de rodas ou de molas, como acontece com os relógios, tem uma vida artificial? Afinal, o que é o coração senão uma mola, os nervos senão muitas cordas, e as articulações senão muitas rodas? (HOBBS, 1955: 40 in ROSSI, 2001, p. 246)

Assim como os autômatos foram cada vez mais construídos e aperfeiçoados, a tecnologia, já no final da idade média, desenvolveu-se de maneira intensa, atingindo grande destaque no Renascimento (séculos XV e XVI). Os engenheiros renascentistas passam a construir, além de moinhos, grandes catedrais, monumentos e instrumentos de medição, atividades muito apreciadas pela burguesia nascente.

A formação dos engenheiros do Renascimento não se realizava nas universidades, uma vez que os estudos acadêmicos, nesta época, estavam mais ligados à filosofia e à teologia. Os espaços reservados para a aprendizagem teórica e técnica de construção de peças e mecanismos eram os ateliês (ROSSI, 2001).

Além de diversas obras da antiguidade clássica, os ateliês continham traduções de destes textos para idiomas regionais europeus, o que os tornavam mais pragmáticos, melhor adaptados para a compreensão dos leitores. Desta forma, nestes espaços os freqüentadores poderiam estudar, aprender, trocar informações.

No século XV, a invenção da imprensa mecânica proporcionou uma rápida difusão das novas idéias científicas, facilitando a reprodução dos textos, livros e suas traduções, barateando seus custos e os tornando mais acessíveis a um número maior de leitores. Esta fase se caracterizou por um imenso intercâmbio de conhecimentos teóricos, práticos, antigos e novos.

Mesmo com a predominância das obras herdadas do passado nas universidades tradicionais, alguns filósofos naturais, frente a este rico e novo ambiente cultural, passam a valorizar o conhecimento prático e cotidiano, se opondo aos escritos antigos.

Em relação às teorias médicas antigas (como as de Galeno e Hipócrates, por exemplo), um dos opositores de destaque foi o médico e alquímico suíço Paracelso⁶ (1493 – 1541). Convivido na infância com mineiros acometidos de tuberculose, propunha uma verdadeira reforma na medicina. Uma de suas conclusões era de que as doenças deveriam ter como causas agentes estranhos ao organismo, não sendo possível, como propôs o grego Hipócrates (460 – 351 a.C.), atribuir às moléstias à existência de um desequilíbrio entre quatro supostos humores no organismo, considerados responsáveis pela garantia da saúde humana (FLORKIN, 1972).

Para explicitar sua posição contrária aos saberes antigos, Paracelso chegou a queimar algumas obras em público, defendendo que o conhecimento deveria ser compreendido por meio da própria natureza.

No entanto, durante o Renascimento, estudos biológicos centrados na área médica se desenvolveram de modo considerável. Na Itália, as faculdades de medicina realizavam dissecações, análises descritivas, anatômicas e mecânicas dos corpos, e estes eram compreendidos como “máquinas” bastantes complexas. As universidades italianas constituíram exemplos de instituições não conservadoras da época, principalmente a renomada Universidade de Pádua, que atraía muitos estudantes e médicos estrangeiros. (BERNAL, 1975b).

⁶ Paracelso é o pseudônimo de Phillipus Aureolus Theophrastus Bombastus von Hohenheim (BERNAL, 1995b)

A obra “De Humani Corporis Fabrica”, publicada em 1543, pelo médico e professor universitário Vesálio (1514 -1564), tornou-se referência da anatomia renascentista, em especial devido à realização de uma rigorosa descrição dos órgãos humanos, junto à colaboração de excelentes desenhistas.

Além de ter sua anatomia considerada como “o fundamento de toda a medicina”, André Vesálio encontrou diversos erros nos escritos anatômicos de Galeno. O mais significativo deles foi a descoberta que não havia perfuração na parede que separa os ventrículos direito e esquerdo do coração.

Em relação à circulação sanguínea, Harvey (1578 – 1657), que também fora estudante da Universidade de Pádua, realizou importantes pesquisas. Buscando compreender a forma e a função das partes de um organismo de uma maneira mais geral, Harvey realizou diversas dissecações e investigações sobre os movimentos do coração e do sangue, tanto no homem como em outros animais.

Entre suas observações, percebeu que as válvulas e veias do coração poderiam ter sua função combinada de forma a estabelecer um fluxo de sangue contínuo, num único sentido. Notou também que o coração deveria ser um músculo, uma vez que endurecia ao contrair-se.

Fornecendo um tratamento matemático às suas pesquisas, Harvey pode calcular a capacidade cardíaca de diversos organismos, por meio dos números determinados pelas frequências dos batimentos do coração, indicando a quantidade de sangue que passaria do coração às artérias. Desta forma, o sistema proposto por Galeno (que considerava dois tipos de circulação independentes no corpo humano) foi rejeitado por Harvey. Sua conclusão era de que havia apenas um sistema de circulação, no qual o coração exercia a importante tarefa de bombear sangue para as artérias e veias. Harvey também se referia ao corpo humano como um sistema mecânico fechado (HENRY, 1997).

Embora a teoria da circulação de Harvey foi alvo de muitas críticas, também pode conquistar diversos adeptos, como René Descartes por exemplo, que discutiremos adiante.

A partir do século XVII, mais espaços foram criados, junto a comunidades e sociedades científicas, para que diálogos fossem estabelecidos entre acadêmicos, engenheiros, artesãos e outros interessados. Nesta fase de transição, da ciência medieval para moderna, foram importantes as contribuições dos físicos Galileu (1564 - 1642) e Kepler (1571 -1630), o médico Servet (1511 – 1553), os filósofos Bacon (1561 – 1626), Mersenne (1588 – 1648), Hobbes (1588 – 1679), Gassendi (1592 – 1655), etc.

Assim, a contribuição destes cientistas e pensadores fez com que lentamente a ciência se tornasse desprovida de características sobrenaturais, como divindades celestes e espíritos causadores de enfermidades. Aos poucos, o céu e a natureza foram se tornando espaços físicos correspondentes a sistemas mecânicos, nos quais o papel da matemática se evidencia como linguagem.

As máquinas eram reconhecidas porque eram construídas, e funcionavam graças à junção dos saberes práticos e teóricos. É o conjunto destas transformações que proporcionou o surgimento de um novo modelo epistemológico, correspondendo a uma interpretação mecânica da realidade.

De modo a substituir o aristotelismo escolástico, e, com o amplo apoio da burguesia ascendente, nasce, em meados do século XVII, a filosofia mecanicista ou mecanicismo.

Não foi a ‘razão pura’ nem o ‘espírito absoluto’ que, na aurora da época moderna, traçaram as grandes linhas do formidável programa da explicação mecanicista universal da natureza e do homem, mas a vontade nova da burguesia ascendente de dominar a natureza e de exercer sobre ela sua ação (MAX SCHELER, in JAPIASSU, 1991,p.72).

Segundo esta filosofia, todos os fenômenos naturais podem ser explicados por meio da matéria em movimento. A realidade física pode ser identificada por um conjunto de partículas que se unem e colidem entre si. Eleita a *máquina* como sua metáfora principal, o mundo se apresentava como um sistema mecânico, isto é, um enorme conjunto de partículas, agindo umas sobre as outras, da mesma forma que as engrenagens de um relógio o fazem. Falava-se em máquina do mundo, em homem máquina e em animais máquinas. O mecanicismo mostrava-se como uma direção fundamental para a compreensão de todo o mundo físico, “*da propagação da luz à geração dos animais, da pneumática à respiração, da química à astronomia*” (HENRY, 1997, p.67).

A matéria foi considerada totalmente desprovida de espíritos, magias, forças e propriedades misteriosas. Já os fenômenos ocultos, deveriam ser considerados imateriais, referentes a Deus, e, portanto, não possuíam realidade. Do contrário, poderiam ser compreendidos por meio da mecânica.

Em relação à origem da filosofia mecanicista, Japiassu (1991) afirma ser um erro de interpretação histórica atribuir a René Descartes o título de criador, uma vez que foram vários pensadores, em especial Pierre Gassendi, Marin Mersenne e Thomas Hobbes, que, inspirados nas teorias de Galileu, elaboraram a doutrina mecanicista.

Mas as obras de Descartes contribuíram muito para difundir a visão mecanicista da natureza, em particular na França e nos países baixos.

Descartes havia se preocupado em criar um sistema de mundo completo, que fosse capaz de substituir a escolástica medieval. Suas obras mais conhecidas são *Discurso do Método* (1637) e *Princípios de Filosofia* (1644).

O universo cartesiano foi definido como um contínuo de matéria, totalmente redutível à partículas infinitivamente divisíveis, cuja relação entre si era justificada em termos mecânicos, com movimentos perfeitamente passíveis de serem medidos. E assim, a natureza podia ser concebida como uma máquina, dotada de matéria e movimento, na qual a interação das pequenas partes era capaz de explicar o funcionamento do todo (GOLDFARB, 1987).

De acordo com Bernal (1995b), Descartes descreveu o homem e os animais como máquinas, com os movimentos de seus membros puramente mecânicos, e seus espíritos e vontades racionais. As funções existentes nos corpos poderiam ser reduzidas à ações mecânicas:

Nós vemos que relógios, chafarizes, moinhos e outras máquinas deste tipo, embora sendo construídas por homens, não lhes falta força suficiente para se moverem sozinhas de várias maneiras (...) E na verdade os nervos podem ser muito bem comparados com os tubos das máquinas daqueles chafarizes, e os seus músculos e os seus tendões aos outros mecanismos e molas que servem para movê-las (DESCARTES, 1897-1913: XI, 120, 130-31 in ROSSI, 2001, p.65?).

Adepto da circulação sanguínea proposta por William Harvey, Descartes estudou sua teoria e a modificou, de modo a priorizar a associação entre corpo e máquina.

Segundo a fisiologia que propôs que os organismos, no geral, funcionavam como autômatos complexos, baseados em sistemas hidráulicos. Em relação aos batimentos cardíacos, os movimentos do coração eram uma decorrência necessária da disposição de suas partes, assim como os movimentos de um relógio eram causados pela disposição de suas rodas dentadas.

Ainda no século XVII, o grande alcance e sucesso obtido pela mecânica newtoniana impulsionaram ainda mais os cientistas a construir modelos mecânicos para compreender novos fenômenos. De acordo com Hull (1975), o mecanicismo que se delineava reafirmava duas de suas características marcantes: a crença em que toda a ciência podia ser derivada da Mecânica e que os seres vivos podiam ser tratados como máquinas.

Astros e pedras obedecem às leis da mecânica expressas pelo Cálculo. Desde logo, para destinar um lugar aos seres vivos e para explicar o seu funcionamento, existe apenas uma alternativa. Ou os seres são máquinas nas quais há unicamente a que se considerar números, grandezas e movimentos, ou escapam à Mecânica e neste caso é necessário renunciar a toda a unidade, à toda a coerência no mundo. Face a esta escolha, nem os filósofos, nem os físicos, nem mesmo os médicos, saberiam hesitar: toda natureza é máquina, como toda a máquina é natureza. (JACOB, 1971, p. 52)

Além da fisiologia, a filosofia mecanicista também atingiu outras áreas, como a psicologia. As teorias da percepção surgiram fundadas em hipóteses de partículas que, penetravam nos órgãos do sentido por meio de porosidades invisíveis, produzindo movimentos transmitidos dos nervos ao cérebro (BERNAL, 1969c).

3.2 Século XVII - Desenvolvimento científico relacionado ao campo da nutrição

3.2.1 Alimentação segundo Lavoisier

Antes de abordarmos a concepção de Lavoisier da alimentação, destacamos que o conhecimento existente sobre o tema até então era demasiadamente vago.

De fato, desde a antiguidade, a noção da existência de uma relação entre a alimentação e o bem estar físico e mental já existia. A literatura conhecida foi principalmente desenvolvida por Hipócrates (400 a.C.), Galeno (II d.C), Oribase (IV d.C), Dioscórides (I d.C), Apuleio (VI d.C) (FLANDRIN, 1996). De um modo geral, a alimentação era um traço essencial das diferenças de classe, de modo que a dieta era considerada como a parte da medicina reservada essencialmente as pessoas capazes de empreender tempo e dinheiro para cuidar da saúde.

Os médicos aconselhavam as pessoas com dietas baseadas em critérios muito amplos, levando em consideração, principalmente, a atividade profissional do indivíduo.

Cientes da importância da alimentação para o organismo humano, doente ou são, os antigos faziam distinções entre as dietas adequadas em cada condição:

É necessário compreender bem que as sopas não são indicadas para alguns doentes, porque quando tomadas a febre e as dores aumentam, e fica claro que aquilo que tomaram, para a doença traz alimento e crescimento enquanto para o corpo debilidade e definhamento”

“(…) Imaginemos que um homem acometido de doença não tão grave nem benigna, mas tal que fosse administrada cura errada, pioraria

querendo comer pão e carne ou algo parecido ao que comem os sadios, mas não em grande quantidade mas muito menos de quanto teria podido comer se são; e imaginemos ainda que outro saudável, de constituição não tão frágil nem forte, queira comer feno ou cevada ou algo similar pelos quais um boi ou um cavalo teria benefício e força, não muito mas muito menos de quanto poderia; o saudável assim agindo não sofreria menos e não correria menos perigo do doente, que importunamente comeu pão ou pão de cevada. Todas essas são provas que esta arte, a medicina, toda inteira poderia ser descoberta se continuássemos a pesquisa no mesmo caminho (HIPÓCRATES, 1998).

Em relação aos elementos que compõem o corpo, havia as descrições de organismo equilibrado e desequilibrado. Quando a condição de equilíbrio era ameaçada, poderia ser recuperada por meio de uma maior atenção à alimentação e à atividade física, seja profissional ou na área dos esportes. Assim, enquanto a alimentação acrescentava equilíbrio, o trabalho subtraía (FLANDRIN, 1996).

O conhecimento sobre este tema era, portanto, tratado de um ponto de vista muito geral. Mudanças significativas na compreensão do fenômeno nutricional apenas vão ocorrer a partir do século XVII, em especial, por meio das pesquisas do químico Lavoisier (1743 – 1794).

Lavoisier foi um dos primeiros cientistas a estender a idéia de reação química para as transformações ocorridas nos organismos vivos. Seus trabalhos e resultados contribuíram muito para reforçar a concepção de que os processos relacionados à nutrição eram químicos (HOLMES, 1963).

O cientista havia identificado um gás, por ele designado “oxigênio”⁷, que liberava calor ao se combinar com determinadas substâncias, denominadas combustíveis (WAHRLICH & ANJOS, 2001). Assim, supôs que a respiração era uma forma lenta de combustão, na qual o ar vital inspirado (oxigênio) era convertido em ar fixo (dióxido de carbono) junto à liberação de calor. Desta forma, toda ou a maior parte do calor animal seria proveniente da respiração.

A fim de verificar experimentalmente se a quantidade de calor produzida na combustão respiratória equivalia ao calor liberado por um organismo animal, Lavoisier uniu-se ao matemático Laplace (1749 – 1827) na construção de um calorímetro a gelo. Neste experimento, o calor liberado por um animal (ou um corpo qualquer) era medido através da quantidade de gelo que se fundia numa câmara (CARPENTER, 2003a; MAAR, 1999).

⁷ A descoberta do oxigênio também é atribuída ao químico Joseph Priestley (1733 -1804).

O calorímetro foi construído com três câmaras concêntricas: a externa tinha como função isolar termicamente as outras, a do meio servia para abrigar gelo, e a interna oferecia espaço para o animal, ou para um corpo. A massa de gelo fundida deveria ser proporcional ao calor trocado entre o animal e o gelo (FILGUEIRA, 2002).

Para Lavoisier, o carbono contido no organismo deveria se combinar com o oxigênio para produzir calor. No entanto, a quantidade de ar vital inspirado (oxigênio) era muito maior que a quantidade de ar fixo expirado (gás carbônico). Este resultado, inicialmente, foi justificado por meio de erros experimentais. De qualquer maneira, o dado apontava para a respiração como a principal fonte de calor animal (CARPENTER, 2003a).

Retomando os experimentos um tempo depois, considerou que deveria ocorrer uma combinação entre oxigênio e hidrogênio, resultando na formação de água. Assim, ocorria, durante a respiração, a combustão de carbono e hidrogênio, com a formação e liberação de gás carbônico e vapor de água.

De acordo com o químico, a combinação de carbono e hidrogênio dos nutrientes ingeridos com o oxigênio inspirado deveria ser a única fonte de calor animal. Ou seja, havia uma relação entre o calor animal e os conceitos de combustão, respiração e nutrição. Lavoisier estendeu as experiências às substâncias não orgânicas e ao homem.

Em relação às substâncias inorgânicas, seus resultados revelaram que a combustão de óleos, álcool e de outros materiais vegetais, era acompanhada da formação de gás carbônico e água. Em 1784, Lavoisier concluía que tanto a matéria animal quanto a vegetal eram compostas por carbono, hidrogênio e oxigênio.

Lavoisier também intuiu sobre a reação básica responsável pela formação dos tecidos vegetais. Propondo a existência de uma reação inversa à queima de materiais vegetais, (que produzia gás carbônico e vapor de água), o carbono do gás carbônico e o hidrogênio da água deveriam se combinar para formação da matéria vegetal, sendo o oxigênio liberado à atmosfera.

Em relação ao organismo humano, foram realizados novos experimentos sobre a respiração animal. Alguns deles incluíram seu colaborador e pesquisador Seguin (1767 – 1835) como cobaia (MAAR, 1999).

O efeito da diminuição da temperatura ambiente, assim como o processo de digestão e da realização de trabalho na quantidade de calor liberada pelo organismo foi comparada com o consumo de oxigênio, em condições de jejum, repouso e sob temperatura de ambiente de 26° C. Pode-se demonstrar que a exposição ao frio (12° C), a

digestão e a atividade física eram fatores que elevavam o consumo de oxigênio (WAHRLICH & ANJOS, 2001).

Baseados em resultados experimentais, Lavoisier e Seguin relacionaram os processos de respiração, transpiração, nutrição, produção de calor e trabalho muscular, antes considerados independentes. Concluíram que o organismo animal deveria possuir um sistema de regulação fisiológica, e que deveria haver uma proporcionalidade entre os processos fisiológicos. Assim, como a alimentação repunha o oxigênio e o carbono oxidados na respiração, havia uma proporcionalidade entre esta última e o processo nutricional (SANTOS, 1989).

Para a manutenção da temperatura corpórea, dois mecanismos foram descritos: um por meio da respiração, em que o organismo acompanhava a necessidade de produção de calor, e outro por meio a transpiração, que aumentava durante a realização de trabalho muscular, compensando o crescimento da taxa respiratória e da produção de calor.

Desta forma, para Lavoisier, o objetivo da alimentação era repor ao sangue o carbono e o hidrogênio perdidos na respiração, após se combinarem numa reação química com o oxigênio inspirado, mantendo assim balanceada a composição elementar do organismo animal (MAAR, 1999).

Nos estudos de Lavoisier, na tentativa de compreender a origem do calor animal, dá-se o surgimento de uma conexão entre os conceitos de combustão, respiração, nutrição, trabalho físico e regulação. Entretanto, na época não havia evidências experimentais decisivas para confirmar sua teoria.

De acordo com Canguilhem (1977), Lavoisier, durante seus estudos, utilizava o modelo de uma máquina hidráulico-pneumática a fogo para compreender o funcionamento do organismo humano. Considerado pioneiro em comparar as propriedades de manutenção, conservação e restituição de uma “máquina animal” aos efeitos de um dispositivo de estabilização e regulação mecânica, o químico considerou a máquina corpórea como sendo governada por três “reguladores” principais: a respiração, que produzia o calor nos animais; a transpiração, que conservava a temperatura “no nível que a natureza fixou”; a digestão, que restituía ao sangue as perdas devidas à respiração e à transpiração.

3.2.2. Calor como fluido material e como movimento

Em sua obra “Tratado Elementar da Química” de 1789, Lavoisier introduziu o termo “*calórico*” ao sugerir que os gases são compostos de matéria ou substância do calor.

De acordo com Aurani, (1985), caracterizado como um fluido material, o calórico concentrava-se em “atmosfera” ao redor dos átomos, tinha propriedades elásticas e de escoamento. Era constituído por átomos ou corpúsculos, que sofriam atração pela matéria e repulsão entre si. Quando aplicado a um corpo, se difundia rapidamente.

No caso dos gases, os corpúsculos tinham liberdade de movimento e as “capas de calórico” se repeliam mutuamente. Assim, a dispersão era muito mais intensa, obedecendo à lei dos gases. Aquecer um corpo significava fornecer calórico, assim como resfriá-lo significava a sua retirada (AURANI, 1985).

Por volta de 1760, os resultados experimentais do médico escocês Joseph Black (1728 – 1799), proporcionaram uma grande aceitação da teoria do calórico. Observando o calor tanto em reações de combustão, como em simples aquecimento de materiais, foi o primeiro a abordar o conceito como uma entidade física definida, passível de ser medida.

Retomando a noção de substância, Black considerou o calor como um fluido ponderável capaz de penetrar em diversos materiais, fazendo aumentar sua temperatura. Afirmou que pesos iguais de materiais diferentes aquecidos à mesma temperatura continham quantidades distintas de fluido de calor, levando a noção de capacidade calorífica dos materiais. O cientista também introduziu a idéia de “calor sensível” e “calor latente”. Durante a mudança de estado, o calórico não seria percebido externamente (AURANI, 1985).

Mas a idéia de que o calor não poderia ser considerado como substância ocorre ao soldado americano e professor Benjamin Thomson (1753 – 1814), também conhecido por Conde Rumford, título que recebeu após atuar como ministro da guerra na Baviera.

Ao observar o processo de perfuração de canhões num arsenal militar em Munique, Rumford observou que o atrito causava um grande aquecimento das peças e dos materiais envolvidos. Na tentativa de compreender a origem deste calor, elaborou um experimento em que um cilindro de canhão girava contra uma broca de aço. O calor resultante desse movimento provocava a fervura de uma determinada quantidade de água. Rumford fez várias hipóteses: o calor teria vindo das lascas de metal, ou do ar atmosférico, ou da água que envolvia o equipamento (GAMOW, 1962).

Como havia isolado o equipamento do ambiente, concluiu que o ar atmosférico não poderia ser a fonte de calor. Quanto às lascas de metal, segundo a teoria do calórico, deveria ter sua capacidade calorífica reduzida, o que não foi observado. Por fim, após

realizar diversas experiências associou ao conceito de calor o *movimento*, considerando que poderia ter se originado na superfície atritada do cilindro.

A associação entre calor e movimento levou Rumford a negar a concepção de substância calorífica, pois o calor era “produzido do nada” em processos de atrito, parecendo ser inexaurível.

Equivalente mecânico do calor

Na primeira metade do século XIX, foram verificadas ligações entre uma série de fenômenos. Por exemplo, em 1800, reações químicas geravam eletricidade na pilha desenvolvida por Volta (1745 - 1827). Em 1820, Oersted (1777 – 1851) descobriu a produção de efeitos magnéticos por correntes elétricas. Em 1822, Seebeck (1770 - 1831) concluiu que o calor pode produzir corrente (efeito termoelétrico) e em 1834, Peltier (1785 - 1845) descreveu o arrefecimento de um corpo através da eletricidade. Faraday (1791 - 1867), em 1831, apresentou a produção de corrente elétrica induzida por efeitos magnéticos (PRIGOGINE, 1984).

O conhecimento sobre este grande número de conversões tornou evidente a existência de uma relação entre diferentes fenômenos, até então tratados de maneira independente. Neste sentido, a concepção de *movimento* (o qual Conde Rumford se ateve) foi objeto de interesse dos cientistas que acreditavam ser esta a grandeza responsável por conectar os fenômenos em uma rede de ligações.

Neste cenário, um dos primeiros a publicar artigos que continham a idéia de que a energia mecânica e o calor estavam conectados foi o médico Mayer (1814 - 1878).

Durante seu trabalho em medicina, havia observado que o sangue venoso de moradores das colônias holandesas de Java, uma região tropical, era tão vermelho e brilhante quanto o arterial. Tal fato, incomum na Europa, o instigou a descobrir qual seria o motivo da variação de tonalidade do sangue em função das regiões habitadas.

Segundo a teoria de Lavoisier, o oxigênio, proveniente da respiração, era transmitido para todas as partes do corpo via sangue arterial. Assim, o calor animal era gerado a partir da reação de combustão no organismo, seguida da liberação de gás carbônico. Este último era transportado pelo sangue venoso até os pulmões (PRIGOGINE, 1984).

O organismo vivo descrito por Lavoisier poderia ser compreendido como uma espécie de motor térmico, no qual estão relacionados os processos de respiração, combustão e nutrição.

Mayer considerou que, como nos trópicos o clima é mais quente, os habitantes tinham necessidade de queimar menos oxigênio para manter a temperatura do corpo, diminuindo a perda de calor, de modo a conservar a cor “vermelho vivo” no sangue. Desta forma, as tonalidades sanguíneas foram atribuídas às diferenças de temperatura nas regiões. E como todas as ações orgânicas e mecânicas do organismo poderiam ser associadas ao seu calor de combustão, o médico percebeu que deveria haver alguma relação entre o trabalho mecânico e o consumo de calor (MAGIE, 1935).

Decidiu então investigar se, para um organismo realizando trabalho, uma mesma quantidade de alimento produzia igual quantidade de calor.

Havendo alteração das quantidades de calor de entrada e saída, poder-se-ia concluir que o calor e o trabalho do organismo tinham a mesma origem - a oxigenação do alimento.

Mayer foi um dos primeiros a explicitar a idéia de que a “energia” metabólica não deveria ser apenas associada ao calor, mas à energia mecânica, devido ao trabalho muscular realizado no organismo. Assim, enquanto a maioria dos cientistas considerava que a “energia” metabólica deixava o organismo apenas sobre forma de calor, Mayer afirmava que isso apenas ocorreria se nenhuma outra forma de “energia” fosse produzida (FLORKIN, 1972).

Com o propósito de fornecer um caráter mais geral para suas pesquisas, em 1841 escreveu o artigo “On the Quantitative and Qualitative Determination of Forces”, no qual tratou das mudanças ocorridas nos corpos devido ao movimento, a partir da análise de choques e colisões entre partículas. Entretanto, seu trabalho foi recusado para publicação por conta de algumas interpretações físicas errôneas.

Em 1842, Mayer reescreve e publica uma nova versão de sua obra, de título “On the Forces of Inorganic Nature”. Neste artigo, embasado em considerações filosóficas e argumentos qualitativos, trabalha o conceito de força diferentemente da ciência mecânica. Para ele, as forças são causas, e, de acordo com o princípio de Leibniz “causa aequat effectum” (a causa é igual ao efeito). Assim, argumentou que “... se a causa C tem o efeito E, então $C = E$; se é novamente a causa de outro efeito F, então $E = F$, e assim por diante: $C = E = F = \dots = C$. Em uma corrente de causas e efeitos, como se torna claro pela natureza da igualdade, nenhum elo ou parte de um elo pode tornar-se nulo. Nós chamaremos esta

primeira propriedade de todas as causas de indestrutibilidade” (MAYER 1842 in MAGIE 1935, p. 197).

Chamando de “força” o que conhecemos hoje como energia, deduziu a lei da indestrutibilidade das forças. Esta “força” tinha a capacidade de assumir diferentes formas:

Conseqüentemente, desde que C se torna E e, E se torna F, etc, devemos considerar suas diversas magnitudes como diferentes formas de aparência de um mesmo objeto. A capacidade de assumir diferentes formas é a segunda propriedade essencial de todas as causas. Associando as duas propriedades, poderemos dizer, causas são (quantitativamente) indestrutível e (qualitativamente) mutáveis. (MAYER 1842 in MAGIE 1935, p. 198).

Mayer relatou sobre o fato de que as grandezas matéria e força (atualmente energia) se conservavam nos fenômenos:

Dois tipos de causas ocorrem na natureza, nas quais, como observado nas experiências até então, não ocorrem interconversões entre elas. O primeiro tipo é constituído por causas que possuem as propriedades de peso e impenetrabilidade, que comumente designamos de matéria. O outro tipo, constituído pelas causas às quais faltam estas últimas propriedades, são as forças, também chamadas de imponderáveis devido à propriedade negativa indicada. As forças são entidades indestrutíveis, transformáveis e imponderáveis (MAYER 1842 in MAGIE 1935, p. 198).

O médico também distinguiu, em termos de força, energia cinética de potencial. De acordo com Higa (1988), fenômenos que envolviam queda dos corpos foram analisados e comparados ao calor produzido.

Durante seus estudos, Mayer também concluiu ser necessário a elaboração de um experimento que determinasse a altura que um corpo deve ser suspenso para que sua força de queda seja equivalente ao aquecimento de uma porção de água, de 0 a 1 grau. Para tanto, utilizou a lei dos gases e obteve o valor da razão da equivalência. Em valores atuais, Mayer concluiu que 1 caloria equivaleria a 3,65 joules (MAGIE, 1935).

No entanto, seus diversos ensaios e trabalhos foram recusados para publicação, fazendo com que o médico os publicasse por si só.

Enquanto isso, o inglês Joule (1818 - 1889), após dez anos de estudos e experimentos, publica, em 1847, seus primeiros resultados sobre a medição do equivalente mecânico do calor. Este fato marca o início de uma disputa entre Mayer e Joule pela primazia da determinação da medida.

Joule havia pesquisado sobre o calor originado em fenômenos magnéticos. No artigo de 1843, “On the Heat evolved by Metallic Conductors of Electricity and in the Cells of Battery During Electrolysis”, determinou experimentalmente o calor gerado na bobina de um eletroímã, verificando que este é proporcional ao quadrado da corrente elétrica. Não notar a relação entre o calor gerado pela corrente e o trabalho produzido, chegou a conclusão de que deveria haver uma lei de conservação geral (PRIGOGINE, 1984, FLORKIN, 1972).

Pensando nisso, resolveu investigar inúmeros processos de conversão, em situações diversas.

Segundo Magie (1935), em seus experimentos iniciais suas estimativas mostraram que a quantidade de calor absorvida por uma libra de água, ao sofrer uma variação de temperatura de um grau fahrenheit, era equivalente a uma ação mecânica capaz de erguer 896 libras da altura de um pé, (valor que atualmente corresponde a 4,87 joules/cal).

Em outro experimento, detectou que a água sofria um aquecimento ao fluir sobre pressão por um tubo fino, devido ao atrito (evento já observado por Rumford). Joule obteve 770 libras (o que hoje corresponde a 4,14 joules/cal) referentes ao trabalho empregado na obtenção do fluxo e à liberação de calor.

Resolveu comparar o trabalho necessário para condensar uma quantidade de ar e o calor originado durante a condensação.

Admitindo que o calor proveniente da liquefação poderia ser equivalente ao trabalho empregado para sua compressão, concluiu que o valor equivalente para uma variação de 1 grau na temperatura de calor, por libra de água, era de 795 libras (4,32 joules/cal).

Buscando aprimorar suas medidas, em 1843, elaborou seu mais famoso experimento. Joule utilizou um recipiente cheio de água contendo um eixo giratório com várias pás agitadoras. O eixo era acionado por um corpo suspenso a um cordel ligado a uma polia. O trabalho realizado pela força peso durante a descida do corpo era transformado em calor através do atrito transmitido à água. Como a quantidade de água no recipiente era conhecida, e a elevação da temperatura da água era medida com um termômetro, o cientista pode calcular a quantidade total de calor produzida. Também foi determinado o valor do trabalho mecânico através do produto entre a força peso e a distância percorrida pelo corpo. Repetindo o experimento diversas vezes, Joule concluiu

que havia uma proporcionalidade entre o trabalho realizado e o calor produzido (MAGIE, 1935).

Por fim, numa reunião entre cientistas, em Oxford, Joule relata suas principais conclusões:

1. Que a quantidade de calor produzido devido à fricção dos corpos, líquidos e sólidos é sempre proporcional a quantidade de força expendida. E,

2. Que a capacidade de calor capaz de um aumento de temperatura de um pound de água (pesado no vácuo, e tomado entre 55 graus e 60 graus) por 1 grau F precisa para sua criação o dispêndio de uma força mecânica representada por uma queda de um corpo de 772 libras, através, de uma distância de 1 pé. (Joule in MAGIE, 1935, p. 211)

Além das interpretações de Mayer e Joule muitos outros cientistas propuseram conceitos similares para interpretar as diversas ligações entre fenômenos, como Liebig (1803 - 1873), por exemplo. Contudo, os resultados apresentados não levaram diretamente ao conceito de conservação, pois nem mesmo havia sido estabelecido o conceito de energia. Este, apenas vai adquirir um significado preciso com as pesquisas de Clausius (1822 - 1888), que analisa e formula o princípio de equivalência entre calor e trabalho.

Mas ainda assim, a “ciência da energia” teve uma “ressonância cultural” muito grande. Os processos envolvendo calor, a eletricidade, a química e a biologia pareciam estar interligadas por meio de um postulado, o da *conversão*. A concepção de homem como máquina energética foi impulsionada, assim como a concepção de que toda a natureza poderia ser representada por um conjunto de dispositivos de conversão. (PRIGOGINE, 1984)

Para Joule, em especial, a conservação de uma grandeza (energia) nas conversões tinha um caráter absoluto:

Na realidade, os fenômenos naturais, sejam mecânicos, químicos ou vitais, consistem quase totalmente numa conversão contínua entre força de atração espacial, força viva e calor. Portanto, é assim que a ordem é mantida no universo; nada é perturbado, nada é perdido, e toda máquina no seu conjunto, por mais complicada que seja, trabalha calma e harmoniosamente. E ainda que, como na terrível visão de Ezequiel, ‘a roda possa estar no meio da roda’ e cada coisa possa parecer complicada e envolvida na aparente confusão e complicação de uma quase infinita variedade de causas, efeitos e acomodamentos, mesmo assim, a mais perfeita regularidade é mantida – tudo sendo governado pela soberana vontade de Deus (PRIGOGINE 1993, p.22).

Organismos vivos e experimentos calorimétricos

Os avanços da “ciência da energia”, junto aos da química dos compostos orgânicos e dos processos fisiológicos, como a digestão, proporcionaram novas propostas para as transformações químicas envolvidas na nutrição. Tais transformações constituem o que conhecemos hoje por metabolismo.

Desde a antiguidade, o metabolismo despertava interesse ao homem. Na escola de Hipócrates, por exemplo, os antigos observaram que a ingestão de uma quantidade de alimento e de líquido muito maior que sua excreção não implicava, necessariamente, no aumento de peso do indivíduo (WAHRLICH & ANJOS, 2001). Mas foi no século XVIII que idéias metabólicas foram mais desenvolvidas, principalmente após as pesquisas de Lavoisier.

O químico orgânico Liebig, adepto das teorias de Lavoisier, havia estudado com Gay-Lussac na França e escreveu diversos artigos sobre química animal. Para ele, todas as “ações físicas ou mentais” dos organismos eram resultados de alterações químicas que ocorriam em suas estruturas (HOLMES, 1963).

Em 1842, publicou o livro “*A Química Animal ou a Química Orgânica e sua relação com a Fisiologia e Patologia*”. Nesta obra, além de retomar suas conclusões de artigos anteriores, concluiu que a única fonte de “força” dos organismos era a força química, obtida por meio dos alimentos. Liebig considerava que a oxidação respiratória dos nutrientes representava a somatória de todas as transformações químicas sofridas pelos alimentos, desde à entrada até a saída do organismo animal. Nenhuma outra reação podia ser considerada como fonte independente de calor.

Como já observado por Lavoisier, Liebig reafirmou que os diversos processos fisiológicos do organismo animal deveriam estar inter-relacionados, de maneira proporcional. Contudo, acrescentou que esta proporcionalidade deveria estar relacionada com a transformação de uma mesma força. Não se sabe se Liebig tinha conhecimento sobre as pesquisas de Mayer, Joule ou Hess⁸, mas, mas esta última idéia, em especial, vai ao encontro de uma soma constante de calor.

O químico alemão ainda criou um detalhado esquema sobre o metabolismo. Por exemplo, chamou de nutrientes *plásticos* os que seriam convertidos em tecidos e fluidos corpóreos, representados por substâncias nitrogenadas, e de *respiratórios*, os não-

⁸ G.H. Hess (1802 – 1850) verificou que o calor produzido numa reação química dependia apenas do estado final e inicial das substâncias participantes da reação (BUENO *et al*, 1981).

nitrogenados que seriam oxidados nos sangue. A partir da determinação dos tipos e quantidades de nutrientes ingeridos e do conhecimento da quantidade de calor produzida em sua oxidação, era possível conhecer a energia disponível para um animal. Visualizava-se então, a possibilidade de cálculo do balanço energético do organismo animal.

Em 1847, o anúncio da medição do equivalente mecânico do calor por Joule contribuiu para uma maior aceitação da idéia de que a oxidação de nutrientes era a fonte do calor e do trabalho muscular. Além disso, segundo Carpenter (2003a) esta medição fez com que a teoria de Liebig fosse considerada uma aplicação do princípio da conservação da energia em fenômenos biológicos.

Neste meio tempo, Regnault (1810 – 1878) e Reiset (1818 – 1896) realizaram experimentos calorimétricos decisivos na comprovação da existência de uma relação entre a respiração e a oxidação dos nutrientes.

Com a finalidade de determinar de maneira precisa as quantidades inspiradas e expiradas de oxigênio e gás carbônico, respectivamente, projetaram um sistema fechado para comportar animais de várias espécies, e os alimentaram com dietas variadas.

Foi calculado o “quociente respiratório” (RQ): uma medida da relação entre a quantidade de oxigênio liberada na forma de gás carbônico e a quantidade consumida. Os dados mostraram variar substancialmente com a dieta: de 0,62 a 1,04, (além também de variar com a espécie de animal). Por exemplo: o valor de RQ ficava próximo de 1 quando o animal era alimentado com cereais, e próximo ao menor valor da faixa de variação quando alimentado com carne. Animais com inanição sobreviviam de sua própria carne (FLORKIN, 1972).

Desta forma, Regnault e Reiset comprovaram a relação entre a respiração e a oxidação nos nutrientes experimentalmente, além de reforçar a idéia de que o quociente respiratório estava associado ao tipo de substância metabolizada pelo organismo.

Em 1862, de modo a aprimorar a precisão dos experimentos de calorimetria, os químicos Voit (1831 – 1908), Pettenkofer (1818 – 1901) e Bischoff (1807 – 1882), do Instituto de Fisiologia de Munique, construíram um aparelho para animais de grande porte, capaz de quantificar a perda de gás carbônico e água através da respiração e transpiração, e a excreção de carbono, oxigênio, nitrogênio e hidrogênio por meio da urina e fezes. O aparelho também poderia comportar o homem, sendo possível a sua permanência confortável durante dias.

Com o intuito de estabelecer quais substâncias eram consumidas pelo metabolismo em jejum, foram registradas (durante 24 horas para o homem) as quantidades dos elementos citados nos excrementos, junto às perdas de dióxido de carbono e água.

Os cientistas concluíram que o organismo animal em jejum era mantido através do consumo de sua própria proteína e gorduras corpóreas e que a quantidade de oxigênio necessária ao metabolismo dependia da composição química das substâncias metabolizadas, como já havia observado Regnault e Reiset.

Também foram determinados os valores de quociente respiratório (RQ) equivalentes ao metabolismo de proteínas, carboidratos e gorduras. Desta forma, ficou demonstrado que o consumo de oxigênio e a produção de dióxido de carbono eram proporcionais à quantidade de oxigênio nas moléculas dos nutrientes (FLORKIN, 1972).

Em 1880, Rubner (1854 – 1932), assistente de Voit em seu laboratório, realizou experimentos para estabelecer o valor calórico real das proteínas.

Dado que a uréia era considerada único produto final significativo do metabolismo das proteínas, Rubner procurou obter valores do calor de combustão da urina sob diversas condições nutricionais. Mantendo um cão em dieta controlada de carne, outro com dieta de proteína isolada de carne e um terceiro em jejum, determinou o valor calórico equivalente ao grama de nitrogênio na urina e nas fezes dos animais.

Com o propósito de mostrar que a energia química dos nutrientes metabolizados era um produto do metabolismo, sendo quantitativamente igual ao calor animal, Rubner construiu um calorímetro acoplado a um aparelho para medida das trocas gasosas respiratórias. Deste modo, além de calcular as taxas metabólicas e respiratórias segundo o método de Pettenkofer e Voit, poderia obter a produção de calor a partir destas taxas e simultaneamente medir de forma direta o calor liberado pelo animal.

Para tanto, manteve um cão em repouso, em vários experimentos, para evitar que parte do calor produzido fosse gasto na produção de trabalho. Utilizando diferentes condições nutricionais, o cientista observou ser muito pequena a diferença entre o calor calculado a partir do metabolismo e o calor determinado diretamente.

Desse modo, ficou comprovado experimentalmente que a energia proveniente da oxidação dos nutrientes equivalia ao calor liberado pelo animal em repouso, o que confirmava a teoria química do calor e o fato de que o metabolismo era a única fonte de energia do organismo animal.

Esses resultados também revelaram que o princípio da conservação da energia era válido para os organismos vivos.

Balancos de energia e matéria

Mas além da quantificação da energia de entrada e saída do organismo, desde o século XVIII, eram também realizados balanços na quantidade de matéria no corpo. Para abordarmos este aspecto, ainda que de maneira breve, vamos precisar voltar um pouco no tempo, mais precisamente no final deste século.

Fourcroy (1775 - 1809) por meio do reconhecimento de propriedades físicas e químicas e de aspectos de solubilidade, em 1789, identificou algumas substâncias componentes dos organismos vivos, denominando-as de albumina, fibrina, caseína e etc. Segundo sua análise, todas possuíam 16% de nitrogênio. Em 1839, Mulder (1802 - 1880) sugeriu que estas substâncias eram todas compostas por um radical comum, combinado com diferentes proporções de fósforo, enxofre ou ambos. Foi dado o nome de “proteína” a este hipotético radical, termo derivado do grego que significa “matéria prima do reino animal” (FLORKIN, 1972).

Mas havia uma questão curiosa sobre o nitrogênio. Se os alimentos vegetais possuíam uma menor proporção de nitrogênio, como eram transformados em tecidos e fluidos animais caracterizados por uma proporção muito maior deste elemento? Em outras palavras, de onde os animais retiravam tanto nitrogênio?

Uma das principais respostas da época era atribuir à atmosfera nossa principal fonte de nitrogênio.

Entre os cientistas que se dedicaram a estudar as fontes e a importância do nitrogênio presente nos tecidos de animais, destacam-se o médico Magendie (1783 – 1855) e o químico Boussingault (1802 – 1877).

Magendie fez experimentos para verificar se animais conseguiam se manter vivos com uma dieta composta apenas de alimentos não nitrogenados. Deste modo, os experimentos passam, então, a incluir dietas conhecidas e controladas por um período longo de tempo.

O médico forneceu a uma amostra de cães uma dieta de açúcar e água destilada e para outra, manteiga ou azeite de oliva. Em ambas as amostras os animais observados não sobreviveram mais que um mês. Desta forma, sua conclusão foi de que alimentos desprovidos de nitrogênio são insuficientes para nutrir um organismo (CARPENTER, 2003a).

Para verificar se o nitrogênio e outros elementos contidos em animais herbívoros eram absorvidos da atmosfera, Boussingault utilizou o método “input-output”, já expresso por Lavoisier no final do século XVIII. Mantendo constante o peso de uma vaca e outros animais, por meio do controle de sua alimentação, as quantidades de nitrogênio, carbono, oxigênio e hidrogênio, contidas num determinado alimento, eram comparadas com as quantidades eliminadas através de secreções e excrementos. Ou seja, quantificava-se a entrada e saída de determinados elementos de um organismo animal.

Os resultados obtidos revelaram uma quantidade um pouco menor de nitrogênio presente nos produtos eliminados (leite, urina e fezes) em relação a que havia sido ingerida na dieta. Desta forma, mesmo não sendo possível afirmar que o nitrogênio era liberado na respiração, os dados indicavam que este elemento não era totalmente absorvido pelo organismo. Boussingault repetiu a experiência utilizando um cavalo e obteve o mesmo resultado. Também fora realizado o balanço completo para os outros três elementos.

Supondo que todos os elementos analisados, presentes nos gases respirados era assimilados, Boussingault assumiu que as diferenças entre as quantidades ingeridas de nitrogênio, carbono, oxigênio e hidrogênio através da dieta e suas eliminações por meio de leite e/ou excrementos, equivaliam a quantidade destes elementos eliminada na respiração (SANTOS, 1989).

O cientista também concluiu que o fato de um alimento conter nitrogênio não era suficiente para considerá-lo essencial à vida. Sua importância estaria ligada ao fato de que o encontramos em abundância em alguns vegetais, acompanhado por outras substâncias orgânicas e inorgânicas (CARPENTER, 2003a).

Os experimentos de input-output foram bastante difundidos e realizados por diversos cientistas.

Entretanto, o fisiologista norte americano e professor de química Atwater (1844 – 1907), interessado em estudos metabólicos e nutricionais, estudou todos os trabalhos publicados sobre o metabolismo que incluíssem a determinação experimental input-output de matéria e energia. Atwater era um dos participantes das pesquisas metabólicas dos laboratórios de Voit e Rubner. Em 1892, reproduziu os experimentos de Pettekofer, construindo um calorímetro a água que possibilitasse experimentos longos com seres humanos, o equipando para medidas respiratórias.

Com a intenção de estabelecer o balanço metabólico de nitrogênio, o ganho ou perda de proteína e gordura, e o balanço energético global do corpo humano, Atwater

realizou 55 experimentos, em 3 diferentes condições: experimentos em condições de repouso, em condições de trabalho muscular e em condições de jejum e repouso.

Nos experimentos em repouso, um sujeito permanecia realizando o mínimo possível de atividade física, durante cerca de 4 dias. Sua alimentação era do tipo “*dieta de equilíbrio*”, ou seja, ingeria quantidades mínimas de cada classe de nutrientes necessária à sua manutenção.

Em relação à massa, foram determinados o peso, a composição química dos alimentos (C, N, H, H₂O, proteínas, gorduras e carboidratos). Com o calorímetro respiratório, determinou-se a quantidade de dióxido de carbono e água eliminados na respiração e transpiração. O balanço de nitrogênio e carbono foi obtido a partir da entrada e saída destes elementos.

Em relação à energia, foram calculados os calores de combustão dos alimentos fornecidos na dieta, e os presentes nas fezes e urina. O balanço metabólico foi determinado com os mesmos métodos de Voit e Pettenkofer⁹.

A partir de seus resultados, Atwater verificou que o gasto energético diário (equivalente a produção de calor no período) de um homem adulto de 70 kg, em repouso e a 20 °C, ficava em torno de 2250 calorias.

Para a segunda condição de experimentos - trabalho muscular, o sujeito subia em uma bicicleta ergométrica para realizar uma determinada quantidade de trabalho, sendo também alimentado com a “*dieta de equilíbrio*”.

Ambos os balanços metabólico e energético foram obtidos da mesma forma que os experimentos em repouso e também para as condições de jejum e repouso. A quantidade de calor obtida através da calorimetria indireta foi comparada com a medida no calorímetro. Esta última abrangia o calor liberado pelo indivíduo e o calor produzido na bicicleta, equivalente ao trabalho por ele realizado.

Nesta comparação, a diferença foi menor do que 2%. Assim, a energia também se conservava em organismos vivos nos experimentos de Atwater em situações de repouso e trabalho.

Nos casos de experimentos na terceira condição (jejum e repouso) a diferença obtida entre a quantidade de calor determinada e direta e indiretamente chegou a ser próxima de 5% (CARPENTER, 2003a).

⁹ Os cálculos detalhados de Atwater podem ser encontrados em Santos, p. 107,(1989).

Os resultados das pesquisas de Atwater foram publicados em 1903, e tiveram repercussão internacional (SANTOS, 1989). Ficou comprovado que um aumento na quantidade de trabalho realizado (medido em jejum) era implicava em um aumento proporcional na quantidade de calor produzida. Assim como as necessidades energéticas humanas aumentavam proporcionalmente com o aumento da atividade muscular.

Seus experimentos também confirmaram (com melhor precisão) que as quantidades dos gases envolvidos nas trocas respiratórias eram proporcionais à produção de energia, e que a medida do quociente respiratório (RQ) estava relacionada diretamente ao tipo de dieta utilizada.

Atwater é considerado “pai da Ciência Nutricional” nos Estados Unidos, responsável pelo estabelecimento da calorimetria respiratória e a diversos avanços desta ciência (CARPENTER, 2003a).

3.3 Estabelecimento do campo da nutrição

O conhecimento sobre as necessidades energéticas dos organismos se desenvolveu bastante junto à evolução da física e da química. Entretanto, ainda eram considerados enigmas o fracasso dos experimentos de dieta controlada e o fato de que algumas doenças pareciam ter cura e prevenção associada à alimentação.

Foram a partir dos resultados de pesquisas sobre estas moléstias, junto à descoberta das vitaminas que, após a segunda guerra mundial, o campo da nutrição finalmente estabeleceu-se no cenário mundial.

Doenças de deficiência nutricional

Desde as cruzadas, no século XIII, há descrições de uma grave doença que acometia os marinheiros. Esta se tornou comum no mar principalmente no século XV, quando viagens mais longas foram possíveis, na época conhecida como *era dos descobrimentos*.

As grandes embarcações abrigavam carga, armas, comida, e uma grande tripulação que viajava amontoadas, com pouca ventilação, o que facilitava muito o crescimento de mofo pelas roupas, botas e cintos dos marinheiros, assim como era constante a presença de doenças como tuberculose, disenteria, piolhos, sarna e etc (COUNTER & BURRENSON, 2003).

Em relação à alimentação, as refeições destes trabalhadores eram compostas basicamente de carne de vaca ou de boi salgada, e de um tipo de bolacha de farinha, água e sem sal, para substituir o pão, sendo assada até endurecer. A vantagem desta bolacha era a imunidade ao mofo, uma vez que os o interior dos cascos era bastante úmido.

O efeito do *escorbuto* na vida dos marinheiros foi relatado em diversos diários de bordo. Os sintomas eram de exaustão, fraqueza, inchaço dos braços e pernas, amolecimento das gengivas, diarreia, hálito fétido, perdas dos dentes, dores musculares, afecções do pulmão e do fígado, culminando com a morte.

Segundo Counter & Burreson (2003), na circunavegação (1519 – 1522) de Fernão de Magalhães (1480 – 1522), mais de 90% da tripulação da não sobreviveu por causa do escorbuto. Há relatos de que esta doença chegou a causar uma quantidade maior de mortes do que as registradas em combates e naufrágios.

Em 1747, James Lind, um cirurgião naval escocês, propôs-se a estudar o problema destes trabalhadores. Selecionou 12 marinheiros doentes, dividindo o grupo em partes – apenas para 2 deles foram dadas 2 laranjas e um limão, os outros grupos receberam alimentos diferentes. Desta forma, Lind pode comprovar que os sintomas desapareciam ao administrar frutas cítricas a um grupo de marinheiros com esta doença. Em 1753, foi publicada a obra “*Tratado sobre o Escorbuto*”, relatando seu experimento e apresentando a importância de incluir na dieta frutas e vegetais frescos (COUNTER & BURRENSON, 2003)

Além do escorbuto, também vamos abordar o beribéri. Suas primeiras descrições remontam o século II no oriente e o século XVII no ocidente. Contudo, sua incidência tornou-se muito maior no século XIX, a partir da difusão de processos de polimento de cereais a vapor e quando o arroz integral foi substituído pelo polido.

O beribéri expandiu-se por diversas áreas, tornando-se endêmica em situações de guerras, prisões e navegações. No final do século XIX, vários cientistas atribuíam como causa da doença dietas insuficientes, qualitativamente ou quantitativamente, principalmente porque seu aparecimento era significativo em regiões onde o arroz era o alimento principal.

Na década de 1880, o oficial médico do hospital naval de Tóquio, Kamehiro Takaki, verificou que as dietas oferecidas pela marinha japonesa continham uma proporção grande de carboidratos. Takaki utilizou como referência a proporção de nitrogênio e carbono de pelo menos 1:15 para a manutenção da saúde. Como a análise das dietas

revelou uma variação de 1:17 para 1:32, sua conclusão foi de que o beribéri era causado pela deficiência de substâncias nitrogenadas, em relação a ingestão de carboidratos (SANTOS, 1989).

Takaki providenciou mudanças na dieta da marinha, introduzindo mais carne, mais vegetais e substituindo o arroz por cevada, em algumas refeições (TERRIS, 2004).

Embora obtivesse ótimos resultados, comentados nos principais periódicos, a causa apontada pelo oficial foi logo deixada de lado, pois havia casos de beribéri entre indivíduos que se alimentavam exclusivamente de proteínas, e de populações devastadas pela doença sem que houvesse deficiências de substâncias nitrogenadas na dieta.

Simultaneamente, por volta de 1860, os trabalhos de Pasteur (1822 – 1895) e Koch (1843 – 1910) apontavam para diversos microorganismos como agentes patogênicos, dando origem a *teoria dos germes*, como os causadores de doenças. Motivados com os avanços em microbiologia, diversos cientistas procuraram e encontraram amebas, estreptococos, micrococos aeróbios e outros germes como os agentes responsáveis pelo beribéri (TERRIS, 2004).

Eijkman (1858 – 1930) aluno de Koch e microbiologista, havia se convencido, como muitos outros cientistas, de que a causa do beribéri era microbiológica, e que se tratava de um tipo de polineurite. Dando seqüência aos seus estudos, observou que algumas galinhas de laboratório passaram a apresentar sintomas de uma aparente polineurite: fraqueza nas pernas e músculos das asas, andar trêmulo, arqueamento anormal das juntas do joelho, dificuldade para se alimentar e etc. Eijkman não encontrou microorganismos nas galinhas e, colocando as aves saudáveis em contato com as doentes, o contágio não foi observado (CARPENTER, 2003b).

Para sua surpresa, as galinhas foram se recuperando e tornando-se saudáveis novamente. Procurando descobrir o que poderia ter ocorrido, o cientista notou que a alimentação das aves havia sido alterada: normalmente eram alimentadas com arroz cru, mas, durante alguns meses, foram fornecidas a elas sobras de arroz polido do hospital. Interrompendo este fornecimento e com a volta do arroz cru, a doença desapareceu (SANTOS, 1989).

Eijkman propôs que deveria haver uma toxina no endosperma do arroz, ou algum microorganismo deveria influenciar a produção desta toxina, causadora da doença.

Em 1902, o diretor do laboratório de patologia Grijns (1865 – 1944) publicou um artigo sugerindo que a causa do beribéri era a ausência de alguma substância essencial

existente no pericarpo do arroz. Contudo, cada vez mais os pesquisadores se dedicavam a isolar microorganismos a procura do agente microbiológico responsável, mesmo que nenhum avanço havia sido observado nesta direção.

A descoberta das vitaminas

No início do século XX, as pesquisas sobre doenças como escorbuto e beribéri, junto aos inúmeros experimentos de dieta controlada, acabaram por impulsionar a idéia de que haveria determinadas substâncias orgânicas, presentes nos alimentos em mínimas quantidades, fundamentais à manutenção da saúde e da vida (SANTOS, 1989).

Hopkins (1861 – 1947) atribuiu à presença de substâncias desconhecidas nos alimentos, excluídas das dietas controladas, ao malogro dos experimentos de dieta controlada. Em 1912, após reunir estudos epidemiológicos, investigações químicas, experiências com animais, Funk (1884 – 1967), publicou o artigo “*A etiologia das doenças de deficiência*”. Neste, descreveu o isolamento de uma substância que poderia prevenir e curar o beribéri. Também propôs que doenças como pelagra, raquitismo e escorbuto estavam associados à deficiência nutricional de substâncias especiais, as quais foram denominadas de “vitaminas” (TERRIS, 2004).

A descoberta das vitaminas não esteve relacionada a uma determinada descoberta experimental nem ao trabalho de determinado pesquisador, mas a conjunção de evidências resultantes de diversos estudos sobre necessidades nutricionais e sobre doenças depois reconhecidas como doenças de deficiência nutricional (SANTOS, 1989, p.163).

Assim, foram aceitas como causa das doenças escorbuto e beribéri, a deficiência das vitaminas C (ácido ascórbico) e B1 (tiamina), respectivamente. Posteriormente, o *raquitismo* foi relacionado à deficiência de vitamina D, e *pelagra* à deficiência de niacina (vitamina B, ou triptofano).

Por fim, a partir da segunda guerra mundial, o reconhecimento da importância das vitaminas e de doenças causadas por deficiência de nutrientes são somados às exigências de novas políticas de saúde, alimentação e nutrição. Nesta época, problemas sociais, a fome e a desnutrição se agravavam nos países em desenvolvimento, o que contribuiu de modo decisivo para a emergência do campo da Nutrição, seja como ciência, política social ou profissão.

O estudo desta nova área da ciência nos permitiu conhecer um pouco mais sobre a quantidade e qualidade dos alimentos necessários para a manutenção da saúde e da vida.

Capítulo 4

Termodinâmica: uma abordagem qualitativa

4.1 Introdução

Como mencionamos, desejamos fornecer uma alternativa aos professores de áreas diversas sobre a utilização da Física como um instrumento para a compreensão do tema da alimentação saudável.

Entendendo que, em Física, este assunto encontra respaldo junto à termodinâmica, vamos abordar neste capítulo sistemas termodinâmicos, leis que os regem e domínios de aplicação, de maneira qualitativa, salientando a relevância do conceito de entropia em nossa descrição.

É importante frisar que não temos a finalidade de fornecer uma visão profunda da termodinâmica. Nosso objetivo principal é reunir um conjunto de conhecimentos físicos passíveis de serem recontextualizados quando tratamos da nutrição e de sua importância física para a manutenção da vida humana. Deste modo, vamos associar ao *corpo humano*, o modelo de sistema termodinâmico, no qual aspectos quantitativos e qualitativos dos conceitos de energia e entropia se destacam. Com isso, planejamos contribuir para a construção, no último capítulo, de uma abordagem interdisciplinar a respeito da boa alimentação.

Utilizaremos como referências: Callen (1985), Wylen & Sonntag (1973), Nussenzveig (2000), Prigogine (1999, 1997, 1984), Oliveira & Dechoum (2003), Halliday *et al.*, (2003) e Tipler (1999).

4.2 Sistemas Termodinâmicos

Em geral, define-se sistema termodinâmico como uma determinada quantidade de matéria limitada por uma certa fronteira ou condições de contorno. Tais condições podem ser fixas ou móveis, reais ou imaginárias (como por exemplo, uma superfície imaginária delimitando o escoamento de um fluido), além disso, uma condição pode ser adiabática, diatérmica, impermeável ou permeável.

A natureza das condições de contorno de um sistema tem importância especial uma vez que caracterizam os processos de trocas de energia e matéria com o exterior do sistema, também chamado de ambiente, entorno ou vizinhança.

Desta forma, os sistemas termodinâmicos costumam ser classificados em três categorias: sistemas isolados, fechados ou abertos.

Sistemas isolados não trocam energia, nem matéria com o ambiente. Os fechados trocam energia, mas não matéria e os abertos trocam tanto energia, quanto matéria com a vizinhança. O conjunto constituído pelo sistema e seu entorno é chamado de *universo*.

O universo é também interpretado como um amplo e finito conjunto isolado, palco de transferências energéticas e de massas. Assim, chamamos a atenção para o fato de que, em termodinâmica, temos liberdade para definir quem é o sistema, sua constituição e natureza de suas condições de contorno, desde que tais escolhas permitam a observação de trocas consideradas significativas entre sistema e vizinhança.

Estados de equilíbrio e processos termodinâmicos

As grandezas de um sistema, mensuráveis experimentalmente (como a temperatura, a pressão, volume, potencial químico, por exemplo), são chamadas de *variáveis de estado*, pois caracterizam o *estado* de um sistema termodinâmico num determinado instante.

Tais variáveis, junto à energia interna do sistema (U), também são designadas de “propriedades” de estado, diferentemente do trabalho (W) e do calor (Q), que representam formas de transferir energia, seja para dentro ou para fora do sistema.

O *estado de equilíbrio termodinâmico* de um sistema não se refere apenas o equilíbrio térmico, mas abrange também outras formas, podendo variar de acordo com o tipo de sistema de interesse. Por exemplo, se considerarmos um sistema composto por gases, confinados em um recipiente separado por uma parede móvel; se ela está em repouso, podemos dizer que o sistema está em equilíbrio mecânico. Isto significa que a pressão em qualquer dos lados da parede é igual. Analogamente, dizemos que dois sistemas estão em equilíbrio térmico quando apresentam a mesma temperatura.

Desta maneira, podemos dizer que a situação de equilíbrio de um sistema é atingida quando cada uma das variáveis de estado que o caracteriza possuir o mesmo valor em qualquer parte do sistema. Quando não satisfeita esta condição, dizemos que este se encontra em *estado de não equilíbrio termodinâmico*. A maior parte dos sistemas está fora do equilíbrio, fato que vamos abordar mais adiante.

Em relação aos processos em termodinâmica, quando qualquer uma das variáveis de estado citadas, variar, considera-se que o sistema passou por um *processo*. Por exemplo, um determinado sistema passa de um estado inicial caracterizado por T_i, V_i e P_i a um estado

final diferente - T_f , V_f e P_f - por meio de um processo. Dizemos que um *ciclo* foi executado quando um sistema retorna ao estado inicial após passar por um certo conjunto de processos.

Alguns tipos de processos são denominados de maneira especial. Por exemplo, denomina-se *quase estático* àquele no qual a diferença entre dois estados de equilíbrio é infinitesimal. Processos envolvendo diferenças finitas de equilíbrio, não são quase estáticos.

Estes processos, também se caracterizam pela manutenção de alguma propriedade do sistema: por exemplo, chamamos de isovolumétrico ou isocórico quando, durante um processo, o volume do sistema se mantém constante, ou isobárico e isotérmico quando permanecem fixas a pressão e a temperatura, respectivamente.

São chamados de *reversíveis* os processos cujo sentido da transformação pode ser invertido por uma variação infinitesimal em alguma propriedade do sistema. Por exemplo, supondo que a temperatura interna de um sistema de fronteira diatérmica é infinitesimalmente menor que em seu entorno, haverá um fluxo de calor das vizinhanças para o sistema. Entretanto, se a temperatura do sistema for um pouco maior que a da vizinhança, haverá um fluxo de calor no sentido oposto, num processo reversível e quase estático. Adiante voltaremos a falar de reversibilidade e irreversibilidade.

Primeira lei da termodinâmica

A primeira lei da Termodinâmica se refere à conservação da energia em sistemas termodinâmicos, ou em qualquer processo que se desenvolva entre dois estados de equilíbrio. Assim, conforme a expressão mais facilmente encontrada, tanto em livros de física de nível médio como de nível superior, a variação total de energia num sistema fechado é dada pela relação:

$$\Delta U = Q + W$$

Nela, ΔU é variação da energia interna do sistema, Q é a quantidade de energia transferida em forma de calor entre sistema e vizinhança devido à diferença de temperatura. W é o trabalho realizado pelo sistema (ou sobre ele) por forças que atuam através de suas paredes.

Para esta expressão, podemos considerar um sistema termodinâmico inicialmente num estado de equilíbrio i , no qual a energia interna U_i e as variáveis de estado possuem valores constantes conhecidos. Se este sistema interagir com seu entorno, sofrerá um

processo termodinâmico no qual calor e trabalho podem ser trocados. Por fim, um estado final de equilíbrio f será atingido, denotado por sua energia interna U_f .

Na perspectiva da primeira lei da termodinâmica, sendo a energia total (no universo considerado) uma entidade fixa, deveríamos poder presenciar processos reversíveis a todo o momento. Afinal, se a energia utilizada para ir de um estado a outro se conserva, a primeira lei não mostra restrição à idéia do fenômeno ocorrer em sentido reverso. É interessante destacar também que, em casos como este, a constância da quantidade de energia total instala uma simetria no tempo, por conta da dificuldade de se identificar qual foi a seqüência de estados pelo qual o sistema passou, ou seja, em qual sentido ocorreram as transformações. No entanto, transformações reversíveis são infinitamente lentas, sendo inviável sua observação ou reprodução.

Contudo, no “mundo real” processos irreversíveis ocorrem constantemente e deixam claro um sentido privilegiado das transformações termodinâmicas.

O problema do rendimento

A questão da reversibilidade e irreversibilidade esteve no cerne das origens da termodinâmica. Historicamente, esta ciência nasceu no cenário europeu da *Revolução Industrial*, quando transformações econômicas, tecnológicas e sociais marcaram a passagem de um sistema agrário e artesanal para outro de cunho industrial, dominado por fábricas e máquinas (PHYLLIS, 1973).

As primeiras máquinas utilizadas em substituição à energia muscular, eólica ou hidráulica foram as a vapor, criadas para bombear a água das minas de carvão. Nesta época, buscavam-se métodos de aperfeiçoamento destes equipamentos, razão que motivou cientistas a estudá-los.

Sadi Carnot, um dos interessados no assunto, tinha uma preocupação especial sobre o rendimento máximo que se poderia obter de um motor térmico. Os resultados de seus estudos foram publicados em um artigo¹⁰ que muito contribuiu para o desenvolvimento da termodinâmica.

Em termos gerais, máquinas térmicas são dispositivos que, operando em ciclo, realizam trabalho mecânico a partir do fornecimento de calor. Através de uma análise detalhada destes motores, Carnot concluiu que a obtenção do máximo rendimento seria possível se a máquina operasse por meio de processos reversíveis.

¹⁰ O artigo de Carnot “Réflexions sur la Puissance Motrice du Feu et sur les Machines Propres à Développer cette Puissance” foi publicado em 1824.

Além de infimamente lentos, devemos considerar as seguintes condições para que os processos possam ser entendidos como reversíveis:

- O trabalho realizado pelas forças de atrito, forças viscosas, ou outras forças dissipativas são desprezíveis.
- a condução de calor deve ocorrer apenas isotermicamente.
- os processos que descrevem o ciclo de funcionamento de um motor devem ser quase-estáticos, de modo que o sistema esteja sempre num estado de equilíbrio (ou infinitamente próximo a um estado de equilíbrio).

Para ocorrer um processo de troca de calor é necessário haver alguma diferença de temperatura entre sistema e vizinhança. Dessa forma, os valores da temperatura do corpo quente e do corpo frio podem ser tão próximos quanto se queira. Tal diferença infinitesimal de temperatura torna os processos demasiadamente lentos, correspondendo a uma potência extremamente baixa do motor. Por esta razão, considera-se os processos reversíveis inatingíveis na prática, o que justifica o caráter teórico e ideal do ciclo elaborado por Carnot.

Em seu trabalho, Carnot destacou a importância da fonte fria para o funcionamento da máquina, a influência das temperaturas das fontes na conversão de calor em trabalho, além da introdução da noção de ciclo reversível. O problema do rendimento dos motores térmicos independia do agente em operação da máquina ou de peças e mecanismos projetados, mas somente das temperaturas das fontes quente e fria. Matematicamente, expressamos o rendimento da máquina reversível de Carnot pela expressão: $n_R = 1 - T_2/T_1$, onde T_2 é a temperatura da fonte fria e T_1 a temperatura da fonte quente.

Assim, supondo um reservatório quente a uma temperatura de 400 K e um frio a 300 K, o rendimento ideal previsto por Carnot é de $1/4$. Isto significa que 75% da energia (calor) fornecida ao motor se tornará inaproveitável por ele próprio, enquanto 25% poderá ser convertido em trabalho. Ao aumentarmos a temperatura do reservatório quente para 600 K, por exemplo, o rendimento da máquina aumentará para 50%.

Deste modo, quanto maior a diferença de temperaturas entre as fontes quente e fria, maior será o rendimento da máquina. Entretanto, um fato ainda necessitava de explicação era de que, mesmo com um atrito desprezível, apenas parte do calor fornecido às máquinas térmicas reais se transforma em trabalho!

Sobre este fato, mais tarde reconhecido como uma manifestação fundamental da natureza, surgiram os vários enunciados, posteriormente atribuídos à segunda lei da termodinâmica.

Segunda lei da termodinâmica

Segundo Clausius, um estudioso da obra de Carnot, a passagem de calor do corpo frio para o corpo quente, ou seja, num sentido inverso ao usual, só poderia ocorrer acompanhada de mudanças vindas da realização de trabalho sobre o sistema: “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente” (NUSSENZVEIG, 2000).

Ou seja, na natureza não há fluxo de energia (calor) espontâneo de um corpo frio para um quente. Os refrigeradores, por exemplo - máquinas capazes realizar esse processo, só o fazem às custas de um outro mecanismo que fornece energia ao sistema por meio da realização de trabalho sobre o fluido que compõe o sistema.

Outro enunciado freqüentemente presente nos livros de física é de o Kelvin: “É impossível realizar um processo cujo único efeito seja remover calor de um reservatório térmico e produzir uma quantidade equivalente de trabalho” (NUSSENZVEIG, 2000).

Posto que máquinas térmicas reais, ao efetuar um ciclo, não são capazes de transformar integralmente todo calor absorvido da fonte quente em trabalho mecânico, nota-se, nesta formulação, a idéia da impossibilidade dos motores térmicos operarem com rendimento de 100%. Qualquer máquina térmica, para completar um ciclo, deve rejeitar, sempre, uma determinada quantidade de calor para a fonte fria. Se não fosse assim, o moto-perpétuo de segunda espécie se realizaria.

Embora os enunciados de Kelvin e Clausius para a Segunda Lei destacam aspectos distintos, podemos considerá-los equivalentes, pois refletem uma mesma idéia principal. A demonstração da equivalência dos enunciados pode ser encontrada em Nussenzveig (2000, p.207).

Entropia como indisponibilidade de energia

Os enunciados da segunda lei expressam, de certa forma, limites fundamentais na natureza.

Buscando compreender esta questão, Clausius se questionava sobre a natureza da irreversibilidade das transformações. Pretendia compreender como poderia explicar a existência de uma limitação na conversão do calor em trabalho mecânico.

Utilizando uma abordagem mecânica, Clausius interpretou as transformações como sobreposições de forças. Considerou a existência de uma força de resistência à transformação e uma “força ativa do calor”, proporcional à temperatura absoluta. Assim, expressou o quociente $\frac{Q}{T}$ como sendo o valor equivalente da transformação de trabalho em calor Q , a uma temperatura T .

Assume como positivas as transformações de trabalho em calor, e de calor de uma temperatura mais alta a calor a uma temperatura mais baixa. As transformações de calor em trabalho e de calor a uma temperatura mais baixa para mais alta foram consideradas negativas (ALBUQUERQUE, 1988).

Assim, em processos reversíveis (e cíclicos) as transformações ocorridas deveriam cancelar umas as outras, de modo que as grandezas que as representassem, teriam a soma algébrica dos seus valores igual zero. Portanto, o sentido das transformações poderia ser invertido e as mudanças internas (dos constituintes do corpo) desprezadas. Deste modo, concluiu que em processos cíclicos e reversíveis não era necessário dar atenção ao arranjo interno das moléculas.

Já nos processos irreversíveis e cíclicos, as transformações positivas estão em número maior ou igual à quantidade de transformações negativas ocorridas no sistema. Ou seja, pensando por meio de uma abordagem mecânica, um dos grupos de forças, seja de resistência, ou de força ativa de calor, é superior à outra. Esta consideração foi de extrema importância uma vez que definiu a existência de uma direção preferencial para as transformações. Neste caso, faz-se necessária uma análise dos componentes microscópicos da matéria.

Em relação ao que ocorre internamente no sistema, Clausius introduz um conceito para se referir à configuração dos constituintes das substâncias: a desagregação dos corpos.

Para que possamos representar a desagregação por meio de uma fórmula, devemos primeiro determiná-la como uma quantidade matemática. Expressaremos o grau no qual as moléculas de um corpo estão dispersas, introduzindo uma nova magnitude, que chamaremos de desagregação do corpo, e com a ajuda desta podemos definir o efeito do calor simplesmente tendendo a aumentar esta desagregação. (CLAUSIUS, 1862, in Benchmark, 1976, p.91).

Um corpo que recebe calor tem sua desagregação aumentada devido a uma maior dispersão de suas moléculas. Para o caso de processos irreversíveis, se a alteração da

desagregação é positiva, e a força do calor realiza trabalho, não é possível transformar todo o calor em trabalho, mas apenas parte dele.

Em seu artigo¹¹ publicado em 1867, Clausius chamou de entropia (S) a função que representa o conteúdo de transformação de um corpo, denominação feita a partir da palavra grega “ $\eta\zeta\rho\omicron\pi\acute{\eta}$ ”, que significa transformação.

Assim, a esta impossibilidade de obter processos reversíveis na prática estava relacionada à existência de uma direção privilegiada para as transformações.

Nos processos irreversíveis o rendimento só pode ser menor do que nos reversíveis, já que apenas uma pequena parcela de calor cedido da fonte quente será convertida em trabalho. Portanto, a quantidade de calor recebida pelo reservatório frio é maior que a cedida pelo quente e a variação da entropia é maior que zero ($dS > 0$).

Desta forma, num ciclo irreversível, o sistema fornece mais calor ao ambiente, o que se traduz em uma dissipação de parte de sua energia mecânica. Conseqüentemente, a entropia do ambiente aumenta.

Clausius definiu uma função S que depende apenas dos estados inicial e final para processos reversíveis. Para ciclos reversíveis, a temperatura do sistema e das fontes térmicas são consideradas iguais durante as trocas de calor, e assim, pode-se escrever:

$$dS = \frac{dQ}{T} \text{ e } \oint \frac{dQ}{T} = 0$$

Para ciclos irreversíveis, que possuem rendimento inferior aos reversíveis:

$$dS > \frac{dQ}{T} \text{ e } \oint \frac{dQ}{T} < 0$$

Por fim, a formulação da segunda lei por Clausius determinou um limite da possibilidade de transformação do calor em trabalho. Nos processos irreversíveis, ainda que a energia se conserve em quantidade, parte dela sempre se tornará inutilizável, irrecuperável para ser utilizada novamente no ciclo.

De acordo com Albuquerque (1988), uma complementaridade pode ser observada entre a primeira e a segunda lei: na medida em que a primeira lei determina que a energia se conserva, ela é complementada e limitada pela idéia de transformação.

Noção estatística da entropia

¹¹ “On Different Forms of the Fundamental Equations of Mechanical Theory of Heat and their Convenience for Application”

No final do século XIX, a irreversibilidade dos processos espontâneos na natureza não mostrava coerência com as leis da mecânica, trazendo um certo incômodo para a comunidade científica. Um dos cientistas preocupados com esta questão era Ludwig Boltzmann.

A compreensão do fenômeno em bases mecânicas proporcionava muitas limitações. Com o tempo, Boltzmann foi reconhecendo a necessidade de introduzir conceitos puramente estatísticos para a compreensão da irreversibilidade e da segunda lei. Nesta época, Maxwell e Gibbs já haviam explicitado a idéia de que o aumento da entropia tinha um caráter probabilístico e que não poderia ser deduzido somente por meio da teoria da mecânica. Contudo, foi Boltzmann quem precisou como a entropia se relaciona com probabilidades, criando assim, a base da mecânica estatística (HELMAN & GRINSTEIN, 1988).

Para fornecermos uma breve noção da interpretação estatística dada à entropia, vamos considerar o exemplo da expansão livre de um gás, encontrado em Nussenzveig, (2000, p. 284).

Um recipiente fechado é dividido ao meio por uma partição. Para um tempo $t < 0$ s, um gás é confinado do lado esquerdo do recipiente (lado a), e do lado direito (lado b) é feito vácuo.

No instante $t = 0$ s remove-se a partição. O gás passa a se difundir para o outro lado do recipiente, num processo irreversível, até que atinja um novo estado de equilíbrio térmico. Nesta situação, a porção gasosa está distribuída de modo uniforme por todo o recipiente.

Se tomarmos cada colisão das moléculas deste gás como reversível, o processo inverso seria possível. Para tanto, as velocidades de todas as moléculas deveriam ser invertidas, caracterizando a situação como altamente improvável, embora possível! Assim, configurações em que as moléculas estão distribuídas de maneira uniforme nas duas metades do recipiente são mais prováveis do que aquelas nas quais o gás estaria em apenas uma das metades.

A localização das moléculas nos lados a e b correspondem à descrição de um microestado, ao passo que o macroestado representa a caracterização do estado do gás pela sua densidade em várias regiões macroscópicas. A cada macroestado podemos associar diversos microestados diferentes.

Se for associada igual probabilidade a cada microestado possível, “o macroestado mais provável é aquele que pode ser realizado pelo maior número possível de microestados

diferentes” (NUSENSVEIG, 2000, p. 287). E assim, este estado mais provável corresponde a uma distribuição uniforme de moléculas.

Se o macroestado de um sistema evolui no sentido crescente das probabilidades, implicando num aumento da entropia do sistema, esta pode ser considerada como uma medida da probabilidade termodinâmica. Quanto maior o número de estados acessíveis, maior a entropia (BORGES, 1999).

Boltzmann propôs a seguinte relação entre os estados macroscópicos e a entropia:

$$S = k \cdot \ln W$$

Onde k é uma constante positiva, e W é o número de estados macroscópicos que corresponde ao estado macroscópico cuja entropia é S (PRIGOGINE, 1999).

Entropia e a seta do tempo

Se para Clausius a entropia do universo sempre aumenta, após Boltzmann, este aumento foi associado à desordem, numa perspectiva das probabilidades. Mas ambas as interpretações podem se complementar.

A desordem final alcançada pelos processos da natureza está relacionada com a tendência dos sistemas de atingir a uniformidade da temperatura, pressão, composição, etc. Chegando a este estado, todos os processos ou transformações físicas, químicas ou biológicas cessarão. Logo, embora quantitativamente a energia se conserva (1ª lei da termodinâmica), parte dela vai se degradando a cada transformação, tornando-se indisponível para a realização dessa mesma transformação.

Por exemplo, se misturarmos uma massa de água quente com uma porção de água fria, no final, sabemos que a mistura atingirá uma temperatura de equilíbrio. Desta forma, o estado para o qual o sistema evolui apresenta uniformidade da temperatura, a qual atribuímos um estado de maior desordem. Ou seja, embora a energia tenha se conservado quantitativamente, não é mais possível convertê-la em trabalho. A noção de ordem e desordem está associada a impossibilidade de reaproveitamento da energia dissipada no processo que a transformou, ou seja, chamamos de ordenado o sistema que tem diferenças de potencial que possam ser transformados em trabalho.

Assim, sendo o estado final o de maior desordem, atribuí-se um sentido preferencial de transformação dos sistemas termodinâmicos, o sentido da ordem para a desordem. De outro modo, dizemos que a segunda lei da termodinâmica implica na existência de um sentido para os fenômenos da natureza, o qual pode indicar uma “seta do tempo”, a qual

permitiria distinguir eventos passados em função da possibilidade de reconhecer seu estado de maior ou menor entropia.

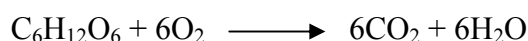
Ora, mas se existe um sentido preferencial para as transformações da natureza, temos sempre de esperar que parte da energia se torne irrecuperável. Como uma generalização da segunda lei da termodinâmica, Lorde Kelvin, em 1852, considerou que se o trânsito da energia térmica entre dois corpos com temperaturas diferentes (calor) sempre vai do corpo mais quente para o mais frio até atingir o equilíbrio térmico, haverá um dia em que todo o universo alcançará a situação de equilíbrio. Neste estado final, o universo possuirá a mesma temperatura, não haverá diferenças de potencial térmico, ou seja, nenhuma transformação de energia poderá ocorrer. Tal conclusão ficou conhecida como “morte térmica do universo” (GAMOW, 1963).

Desordem na bioquímica

Num livro didático de Bioquímica, o significado dado ao conceito de entropia, considerando os processos metabólicos, está relacionado à desordem e à seta do tempo. Como neste trabalho estamos preocupados com a entropia e sua relação com a alimentação, é importante deixar registrado este ponto de vista.

De acordo com Lehninger (2006), quando os produtos de uma reação química são menos complexos e mais “desordenados” que os reagentes, diz-se que a reação ocorre com um ganho de entropia.

Por exemplo, considerando a reação da respiração celular, *uma* molécula de glicose somada a seis moléculas de oxigênio, reagem, tornando-se presentes num total de *doze* moléculas. Em outras palavras, quando a molécula de glicose é oxidada, formando seis moléculas de CO₂ e seis de H₂O, seus átomos de carbono provocam um aumento na desordem, pois estão mais separados uns dos outros, podendo assumir outras posições diferentes entre si (o que corresponde a um maior número possível de diferentes microestados). Como consequência, a molécula de glicose sofre uma perda de energia útil, ou seja, a forma de energia capaz de realizar trabalho.



Os bioquímicos consideram haver um aumento na desordem molecular, conseqüentemente de entropia, sempre que uma reação química ocorre de modo a haver um aumento no número de moléculas. Afinal, isso permite um maior número de microestados, por exemplo, quando uma substância sólida como a glicose é convertida em produtos líquidos ou gasosos, os quais têm maior grau de liberdade para se movimentar.

Quando os produtos de uma reação são menos complexos e mais desordenados que os reagentes, pode-se dizer que na reação ocorre com um aumento de entropia ($\Delta S > 0$). Quando a reação gera produtos mais complexos e menos desordenados, considera-se que a reação ocorre com diminuição de entropia ($\Delta S < 0$).

Segundo Lehninger (2006), o fato de não ocorrer um aumento de entropia no próprio sistema reativo não viola a segunda lei da termodinâmica, pois a entropia do universo continua a aumentar durante todos os processos químicos e físicos. Adiante comentaremos o fato de que a ordem produzida dentro das células, à medida que elas crescem e se dividem é mais do que compensada pela desordem que elas criam no ambiente.

4.3 Sistemas em equilíbrio e fora dele

Em geral, os cursos de termodinâmica em nível médio e superior de ensino dedicam-se à termodinâmica do equilíbrio, isto é, à análise de estados de equilíbrio. Porém, hoje, uma compreensão sobre sistemas, menos idealizada e mais próxima da realidade, é possível se levarmos em conta situações de não equilíbrio (PRIGOGINE, 1999, 1997).

De acordo com Prigogine (1999), grande parte dos sistemas fora do equilíbrio estão, pelo menos localmente¹², próximos ao equilíbrio ou em estado de equilíbrio dinâmico, o que permite que sejam tratados pela termodinâmica de não equilíbrio.

Para tanto, é conveniente introduzirmos a função de “balanço de entropia”: $dS = d_eS + d_iS$ e a função produção de entropia: $P = d_iS/dt$. A primeira expressão é utilizada para descrever a evolução de todo o sistema termodinâmico. O termo d_eS está relacionado aos fluxos de entropia entre sistema e vizinhança. O segundo termo refere-se à produção de entropia devido aos fenômenos irreversíveis. d_iS possui sinal positivo, podendo se anular quando em equilíbrio termodinâmico (PRIGOGINE, 1997, WAGENSBERG & LURIÉ, 1979).

A Figura 1 refere-se a um esquema apresentado em Prigogine (1999) ilustrando a decomposição da variação de entropia de um sistema em dois termos, d_eS e d_iS , ligados respectivamente às trocas de matéria e energia entre sistema e entorno, e aos processos irreversíveis internos.

¹² Trata-se da *hipótese do equilíbrio local*, na qual cada um dos pontos do sistema pode ser considerado em equilíbrio com os pontos imediatamente vizinhos. Graças a esta hipótese as fórmulas da termodinâmica de equilíbrio conservam uma validade local (EINAUDI, 1993).

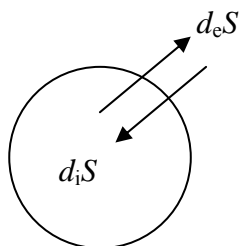


Figura 4.1: representação da decomposição da variação da entropia em sistemas abertos (PRIGOGINE, 1999, p. 78).

A relação $P = d_i S/dt$ expressa a produção de entropia por unidade de tempo. O cálculo de “ P ” permite classificar os sistemas em três domínios: no equilíbrio, próximo ao equilíbrio e longe do equilíbrio. Estas categorias estão descritas em detalhes em Prigogine (1999, 1997).

Termodinâmica do equilíbrio

O domínio do estudo sobre os sistemas em equilíbrio refere-se à termodinâmica clássica, desenvolvida principalmente no século XIX, e que lida com sistemas isolados ou fechados. De acordo com Callen (1985) o principal problema da termodinâmica do equilíbrio é prever para qual novo estado (de equilíbrio) o sistema deve evoluir após sofrer uma restrição interna¹³.

A observação de sistemas nestas condições nos faz perceber que não há uma preocupação com sua evolução temporal e estágios intermediários, mas somente com os estados inicial e final. O conhecimento destes permite conhecer o sentido do processo e o gasto energético envolvido.

Um aspecto fundamental da termodinâmica de equilíbrio é a associação estabelecida entre a segunda lei e os “princípios de extremo”. Por exemplo: a evolução para o estado de equilíbrio de todos os sistemas isolados ocorre de tal forma que a entropia atinge um valor máximo. Este resultado é consequência de processos irreversíveis internos, responsáveis por fazer a entropia crescer até atingir o maior valor compatível com os constrangimentos impostos ao sistema.

Vamos considerar um sistema formado por dois subsistemas onde há uma diferença de temperatura (que pode ser mantida por meio de uma parede adiabática, ou por uma

¹³ Como a natureza das condições de contorno do sistema pode ser fixa, móvel, adiabática e etc, consideramos haver alteração de uma restrição interna quando, num certo instante, a parede fixa, que não permitia a ocorrência de trabalho passa a ser móvel, ou a parede considerada adiabática (não permitia passagem de calor) passa a ser diatérmica (deixando passar o calor), por exemplo (CALLEN, 1985).

diferença de pressão às custas de uma parede fixa, ou por uma diferença de potencial químico devido à impermeabilidade das paredes do sistema, etc.) Estes subsistemas estão isolados do universo, embora entre si possam trocar energia. Se retirarmos, de repente, alguma das restrições das condições de contorno, o princípio da maximização da entropia prevê que o sistema evolui para um novo estado de equilíbrio, de modo que ambos os subsistemas possuirão a mesma temperatura. O novo estado de equilíbrio atingido pelo sistema é então caracterizado pelo fato de que a entropia foi maximizada.

Prigogine (1999) acrescenta que, neste estado de equilíbrio alcançado pelo sistema, a produção de entropia por unidade de tempo no equilíbrio se anula ($P = d_i S/dt = 0$), tornando-a invariante em relação ao tempo. A equação do balanço de entropia assume valor zero ($dS = 0$).

Entretanto, além dos sistemas isolados, para o caso daqueles mantidos à pressão e temperatura constantes, a variação de entropia é positiva ($d_i S > 0$), o que pode levar determinadas funções termodinâmicas à valores extremos (máximo e mínimo). Tais funções são denominadas *potenciais termodinâmicos*. (Este nome foi dado por analogia aos potenciais associados às forças mecânicas, na qual os mínimos correspondem a pontos de equilíbrio). Desta forma, a evolução do sistema para o estado de equilíbrio corresponde ao fato de que uma determinada grandeza termodinâmica (potencial termodinâmico) assumirá um valor extremo.

Em síntese, sistemas de equilíbrio somente podem evoluir para estados cujo valor da entropia ou aumenta, ou permanece constante. Por conseqüência, a entropia do universo sempre cresce.

Prigogine (1997) descreve estes sistemas como “imortais”, que uma vez formados podem ser isolados do mundo e permanecer assim indefinidamente.

Para conseguir um sistema em equilíbrio, é necessário protegê-lo dos fluxos que constituem a natureza, é preciso ‘pô-lo numa redoma’(...) No mundo que conhecemos, o equilíbrio é um estado raro e precário, a evolução para o equilíbrio, por seu turno, implica um mundo suficientemente afastado do sol (...) (PRIGOGINE, 1997, p. 102).

Segundo Prigogine (1999) os processos irreversíveis serão anulados após levar o sistema pra o estado de equilíbrio. Nesta situação, as variáveis de estado que o caracterizam assumem valores “constantes”. No entanto, estes valores fixos, aos quais nos referimos, na verdade, admitem determinadas flutuações, isto é, faixas de variação em torno de valores médios de tais grandezas. Deste modo, a pressão, a temperatura e a

densidade, por exemplo, estão sujeitas a pequenas flutuações em torno de seus valores médios (KAWAMURA, 2008, PRIGOGINE, 1999).

Ainda assim, estamos tratando de comportamentos estáveis: as flutuações retrocedem e impossibilitam a variação do estado macroscópico do sistema. Prigogine (1999) justifica este retorno ao equilíbrio pelo fato de que, como em sistemas isolados a entropia atinge um valor máximo, resta às eventuais flutuações diminuir a entropia. Em resposta a estas flutuações, os processos irreversíveis associados à produção de entropia trazem de volta o sistema ao estado de equilíbrio.

Termodinâmica fora do equilíbrio

Sistemas isolados e em equilíbrio não nos são comuns. Em proporção muito maior podemos observar fluxos de energia e matéria provindos do ambiente transitando por sistemas diversos. Tais fluxos, junto à imposição de determinadas condições de contorno são fundamentais para manter estes sistemas fora do equilíbrio (PRIGOGINE, 1997).

Além disso, enquanto os isolados representam situações bastante restritas e só podem evoluir para estados mais desordenados ou com o mesmo nível de desordem que os iniciais, os sistemas abertos têm a chance de apresentar *ordem* interna (KAWAMURA, 2008).

Como o conceito de *ordem* em física é bastante amplo, é importante informarmos a noção que vamos utilizar. Prigogine & Stengers (1993) esclarecem algumas possíveis interpretações. Por exemplo, pode-se compreender o conceito de ordem do ponto de vista da teoria da informação, assim como na perspectiva da dinâmica ou da estatística, etc.

No entanto, para nós, neste trabalho interdisciplinar, não é interessante utilizar este conceito de forma muito específica. Ao contrário, buscamos uma definição mais geral, capaz de dar conta do organismo como um todo. Assim, nos pareceu bastante adequado definir a *ordem interna* de um sistema como “uma complexa organização que permite o funcionamento de diferentes estruturas em diferentes níveis” (KAWAMURA, 2002).

De acordo com Wagensberg & Lurié (1979) e Prigogine (1999), casos de auto-organização ocorrem por conta de flutuações ocorridas a partir de uma certa distância do equilíbrio, isto é, a partir de determinado limiar ou valor da coerção imposta. Para Prigogine (1997, 1999) uma característica que se destaca nos sistemas “longe do equilíbrio” é o fato de não apresentarem potenciais termodinâmicos propensos a assumir valores extremos. E assim, flutuações de grandezas termodinâmicas de origem interna ou

externa podem conduzir o sistema para estados mais organizados, permitindo o surgimento de novas estruturas.

Por exemplo, o experimento denominado “instabilidade de Rayleigh-Bénard” ilustra a capacidade de um sistema fora do equilíbrio de se auto-organizar espontaneamente. Trata-se de uma experiência na qual um gradiente de temperatura é imposto a uma camada horizontal de um fluido viscoso. A superfície inferior é aquecida até uma temperatura maior que a superior. Por difusão, o calor passa permanentemente de baixo para cima. Na linguagem de sistemas dinâmicos, denomina-se *parâmetro de controle* o gradiente de temperatura imposto ao sistema (FIEDLER-FERRARA & PRADO, 1994).

A partir de um determinado valor do parâmetro de controle, o sistema torna-se instável: ao invés de regressar, como no caso do equilíbrio, flutuações de determinadas variáveis de estado são ampliadas a todo o sistema, fazendo com que, macroscopicamente, o fluido passe a se mover de modo ordenado, formando células hexagonais de convecção. Bilhões de moléculas promovem o movimento do líquido de forma a construir padrões macroscópicos que evoluem no espaço e no tempo. Este movimento coerente e rotacional se justifica pelo fato de que o fluido, na camada superior, é mais denso e menos quente, tendendo a descer. Já na camada inferior tende a subir porque é mais quente e, portanto, menos denso. Com esta configuração, o transporte de calor é acelerado e a produção de entropia é aumentada. Trata-se de um processo dissipativo, no qual o gradiente de temperatura, ao alimentar incessantemente um sistema aberto, permite a condução de novas estruturas, as *estruturas dissipativas* (PRIGOGINE, 1997).

Podemos considerar a estrutura dissipativa como uma flutuação amplificada, agigantada e estabilizada pela sua interação com meio; limitar-nos-emos aqui a sublinhar o ponto principal: enquanto a ordem de equilíbrio, de que o cristal constitui a melhor ilustração, é uma ordem espacial, intrinsecamente inerte, e capaz de se manter indefinidamente sem fornecimento de energia, a “ordem por flutuação”, que pode aparecer longe do equilíbrio, não se mantém se não for constantemente fornecida pelo meio, à custa de uma dissipação permanente de energia e de matéria; trata-se de uma organização espaço temporal intrinsecamente ativa, cujo regime de funcionamento une indissociavelmente estruturação espacial e atividade química (PRIGOGINE & STENGERS, 1993, p.63)

O nome “estrutura dissipativa” foi escolhido pelo autor para mostrar que dissipação de energia não está necessariamente associada ao desperdício, mas à *fonte de ordem* quando em domínio longe do equilíbrio (PRIGOGINE, 1997).

Além deste exemplo, podemos citar muitos outros interessantes e que podem ser observados fora do laboratório. Ora, nosso planeta, a atmosfera e oceanos, células animais ou vegetais, países e cidades não estão em equilíbrio termodinâmico.

Assim, aos elementos acima podemos associar modelos de sistemas abertos, que apresentam, ao contrário da desordem, diversos tipos de organização.

Ordem e desordem nos sistemas vivos

Questões sobre “sistemas vivos”, suas origens e formas de manutenção foram assuntos, tradicionalmente, de interesse de biólogos. Morfologistas, até o século XVIII, descreviam os seres vivos como espécies fixas, imutáveis, numa abordagem relacionada à criação divina. (MEDAWAR & MEDAWAR, 1978).

Esta visão alterou-se significativamente com a publicação de “A origem das espécies” de Darwin (1859) e sua teoria da evolução, e com os experimentos de Mendel sobre hereditariedade. Logo, no século XIX, a atenção dos biólogos voltava-se para o *gene*¹⁴, considerado a chave para a natureza da vida (HULL, 1975; McKUSICK, 1971).

Neste cenário, enquanto na biologia a transmissão de características entre gerações refletia a grande especificidade e complexidade dos seres vivos, no campo da física, a previsão era a desordem termodinâmica como um fim inevitável. Esta é uma famosa e aparente contradição do século XIX, que motivou cientistas como Erwin Schrödinger a se debruçar sobre a questão.

Em 1944, as palestras ministradas Schrödinger sobre a manutenção de sistemas vivos e fenômenos de evolução e seleção natural foram publicadas no livro “O que é vida”, alcançando grande repercussão internacional. O fato de um físico considerar problemas biológicos também acabou por fomentar a pesquisa científica sobre o assunto.

Nesta obra, a respeito da ordem presente nos organismos, Schrödinger chama a atenção para dois “mecanismos” de naturezas diferentes. O primeiro deles se refere à termodinâmica e a hereditariedade, isto é, a maneira pela qual os organismos transmitem informação entre gerações:

... para conciliar a elevada durabilidade da substância hereditária, com seu diminuto tamanho, tivemos de escapar à tendência para a desordem através da ‘invenção de uma molécula’, de fato, uma molécula

¹⁴ Mendel, em sua obra datada de 1865, concluiu haver a existência de partículas hereditárias, denominadas genes, transmitidas de pai para filho na reprodução. Hoje sabemos que o gene corresponde a pedaços da molécula de DNA (ácido desoxirribonucléico) (MEDAWAR & MEDAWAR, 1978).

incomumente grande, uma obra prima de ordem altamente diferenciada, salvaguardada pela vara de condão da teoria quântica. (...) A vida parece ser um comportamento bem ordenado e regrado de matéria, não exclusivamente baseado na tendência desta de passar da ordem para a desordem, mas baseado parcialmente em uma ordem que é mantida (SCHRÖDINGER, 1944, p. 80)

Assim, a preservação da informação genética era essencial para a manutenção da vida a partir das próprias espécies. A informação estaria armazenada sob forma de um código presente na estrutura do *gene*, o qual Schrödinger comparou a um cristal aperiódico:

(...) a parte mais essencial de uma célula viva – a fibra cromossômica – pode ser propriamente chamada de cristal aperiódico. Em física, temos lidado até hoje com cristais periódicos. Para a modesta mente de um físico, esses são objetos bastante interessantes e complicados. (...) Mesmo assim, comparados com o cristal aperiódico, elas [*as estruturas dos cristais*] são simples e sem graça. A diferença em termos de estrutura é do mesmo tipo que aquela entre um papel de parede comum, no qual o mesmo padrão é repetido indefinidamente em uma periodicidade regular e uma obra prima de bordado, uma tapeçaria de Rafael, digamos, que não mostra repetições simples, mas antes, um desenho elaborado, coerente e significativo traçado pelo grande mestre (SCHRÖDINGER, 1944, p. 19).

De acordo com Medawar & Medawar (1978), Schrödinger foi um dos primeiros cientistas a descrever os cromossomos¹⁵ como veículos de um código genético. Sua idéia “ganhou forma” em meados do século XX, com os trabalhos de Watson e Crick sobre a estrutura do DNA (ácido desoxirribonucléico).

O outro mecanismo importante apontado pelo físico é o da “ordem a partir da desordem”. Seres vivos como as plantas, por exemplo, sintetizam moléculas desorganizadas presentes no ambiente (atmosfera terrestre) para a manutenção da ordem interna, o que garante sua sobrevivência.

Assim, estes dois mecanismos parecem se complementar. Segundo Scheneider & Kay (1997), a *ordem a partir da desordem* permite o surgimento da vida por meio de fluxos e gradientes termodinâmicos impostos a sistemas fora do equilíbrio. Já a *ordem a partir da ordem* garante sua continuidade, por conta da preservação de uma informação genética.

Em relação à manutenção dos sistemas vivos, Schrödinger se refere aos organismos como seres enigmáticos, devido à capacidade de evitar o estado de equilíbrio, ou seja, a

¹⁵ Cromossomo é o nome dado a uma seqüência de genes (MEDAWAR & MEDAWAR, 1978).

morte. É neste momento que traz a tona a questão da alimentação e sua importância física para a vida.

Como um organismo evita o decaimento? A resposta óbvia é: comendo, bebendo, respirando e (no caso das plantas, assimilando). O termo técnico é metabolismo (SCHRÖDINGER, 1944, p.82).

Referindo-se ao metabolismo, palavra de origem grega que significa *troca* ou *mudança*, questiona: qual seria a vantagem da troca pura e simples de um átomo por qualquer outro de seu tipo, ou de uma caloria por outra exatamente igual num organismo? O que os alimentos têm de tão precioso capaz de nos manterem afastados da morte? (SCHRÖDINGER, 1944).

Sendo os organismos vivos sistemas abertos, fora do equilíbrio, caracterizados por constantes fluxos de energia e matéria, o próprio responde:

(...) a forma pela qual um organismo se mantém estacionário em um nível razoavelmente alto de ordem (= nível razoavelmente baixo de entropia) realmente consiste em absorver ordem de seu meio ambiente (...) Na verdade, conhecemos bem o tipo de ordem da qual se sustentam, ou seja, o estado extremamente bem ordenado da matéria em compostos orgânicos mais ou menos complexos que lhes servem de alimento. Depois de utilizá-lo, devolvem-no em uma forma muito degradada – não inteiramente degradada, todavia, pois plantas ainda podem usá-lo. (Estas é claro tem na luz solar seu fornecimento mais potente de entropia negativa (SCHRÖDINGER, 1944, p. 85).

Desta forma, mantemos nossa ordem interna criando a desordem no meio externo. Permanecemos afastados da morte extraindo, incessantemente, entropia negativa do ambiente.

Um organismo se alimenta, na verdade, de entropia negativa. Ou, exprimindo o mesmo de um modo menos paradoxal, o essencial no metabolismo é que o organismo tenha sucesso em se livrar de toda a entropia que ele não pode deixar de produzir por estar vivo (SCHRÖDINGER, 1944, p.83).

Os seres vivos podem ser considerados como sistemas fora do equilíbrio. Os organismos retiram energia do meio externo e a processam para produzir, internamente, um estado mais organizado. Nosso nível local de organização é mantido à custa de um maior orçamento de entropia no ambiente.

Um modelo de sistema para o “corpo humano”

Por depender de trocas permanentes com o entorno, associaremos ao corpo humano a imagem de um sistema termodinâmico aberto, fora do equilíbrio, dotado de elevada

ordem interna: cerca de cem trilhões de células estão organizadas em estruturas funcionais distintas, de modo a possibilitar, em conjunto, sua sobrevivência (GUYTON, 1996).

De modo a não perder de vista os diversos níveis e dimensões de ordem apresentados pelos organismos, vamos descrever este modelo termodinâmico como um sistema que recebe e transforma um determinado fluxo de matéria e energia do ambiente e devolve outro. Manteremos assim a nossa atenção nas trocas entre sistema e vizinhança e não às inúmeras reações e processos físicos, químicos e biológicos que ocorrem a todo instante no sistema. As únicas características que pontuaremos sobre o interior do sistema é sua elevada ordem e que é realizado trabalho interno com a energia recebida.

Seguindo a descrição deste modelo, vamos nos remeter basicamente a dois aspectos do conceito de entropia. Um primeiro sobre a relação entre o sistema e a capacidade de transformação que a energia apresenta quando inserida nele, e um segundo levando em conta o aporte de Schrödinger sobre a alimentação.

Em geral, os livros didáticos de Física para Ciências Biológicas em nível superior (como os analisados no capítulo 5), referem-se à entropia da seguinte forma: embora a energia seja uma grandeza que se conserva quantitativamente no universo (aqui representado pelo corpo humano e ambiente), parte dela se degrada. Trata-se da complementaridade e limitação que observamos anteriormente (capítulo 4) sobre a primeira e a segunda lei. Assim, de forma espontânea, a energia se transforma em formas menos utilizáveis, ainda que mantenha sua quantidade fixa. Deste modo, podemos dizer que, quanto menor a entropia de um sistema, maior é a quantidade de energia útil que dispõe para a realização de trabalho.

Nesta perspectiva, posto que o sistema atribuído ao organismo humano é dotado de elevada ordem interna, e que necessita dispor de boa parcela de energia útil para sua manutenção, cabe a nós considerá-lo como um sistema de baixa entropia, garantindo assim a energia necessária para realização das diversas reações e processos químicos do metabolismo.

Alguns livros de Biofísica como Durán (2003), procuram descrever de modo aproximado determinados aspectos do sistema apresentando esquemas como este:

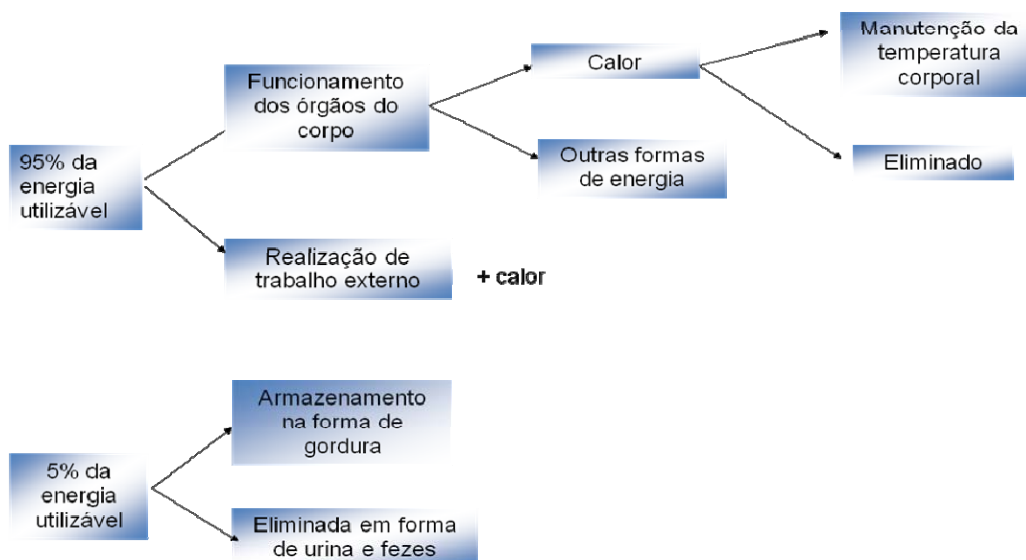


Figura 4.2: Transformações de energia utilizável no corpo humano (DURÁN, 2003, p. 95).

Como dissemos, não vamos nos ater na figura às transformações de energia que ocorrem no sistema, mas à necessidade da energia estar presente de forma acessível ao organismo, seja em quantidade ou na capacidade de ser aproveitada (assunto que será tratado no capítulo 7) e ao fato de que uma parcela da energia e matéria é transformada em calor e materiais a serem eliminados.

Desta maneira, o homem importa do ambiente uma forma de energia específica, designada na figura 2 de “energia utilizável”, passível de ser utilizada em determinadas condições, como valores fixos de temperatura e pressão (LEHNINGER, 2006). Em compensação, uma outra quantidade de energia é repostada ao ambiente sob forma degradada, representada no esquema pela exclusão de parcelas de calor e demais materiais. Deste modo, cresce a desordem no ambiente enquanto o sistema conserva organizada sua estrutura. Logo, a entropia do universo aumenta, e a segunda lei da termodinâmica não é violada.

Para que continuemos nossa descrição, vamos considerar a manutenção da estrutura interna do sistema ao longo do tempo. Como a quantidade de energia em um indivíduo adulto pode ser considerada como constante (SCHRÖDINGER, 1944), é conveniente tomarmos também a constância dos fluxos que perpassam pelo sistema. Assim, a velocidade de transferência de matéria e energia do ambiente para o sistema é compensada pela velocidade de transferência das mesmas para o meio externo. Esta condição é designada de *estado estacionário* (LEHNINGER, 2006, VOLKENSHTEIN, 1985). Desta

forma, neste modelo, estamos considerando a hipótese de que o fluxo de matéria que entra é igual ao que sai do sistema.

Retomaremos então, para este sistema aberto, a variação da entropia pela soma dos termos produzidos em seu interior e proveniente do meio externo: $dS = d_eS + d_iS$.

No que se refere ao modelo “corpo humano”, d_iS representa a produção de entropia devido às reações químicas internas, e d_eS o fluxo de entropia devido a permanente interação com o sistema, isto é, trocas de matéria e energia por conta da respiração, alimentação, etc.

Para atrelar esta descrição ao aporte de Schrödinger, vamos considerar o equilíbrio entrópico do sistema: $dS = 0$, o que implica que: $d_eS = -d_iS < 0$.

Ou seja, a variação de entropia d_iS devido aos processos irreversíveis do corpo é compensada pelo fluxo de calor ou de matéria proveniente da vizinhança, devido ao termo d_eS ser negativo. Lembrando que parte significativa deste fluxo é constituída pela alimentação, podemos incluir a esta descrição à máxima de Schrödinger:

Um organismo se alimenta, na verdade, de entropia negativa
(SCHRÖDINGER, 1944. p. 83).

A igualdade $dS = 0$ também pode ser justificada pela compensação entre os termos d_iS , a expressar toda entropia que o sistema não pode deixar de produzir por estar vivo, e o negativo de d_eS , revelando o papel fundamental dos alimentos para a manutenção da ordem do sistema, e assim, da vida.

No entanto, nós acreditamos que a variação de entropia total entre sistema e ambiente não seja exatamente nula, mas quase nula. Sendo o resultando deste balanço um número positivo, uma parcela de entropia restante no sistema pode ser associada ao envelhecimento do organismo.

Considerações

A descrição qualitativa de um modelo de sistema para o “corpo humano” nos exigiu estender a termodinâmica para o domínio fora do equilíbrio. Afinal, o equilíbrio é um estado raro, que necessita de paredes capazes de fechar ou isolar totalmente um sistema, mantendo-o livre das inúmeras perturbações que a natureza pode propiciar.

Os sistemas abertos, vivos ou não, podem apresentar ordem interna, desde que sobre determinadas condições. Para estes casos, o conceito de entropia ganha bastante expressão, e ao invés de ter somente implicações no que diz respeito ao crescimento da desordem, passa a ser fundamental para o estabelecimento da ordem interna.

É neste sentido que compreendemos o papel da alimentação do ponto de vista da Física. A energia fornecida ao organismo é proveniente da alimentação em sua maior parte (LEHNINGER, 2006, VOLKENSHEIN, 1985). Por estar vivo, ocorrem numerosas reações químicas, processos físicos e biológicos no corpo humano, que acabam por se traduzir em uma variação de entropia interna positiva $d_i S > 0$. Contudo, admitindo que o sistema encontra-se em estado estacionário, sobretudo em equilíbrio entrópico, deve resultar nula a variação da entropia total, entre sistema e vizinhança. E assim, como é o ambiente externo quem nos providencia determinados tipos de matéria e energia, o termo que os representa assume valor negativo.

Desta forma, do ponto de vista da física, a vida pode ser considerada como um sistema fora do equilíbrio que se mantém organizado às custas do aumento de entropia no meio externo. A segunda lei da termodinâmica não é violada uma vez que no universo a entropia cresce.

Como disse Schrödinger (1944), um átomo, pertencente a um alimento é equivalente a outro de mesmo número atômico, assim como uma caloria também é idêntica a qualquer outra. Dessa forma, a necessidade de nos alimentarmos diariamente acaba por ter um significado mais amplo – a da manutenção de uma determinada ordem ou estrutura organizada, no sentido expresso por Kawamura (2002).

A grande especificidade deste fluxo de energia e matéria que o modelo de sistema “corpo humano” deve receber para se manter vivo nos permitirá estabelecer relações entre a física e a nutrição no último capítulo.

Capítulo 5

Abordagens e concepções: alimentação do ponto de vista da física

5.1. Hipóteses de trabalho

A fim de inserir nosso trabalho na área de ensino de física, planejamos a proposição de um curso (SODRÉ & MATTOS, 2007) para professores de Física em serviço, que fosse capaz de explicitar a importância do conceito termodinâmico de entropia em contexto interdisciplinar, em particular na Nutrição.

Deste modo, conhecer as concepções de educadores sobre o tema nos possibilitaria elaborar uma proposta que, além de apresentar relações entre aspectos físicos e nutricionais, esclarecesse as dúvidas anteriormente detectadas, acerca da alimentação do ponto de vista da física.

Mas a respeito de tais concepções tínhamos uma hipótese. Aparentemente, alguns livros didáticos tratam os seres-vivos como máquinas térmicas que se alimentam de energia, apresentando a fundamental importância da *lei da conservação de energia*. Dada a influência dos livros didáticos na formação dos indivíduos (MATTOS & GASPAR, 2001), aliada a grande vulgarização do conceito de energia e de caloria no senso-comum, acreditamos ser bastante provável que professores de física, biologia ou química concebam a alimentação apenas como um processo de ingestão de calorias, e até mesmo ensinem aos estudantes esta concepção.

Desta forma, foram formuladas as seguintes hipóteses de pesquisa:

Hipótese I:

Os professores em pré-serviço de Física, Biologia e Química descrevem a alimentação, do ponto de vista da física, apenas como um processo de trocas de energia, em detrimento de pequena ou nenhuma atenção ao conceito de entropia.

Hipótese II:

A maioria dos autores dos livros didáticos opta por abordar o tema da alimentação, do ponto de vista da física, apenas numa perspectiva da conservação da energia.

Deste modo, são privilegiados os aspectos quantitativos da energia em relação aos qualitativos.

Para testarmos as hipóteses, realizamos dois levantamentos: um primeiro sobre as concepções de professores em pré-serviço acerca da alimentação do ponto de vista da física, e um segundo, relacionado ao anterior, para verificar como são feitas as abordagens sobre o tema nos livros didáticos, em várias áreas e níveis de ensino.

Decidimos realizar o levantamento junto a estudantes de graduação pelo fato destes estarem em pleno processo de formação, além de constituir um grupo de futuros educadores de ensino fundamental, médio ou superior. Confirmadas as hipóteses, poderemos mostrar que o ensino da termodinâmica, seja no livro didático ou nas aulas oferecidas aos professores em pré-serviço, não enfatiza a fundamental importância do conceito de entropia ao tratar o corpo humano como um sistema termodinâmico.

5.2. Método de Pesquisa

Questionário

Para o levantamento de concepções dos professores em pré-serviço acerca dos conceitos físicos relacionados à alimentação, foram selecionadas três amostras.

A primeira foi formada por 47 integrantes entre os alunos do curso de licenciatura em física, de terceiro ano de graduação, sendo 23 inscritos na disciplina *Elementos e Estratégia para o Ensino de Física* e 24 inscritos em *Propostas e Projetos para o Ensino de Física*, ambas oferecidas pelo IFUSP/SP¹⁶. A segunda amostra se constituiu de 61 alunos dos cursos de licenciatura e bacharelado da biologia, inscritos na disciplina *Física para a Biologia*, oferecida pelo IFUSP/SP aos estudantes do IBUSP/SP¹⁷. Estes alunos são de terceiro, quarto e quinto anos de graduação.

Posteriormente, como forma de validação do questionário, a pesquisa foi realizada junto a uma terceira amostra constituída por 50 alunos dos cursos de licenciatura e bacharelado de Química IQUSP/SP¹⁸, do terceiro ano de graduação, inscritas na disciplina *Bioquímica I*.

¹⁶ Instituto de Física da Universidade de São Paulo – Campus da capital.

¹⁷ Instituto de Biologia da Universidade de São Paulo – Campus da capital.

¹⁸ Instituto de Química da Universidade de São Paulo – Campus da capital.

Para revelar as concepções destes estudantes de graduação acerca da alimentação do ponto de vista da Física, elaboramos um questionário semi-aberto, com seis questões dissertativas e um teste (Tabela 1).

Tabela 5.1: Questionário

1. Do ponto de vista físico, de que o homem se alimenta?
2. Que características deve ter um objeto para que seja considerado um alimento?
3. Existe algum alimento que é totalmente aproveitado pelo organismo humano? Em caso de resposta afirmativa exemplifique-a, caso contrário explique porque.
4. Por que alguns alimentos são mais saudáveis que outros?
5. Podemos considerar 100 kcal de leite como alimento? E 100 kcal de gasolina? Justifique sua resposta.
6. Marque entre os conceitos físicos apresentados abaixo, os quais você acha que estão envolvidos no processo de alimentação. Justifique sua(s) resposta(s). Força – Entropia – Eletricidade – Energia – Potência – Entalpia – Velocidade – Peso
7. Por que envelhecemos mesmo se nos alimentamos bem?

A finalidade deste instrumento de pesquisa é verificar se os professores em pré-serviço estabelecem relações entre os conceitos de entropia e alimentação. É importante destacar que, nosso propósito não é obter respostas satisfatórias, mas levar o sujeito, conhecedor da relação ou importância do conceito de negentropia/entropia na alimentação, a usá-la ou citá-la em pelo menos uma de suas respostas. A não citação (de nenhuma das formas indicadas nas categorias descritas a seguir) será interpretada como uma indicação de o sujeito não estabelece relações entre os conceitos.

A partir da análise das respostas obtidas em 108 questionários (constituídos pelas 2 primeiras amostras), foram construídas 5 categorias a posteriori, apresentadas na Tabela a seguir

Tabela 5.2: Categorias de análise dos questionários.

Categoria 1	A importância do conceito de negentropia/entropia na alimentação foi encontrada e justificada de maneira explícita.
Categoria 2	A importância do conceito de negentropia/entropia na alimentação foi encontrada de maneira explícita, mas não justificada. O estudante percebe que existe uma relação entre negentropia/entropia e a alimentação, mas não sabe explicá-la.
Categoria 3	Há uma relação entre os conceitos de negentropia/entropia e alimentação de modo implícito, indireto ou tácito. Fala-se na existência de uma relação entre corpo e alimento.

Categoria 4	O sujeito não aborda (ou o(s) autor(es) opta(m) por não abordar ¹⁹) o conceito de entropia/negentropia ao se referir ao corpo humano como um sistema termodinâmico.
Categoria 5	As respostas do sujeito não podem ser classificadas em nenhuma das quatro categorias anteriores

Assim, de acordo com a nossa primeira hipótese, prevemos obter um maior número de questionários classificados na categoria 4 e nenhum questionário ou uma minoria deles na categoria 1.

Seleção de livros didáticos e critérios para análise

Para verificarmos como os manuais didáticos abordam a alimentação, do ponto de vista da física, realizamos uma seleção de livros com base nos seguintes critérios: disponibilidade e existência de capítulos ou seções destinados à compreensão física da alimentação.

Desde o início, ao estabelecer contato com os manuais, nos deparamos com o problema da dificuldade para encontrar o tema. Assim, com propósito de localizar um ou mais textos, capítulos ou seções em que conceitos físicos estivessem relacionados à alimentação, nossa primeira atividade foi buscar, através do índice remissivo, as palavras “chave” do assunto, como entropia, negentropia, energia, máquina térmica, alimentação, nutrição, dieta. Para o caso dos livros de ensino médio, procuramos no índice inicial capítulos que continham as palavras chave ou cujo conteúdo poderia abranger o tema. Por exemplo, em um dos livros de Biologia analisados, foi através dos títulos “Química da vida”, “Energia para a vida”, que encontramos os seguintes textos, respectivamente: “Como nos alimentamos?”, “Qual a energia usada pelos seres vivos?”. Também realizamos, uma breve leitura por todos materiais, o que permitiu colher impressões úteis à busca.

O tema foi encontrado nas áreas de Educação Física, Biofísica e Física para Ciências Biológicas, para nível superior, e, em livros de Física, Biologia e Química para nível médio²⁰. Como pretendemos fazer sugestões ao ensino de Física, em especial, ao ensino da Termodinâmica, não foram selecionados manuais de nível fundamental.

¹⁹ A seguir, utilizaremos estas mesmas categorias para verificar como o tema da alimentação, do ponto de vista físico, é abordado em capítulos ou seções de livros didáticos.

²⁰ Livros das áreas de Bioquímica e de Ciências Nutricionais não participam da amostra por constituírem nossas fontes de estudo para construção do conhecimento interdisciplinar, ao longo de todo trabalho.

O procedimento de análise seguinte envolveu o processo de “categorização”. A fim de relacionar as concepções desenvolvidas na amostra de livros didáticos às concepções de professores em pré-serviço, utilizamos as cinco categorias apresentadas na Tabela 2 como critérios de análise dos capítulos, textos e seções selecionadas.

Salientamos que as obras escolhidas diferem em data de publicação, finalidade da proposta, público alvo, linguagem, etc. Portanto, não estamos comparando os textos entre si, mas classificando-os com base nas categorias já descritas. Entendemos que a diversidade das obras é importante, uma vez que permite revelar a abordagem deste tema interdisciplinar em áreas distintas.

Vamos considerar confirmada nossa hipótese II se os autores dos livros optarem por descrever a alimentação, do ponto de vista físico, apenas numa perspectiva da conservação de energia, privilegiando os aspectos quantitativos em detrimento dos qualitativos da energia. A Tabela a seguir apresenta a amostragem dos livros selecionados.

Tabela 5.3: Amostragem de livros selecionados.

código	título/autor(es)	editora	ano/edição	nível de ensino	área
L1	Energia, Nutrição e Desempenho Humano Mcardle W. Katch, F. Katch, V.	Guanabara Koogan	1998 3ª ed.	superior	Educação Física
L2	Física para Ciências Biológicas e Biomédicas Okuno, E. Caldas I.	Harbra ltda	1986 1ª ed.	superior	Física para Ciências Biológicas e Biomédicas
L3	Princípios de Biofísica Leão, M.C.	Guanabara Koogan	1980 2ª ed.	superior	Biofísica
L4	Medical Physics Cameron J. Skoffronick J.	Wiley, New York	1978	superior	Física para Ciências Biológicas
L5	Bases Fisiológicas da Educação Física dos Desportos Fox E. Mathews D.	Interamericana	1976 2ª ed.	superior	Educação Física
L6	Introduction of Biological Physics Holwill, M. E. Silvester, N.R.	Jonh Wiley e Sons	1973	superior	Física para Ciências Biológicas
L7	Física aplicada a la Farmácia y Biologia (primeira parte) Brachetta V.	Córdoba	1943	superior	Física para Farmácia e Biologia
L8	Física 2 Gaspar, A.	Ática	2003	médio	Física
L9	Os Fundamentos da Física 2 Ramalho Jr. F. Ferraro, N.	Moderna	2003	médio	Física

	Soares, P.				
L10	Física fundamental – volume único Bonjorno J. Bonjorno R, Ramos, C.	FTD	1999	médio	Física
L11	Conceitos de Biologia Amabis J. Martho G.	Moderna	2001	médio	Biologia
L12	Os caminhos da vida I – Biologia no ensino médio. Estrutura e ação. Frota-Pessoa, O.	Scipione	2001 1ª ed.	médio	Biologia
L13	Biologia, Uzunian, A. Birner, E.	Harbra Ltda	2001 vol. único	médio	Biologia
L14	Química - de olho no mundo do trabalho Carvalho, G. C. Souza, C. L.	Scipione	2004	médio	Química
L15	Química para o ensino médio Mortimer, E. F. Machado, A. H.	Scipione	2003 vol. único	médio	Química
L16	Completamente Química - Química Orgânica, Ciências, Tecnologia e Sociedade Reis, M.	FTD	2001 1ª ed.	médio	Química

5.3. Análise dos capítulos ou seções dos livros didáticos

No livro L1 (MCARDLE *et al*, 1998), no capítulo 5 (“Introdução à transferência de energia”) é apresentada a capacidade do corpo humano em extrair energia dos nutrientes alimentares e transferi-la para o corpo. Os conceitos de energia potencial e cinética são introduzidos e tratados junto à primeira lei da termodinâmica.

Um exemplo de sistema físico é descrito para explicar os processos de trocas energéticas no organismo:

A água proveniente do alto de uma montanha desce a passa a constituir uma cachoeira, sua energia potencial é transformada em cinética. Parte dessa energia é aproveitada para movimentar a rede d’água (...). Nos seres humanos, o processo de transferência de energia obedece aos mesmos princípios da cachoeira – roda d’água (MCARDLE *et al*, 1998, p. 61).

Os nutrientes glicídios, lipídicos e protéicos são apontados como fontes de energia potencial. O autor prossegue com o segundo princípio da Termodinâmica:

A transferência de energia potencial é unidirecional e se processa sempre da forma a reduzir a capacidade total de realizar trabalho. A tendência da energia potencial em degradar-se para cinética com uma menor capacidade para trabalho representa um enunciado da segunda lei da termodinâmica. (...) O alimento e outras substâncias químicas são excelentes reservas de energia potencial. Entretanto, essa energia acaba sendo liberada quando os compostos se decompõe através dos processos oxidativos normais (...) Todos os processos químicos e físicos se processam numa direção onde a causalidade total ou a desordem aumenta, e a energia disponível para o trabalho diminui. (...) Nas reações acopladas, que ocorrem durante a biossíntese, parte do sistema pode mostrar uma diminuição da entropia (MCARDLE *et al*, 1998, p. 62)

O texto relaciona os conceitos de energia e entropia e os justifica, mesmo que de maneira breve, ao tratar o corpo humano como um sistema termodinâmico. Associamos este capítulo à categoria 1.

Do livro L2 (OKUNO *et al*, 1986), foram analisamos três capítulos. No primeiro, de título “energia”, como explicam os autores, os conceitos de trabalho, energia cinética e potencial são introduzidos para servir de base para o estudo da conservação de energia. No capítulo seguinte, é apresentado o princípio da conservação da energia (p. 102), e mais adiante, a energia química e biológica:

A manutenção de qualquer forma de vida depende de transformações moleculares. As plantas armazenam energia liberada em reações químicas produzidas pela absorção de energia. Essa energia pode posteriormente ser transferida aos animais na forma de alimento. (OKUNO *et al*, 1986, p.106)

No capítulo posterior “*Energia e o Corpo Humano*”, após a introdução há o seguinte trecho:

Todas as atividades, incluindo o pensamento, envolvem trocas de energia (...) Mesmo em repouso, o corpo humano continua gastando energia, com uma potência da ordem de 10^2 W, na manutenção do funcionamento de seus órgãos, tecidos e células. Cerca de 25% desta energia é usada pelo esqueleto e pelo coração, 19% pelo cérebro, 10% pelos rins e 27% pelo fígado e pelo baço.(...) A fonte de energia para o corpo é a alimentação (...) O corpo usa a energia extraída da alimentação para manter em funcionamento seus vários órgãos, manter sua temperatura constante e realizar trabalho externo.(...) A energia usada no funcionamento dos órgãos é parcialmente transformada em calor. Parte desse calor é utilizada para manter constante a temperatura do corpo, mas o restante é eliminado. (OKUNO *et al*, 1986, p.115)

Pudemos verificar que o interesse dos autores do livro 2 está em abordar o conceito de energia e sua conservação no corpo humano. Portanto, classificamos a obra na categoria

número 4.

No livro L3 (LEÃO, 1980), analisamos o terceiro capítulo - “Bioenergética”, definido pelo autor como “o capítulo da Biofísica que estuda a energia e suas transformações ligadas ao fenômeno biológico”.

No texto, os seres vivos são considerados sistemas abertos, operando com transformações cíclicas e reversíveis, sendo as trocas e transformações energéticas regidas por três princípios da termodinâmica: o princípio da entalpia, princípio de Carnot ou da entropia e o princípio Nernst, de ordem e desordem.

Encontramos a lei da conservação da energia num texto em que a alimentação é apontada como responsável pela reparação dos gastos efetuados pelo organismo, uma vez que deve haver um equilíbrio entre a energia dos alimentos e o trabalho realizado pelo corpo (respiração, contração muscular, digestão, excreção, atividade cardíaca e etc).

Também notamos a preocupação do autor em relacionar conceitos físicos à manutenção da vida nos organismos:

... um ser vivo é um sistema de baixa entropia, e assim possuidor de um elevado teor de energia livre. Conhecido que toda tendência espontânea dos sistemas é alcançar seu estado de mínima energia livre, a manutenção da vida de um ser representa um constante empenho no sentido de impedir que aquela lei se cumpra.

A vida é uma tentativa permanente para o equilíbrio entre o meio interno e o meio externo e cuja realização é morte. (LEÃO, 1980, p.46)

Associamos este livro à categoria 1 uma vez que o autor apresenta o corpo humano como um sistema termodinâmico nas perspectivas energética e entrópica.

No livro L4 (CAMERON & SKOFRONICK, 1978), o capítulo 5, intitulado de “Energia, trabalho e poder do corpo”, o autor escreve a seguinte equação de conservação, para descrever as trocas de energia entre o corpo humano e ambiente (CAMERON & SKOFRONICK, 1978, p.88):

$$\text{A troca de energia armazenada no corpo} = \frac{\text{calor perdido}}{\text{pelo corpo}} + \text{trabalho realizado}$$

Destacando que todas as atividades do corpo, incluindo pensar, envolvem trocas de energia e os alimentos são a fonte principal deste combustível, conclui:

Do ponto de vista físico, podemos considerar o corpo como um conversor de energia, o que é o assunto da lei da conservação da energia. (CAMERON & SKOFRONICK, 1978, p.88)

Mais adiante, no capítulo 7 - “Física dos pulmões e da respiração”, encontramos uma analogia entre homem e a máquina:

O corpo é, de muitas formas, uma máquina notável. Ele deve ter uma fonte de energia, um método para converter energia nas formas elétrica e mecânica e um caminho para eliminar os subprodutos. A máquina humana consiste, realmente, de bilhões de “máquinas” muito pequenas – as células vivas do corpo. (CAMERON & SKOFRONICK, 1978, p.119)

A lei da conservação da energia é utilizada para justificar a alimentação, como um processo de trocas energéticas: a quantidade de energia introduzida é em parte dissipada, sobre forma de calor, e em parte aproveitada na realização de trabalho biológico, e a somatória de todas as suas formas é constante em relação ao tempo.

Classificamos este livro na categoria 4, pois, embora também estejamos de acordo com o texto, apontamos para o fato de que o autor opta por utilizar em sua abordagem aspectos exclusivamente quantitativos de energia.

No livro L5 (FOX & MATHEWS, 1976) foram analisados dois capítulos. No capítulo 4 - “Energia, trabalho e potência”, é feito o cálculo do gasto energético humano por meio de medidas diretas e indiretas, e a sua eficiência na realização do trabalho.

No capítulo 18 (“Nutrição, performance atlética e obesidade”) destinado à nutrição e composição corporal, encontramos lei da conservação da energia para embasar o argumento de que a quantidade diária de alimentos necessária ao organismo depende de suas necessidades energéticas:

Conhecendo-se o custo da energia atividade (movimentos físicos), nós podemos mais racionalmente planificar nossa dieta para manter um equilíbrio de energia próprio (FOX & MATHEWS, 1976, p. 243).

Também são apresentados os nutrientes essenciais de uma dieta: proteínas, gorduras, carboidratos, vitaminas, minerais e água.

Proteínas, gorduras e carboidratos são somente fontes de energia, por isso são chamados nutrientes energéticos. Isentos de carbono, minerais e água são os nutrientes inorgânicos. As vitaminas desempenham um papel metabólico em cada célula do corpo. (FOX & MATHEWS, 1976, p. 234).

Embora os autores não citam os conceitos de entropia ou a segunda lei da termodinâmica em sua argumentação, classificamos o livro na categoria 3, uma vez que o autor se preocupa em abordar a relação existente entre corpo e alimento, e apresenta os diversos nutrientes (energéticos e não-energéticos) como essenciais para a manutenção da

saúde.

No livro L6 (HOLWILL & SILVESTER, 1973), no capítulo de nome “Temperatura e transferência de calor”, (p. 41), encontramos a primeira lei da termodinâmica na explicação do funcionamento de um calorímetro.

No texto de título “Efeitos térmicos na Biologia” (p. 53), o autor apresenta a quantidade de energia dissipada através dos processos de condução e convecção no metabolismo basal.

O conceito de entropia não é abordado no livro, de modo que apenas aspectos quantitativos de energia são apresentados. Associamos este livro à categoria 4.

O livro L7 (BRACHETTA, 1943) tem como proposta tratar conceitos físicos envolvidos em processos biológicos.

No capítulo 17 (“Termodinâmica”), destinado ao estudo da Termodinâmica, após apresentar a sua primeira lei, há um texto sobre termoquímica, em que a alimentação é abordada:

Os organismos animais recebem energia térmica do exterior, ao mesmo tempo que introduzem em seu interior uma quantidade de energia por meio dos alimentos, que ao sofrer transformações químicas produzem calor que serve para os gastos exigidos pela vida (BRACHETTA, 1943, p.107).

Apesar do próximo texto tratar do conceito de entropia, nenhuma relação é estabelecida com o tema da alimentação, de forma não são considerados aspectos qualitativos de energia neste processo. Este livro foi associado à categoria 4.

No livro L8 (GASPAR, 2003) encontramos no capítulo 14 de título “*Calor*”, um quadro denominado “cotidiano”, referente às calorias dos alimentos e o metabolismo animal.

São comuns as tabelas de quantidade de energia dos alimentos em quilocalorias (embora quase sempre expressa erroneamente como quilocalorias apenas), mas pouco se fala do rendimento do organismo, ou seja, da porcentagem dessa energia que se transforma efetivamente em trabalho, tanto externo como de metabolismo (GASPAR, 2003, p.315).

O capítulo 16 (“As leis da termodinâmica, parte II”) traz um estudo acerca do princípio da entropia, suas implicações e aplicações: fenômenos irreversíveis e reversíveis, seta do tempo, paradoxo da reversibilidade, morte térmica do universo, ciclo e rendimento de Carnot, terceira lei da termodinâmica, motores, entropia, desordem e demônio de Maxwell.

Embora haja uma preocupação do autor em apresentar o rendimento do corpo humano como um sistema termodinâmico, apontamos para o fato de que a alimentação e o conceito de entropia estão presentes, mas separados um do outro, isto é, não estão relacionados. O autor, ao abordar a alimentação, opta por utilizar apenas aspectos quantitativos de energia. O livro foi associado à categoria 4.

No livro L9 (RAMALHO *et al.*, 2003), no capítulo 4, à respeito da “medida do calor – calorimetria”, é feita uma discussão sobre as calorias dos alimentos. De acordo com o texto, os nutrientes energéticos, como carboidratos e açúcares, após serem absorvidos, são “queimados” num processo denominado respiração celular, produzindo energia indispensável ao funcionamento do organismo. Os alimentos não considerados energéticos, como as proteínas e gorduras, também podem ser utilizados para suprir o organismo de energia, na falta de carboidratos.

Podemos notar que o autor opta por abordar somente os aspectos energéticos envolvidos na alimentação, mesmo quando cita alimentos que não são fontes diretas de energia.

No final do capítulo 9 (“As leis da termodinâmica”), há a segunda lei da Termodinâmica, bem como trata da degradação de energia e do Demônio de Maxwell. O livro está dividido em blocos, e, embora a alimentação e os assuntos citados acima estão contidos no mesmo bloco, (parte 1), o autor opta por não relacioná-los. Associamos a obra à categoria 4.

O livro L10 (BONJORNO *et al.* 1999) traz uma seção de curiosidade (“Você Sabia?”) no final do capítulo 16, “Calorimetria”. Em uma primeira tabela, estão as necessidades diárias de energia pelo homem, de acordo com a idade e sexo, expressa em unidades de quilocalorias. A segunda tabela apresenta a quantidade de energia por hora que o corpo gasta em algumas atividades realizadas (dormir, escrever, costurar, varrer e etc), e a última mostra a quantidade de energia fornecida por 100g de vários alimentos (arroz, feijão, pão, chocolate...).

Uma associação possível entre as tabelas pode ser feita através da lei da conservação da energia, pois a necessidade energética do corpo somada ao trabalho realizado, deve ser igual à energia ingerida pela alimentação.

Nesta obra os autores optam por abordar apenas aspectos quantitativos de energia, de forma que a associamos à categoria 4.

No livro L11 (AMABIS & MARTHO, 2001), o capítulo 7, “Como as células obtêm energia”, o autor faz uma analogia entre homem e máquina térmica, mostrando a

necessidade do organismo por energia, associada à eficiência do metabolismo energético:

Assim como a locomotiva de Stephenson (o engenheiro inglês que inventou a locomotiva a vapor) e os atuais motores à combustão usados nos automóveis, os seres vivos também obtêm energia por meio da queima de compostos de carbono. Os organismos vivos, porém, são muito mais eficientes no aproveitamento da energia do que os melhores motores já inventados: enquanto estes só conseguem aproveitar, no máximo 25% da energia liberada na queima do combustível, nossas células aproveitam mais de 40%. (AMABIS & MARTHO, 2001, p.117)

No parágrafo seguinte, escreve:

Vida demanda energia. Sem energia a organização característica dos seres vivos não conseguiria se manter. Conhecer os processos biológicos de obtenção de energia é de fundamental importância para entender o metabolismo (AMABIS & MARTHO, 2001, p.118).

Entendemos que o ser vivo mantém suas características às custas de energia e de negentropia

Pelo fato do texto apontar para a degradação da energia nas transformações energéticas do organismo, associamos o livro à categoria 3, na qual o conceito de entropia se faz presente de forma implícita.

No livro L12 (FROTA-PESSOA, 2001) foram analisados 2 capítulos. Na unidade 5 sobre Nutrição, há um texto no qual são apresentados alguns nutrientes essenciais ao organismo, ou seja, que precisam ser ingeridos uma vez que não somos capazes de sintetizá-los. Tais nutrientes pertencem a quatro grupos de elementos: aminoácidos, ácidos graxos, vitaminas e sais minerais (cap.13, p. 173).

Mais adiante, o autor define “dieta equilibrada” aquela capaz de incluir os nutrientes dos diferentes tipos, em quantidades suficientes:

Se os ingerirmos em quantidades insuficientes ficamos subnutridos (carência energética) Se faltarem em nossa dieta alimentos essenciais ficamos mal nutridos (FROTA-PESSOA, 2001, p.174).

São apresentadas, em seguida, diversas vitaminas (p. 174 e 175) e minerais (p.177), suas fontes e efeitos principais no organismo.

Para introduzir unidade 6, denominada “Metabolismo”, o autor aborda a necessidade de matéria e energia para que “a máquina corpo humano” funcione:

Somos consumidores, pois precisamos de matéria orgânica já sintetizada para tocar nossa máquina. Os animais fazem muita síntese de matéria orgânica, e assim constroem seu corpo, crescem e funcionam.

Mas para isso precisam usar matéria orgânica acumulada no corpo de vegetais, fungos e outros animais (...) (FROTA-PESSOA, 2001, p.201).

Na perspectiva da conservação de energia, é apresentada a conversão de energia luminosa em energia química disponível ao homem na fotossíntese:

As plantas fabricam matéria orgânica partindo exclusivamente de substâncias minerais, usando a energia do sol (fotossíntese), e os animais se servem delas para produzir suas próprias moléculas orgânicas (FROTA-PESSOA, 2001, p.201).

Associamos o livro à categoria 3, uma vez que a alimentação não é apenas descrita do ponto de vista energético, havendo um espaço para a importância de nutrientes não-energéticos, como minerais e vitaminas, juntamente com suas fontes e funções.

No livro L13 (UZUNIAN & BIRNER, 2001) encontramos uma seção no capítulo 4 de nome: "Como nos alimentamos?", no qual são destacados o conceito de energia e sua conservação:

A energia que obtemos diariamente dos alimentos serve para manter a atividade básica do organismo e realizar a atividade física. Por atividade básica entende-se manter em funcionamento os órgãos vitais: batimentos cardíacos, respiração pulmonar, funcionamento dos neurônios, e de órgãos como fígado e rins (UZUNIAN & BIRNER, 2001, p.40).

Em seguida, os autores abordam a importância das vitaminas, apresentando suas várias funções no corpo humano (p.42). Por exemplo: "(B9) ácido fólico – função no corpo: ajuda a construir DNA e proteínas; (C) ácido ascórbico – formação de hormônios e colágenos (...)”.

O capítulo 13, "Respiração: energia para vida", inicia-se com uma pergunta: "Qual a energia usada pelos seres vivos?".

Segue a analogia homem-máquina:

... assim como o automóvel precisa de álcool etílico ou gasolina para funcionar, nós precisamos de glicose, substância altamente energética cuja quebra no interior das células libera a energia armazenada nas ligações químicas... (UZUNIAN & BIRNER, 2001, p.179)

Mais adiante, no capítulo 58, sobre a energia e os ecossistemas, num pequeno quadro denominado "a ecologia e as leis da termodinâmica", encontramos (além da lei de conservação de energia) o princípio da entropia relacionado à transferência de energia:

... a cada transformação de energia, uma parcela é liberada em forma de calor, contribuindo assim para o aumento de entropia ((UZUNIAN & BIRNER, 2001, p.744).

Os autores utilizam argumentos energéticos e entrópicos para tratar da transferência de energia em ecossistemas, ao passo que apenas o conceito de energia é utilizado em relação ao organismo como sistema termodinâmico.

Contudo, no primeiro capítulo que analisamos, encontramos destacada a importância das vitaminas (elementos não energéticos) e a descrição de suas diversas funções, energéticas ou não, no organismo. Assim, associamos a obra à categoria 3.

No livro L14 (CARVALHO & SOUZA, 2004) encontramos o tema apenas no capítulo 18, de nome “Termoquímica”:

“Ingerimos alimentos a fim de obtermos energia para nossas atividades. Queimamos combustíveis fósseis para movimentar máquinas, carros, aviões, etc. As plantas verdes convertem energia solar em alimento e gás oxigênio. Essas situações têm em comum uma relação: tratam da energia envolvida nas reações químicas” (p. 211).

No quadro de título “de olho no contexto” (CARVALHO & SOUZA, 2004, p. 213), há uma tabela com os “valores energéticos” de diversos alimentos, descrita pelos autores como correspondente à energia liberada nas reações do metabolismo desses alimentos no organismo.

Associamos este livro à categoria 4 uma vez que não há expressões da intenção de se tratar o assunto de uma outra maneira que não seja do ponto de vista energético.

No livro L15 (MORTIMER & MACHADO, 2003) foram analisados 2 capítulos. No primeiro “O que é Química?” (p. 10) os autores atribuem à capacidade dos organismos se manterem vivos a um conjunto de substâncias químicas constituintes dos alimentos, como aminoácidos, carboidratos, sais minerais, proteínas e vitaminas.

No capítulo 11, “Termoquímica”, há propostas de realização de alguns experimentos, a fim de obter a quantidade de calor liberada em reações de combustão do etanol e de um grão de amendoim, além de quantificar o calor de solidificação da naftalina (p.243). Contudo, antes de dar início aos procedimentos experimentais, uma discussão é feita sobre as leis da termodinâmica e sobre os conceitos envolvidos nas experiências, entalpia, processos endotérmicos e exotérmicos.

Mais adiante, o texto de número 5 trata da relação entre o aumento da entropia e a direção preferencial das reações espontâneas (p.262).

Ao analisar este último capítulo, pudemos notar a preocupação dos autores em considerar aspectos qualitativos da energia “Se a energia do universo é constante, por que falamos em consumo de energia?”, “Como falar então de consumo e degradação de energia?” (p. 265).

Ainda que o tema da alimentação foi abordado de uma maneira breve, o livro utiliza aspectos quantitativos e qualitativos para se referir à energia envolvida em diversas reações e processos, de modo a classificarmos a obra na categoria 3.

Para que o tema fosse analisado em um capítulo diferente de Termoquímica, utilizamos um manual de química orgânica, ao invés do volume único. Neste livro (REIS, 2001) o tema foi localizado no capítulo 42, “Bioquímica”. O texto “A química do consumidor” traz algumas definições para os alimentos (sensorial, nutricional e funcional) dadas por cientistas japoneses em 1980.

Em seguida, a autora prossegue com uma análise da informação nutricional do rótulo de uma caixa de leite longa vida:

Gorduras: na verdade o rótulo se refere a lipídeos em geral – óleos e gorduras, que são triésteres (a molécula apresenta 3 grupos funcionais de éster, veja na lateral) formados pela reação entre ácidos graxos e glicerina (propanotriol). Os lipídeos são necessários para a absorção de vitaminas A, D, E e K (lipossolúveis)... Os ácidos graxos ômega-3 e ômega-6, assim como o ácido oléico ajudam a diminuir o nível de colesterol no sangue, contribuindo para manter o sistema cardiovascular saudável. (...) As vitaminas em geral atuam como coenzimas (ativadores de catalisador), ou seja, ativam as várias enzimas (catalisadores) importantes para o metabolismo dos seres vivos. (REIS, 2001, p. 338).

Nesta abordagem notamos uma preocupação da autora em mostrar as importantes funções (grande parte não energéticas) de alguns nutrientes e elementos, e a contribuição destes para a manutenção de uma vida saudável. Neste texto não se observou uma supervalorização das funções energéticas em detrimentos de outras. Classificamos o livro no categoria 3.

5.4. Análise dos resultados

Na tabela 4 apresentamos alguns exemplos de respostas obtidas nas diversas questões. A categoria e a resposta do estudante foram indicadas pelo número e pela turma

– física (F), biologia (B) ou química (Q). Apresentamos também a qual pergunta do questionário se refere o exemplo de resposta exposto.

Tabela 5.4: Exemplos de categorização em questionários diversos.

Categoria 1	não há respostas nesta categoria
Categoria 2	O homem se alimenta de “entropia negativa” (B9, questão 1)
Categoria 3	<p>“100 kcal de leite é alimento, pois, o organismo humano tem a capacidade de transformar esse leite em energia útil. 100 kcal de gasolina só pode ser usado num processo de combustão, que o corpo não consegue fazer. São formas de energia diferentes” (F11, questão 5)</p> <p>“Saudável é uma característica relativa do alimento com o organismo que se alimenta. Um alimento saudável, assim o seria por apresentar conseqüências que, quando ingerido, (incorporação de nutrientes...) que perpetuassem fisicamente a integridade do organismo” (B3, questão 4)</p> <p>“O leite pode ser considerado como alimento porque é uma mistura formada por substâncias não prejudiciais aos organismos vivos e, por isso, pode ser considerado alimento. A gasolina, se ingerida, é tóxica aos organismos vivos, e por isso não pode ser considerada como alimento a eles. Só pode ser considerada como alimentos para automóveis e afins para fornecer energia para seu funcionamento” (Q11, questão 5)</p>
Categoria 4	<p>“Algo que ao ingerirmos libera energia para nossa sustentação” (F10, questão 2)</p> <p>“Possuir um alto teor de energia química” (B36, questão 2)</p> <p>“Do ponto de vista físico, os dois são alimentos” (Q17, questão 5)</p>
Categoria 5	<p>“Leite é alimento porque eu já tomei e não morri, já gasolina eu nunca tomei... então, não sei” (F5, questão 5).</p> <p>“Odor agradável, cor familiar (não comer nada azul)” (B31, questão 2)</p> <p>“Não sei” (Q23, questões 4 e 7)</p>

Na Tabela 5 apresentamos os resultados obtidos nos levantamentos das abordagens dos livros e das concepções dos professores em pré-serviço de Física, Biologia e Química acerca da alimentação, do ponto de vista da Física. A análise dos dados foi feita de maneira qualitativa, por categoria.

Tabela 5.5: Resultados obtidos nos levantamentos.

categoria	% de alunos de Física	% de alunos de Biologia	% de alunos de Química	% de livros
1	0	0	0	12,5
2	11	2	0	0
3	23	59	72	37,5

4	66	39	26	50
5	0	0	2	0

Categoria 1

Nenhum professor em pré-serviço de física, biologia ou química, citou e explicou a existência de uma relação entre o conceito de entropia/negentropia e a alimentação.

Em relação às abordagens dos livros, 12,5% apresentaram o conceito e uma justificativa para seu envolvimento no tema. Estes manuais são todos de nível superior e destinam-se a alunos de Educação Física e Biofísica. O tema foi encontrado em capítulos cujo assunto era a transferência e transformações de energia no corpo humano.

Dos livros que se propõem a tratar conceitos físicos envolvidos em processos biológicos (L2, L4, L6 e L7), nenhum traz em seus textos os conceitos de entropia e alimentação relacionados. Da mesma forma, os livros de ensino médio de Física, Química e Biologia também não apresentam tal relação.

Categoria 2

Nenhum livro foi classificado nesta categoria, uma vez que, quando localizado o conceito de interesse, havia sempre uma explicação correspondente.

Em relação aos questionários, 11% dos professores em formação de física e 2% de biologia citaram sem justificar, ao longo das sete questões, pelo menos um dos termos: entropia, negentropia, ou segunda lei da termodinâmica. Este resultado, maior para a turma dos físicos, mostrou-se razoável uma vez que a Termodinâmica está presente na graduação destes alunos.

Dos 158 questionários, o termo “negentropia” foi verificado apenas uma vez: uma aluna do curso de Biologia (o que corresponde a 2% da turma) respondeu, sem justificar: “o homem se alimenta (do ponto de vista da Física) de negentropia” (B9, questão 1).

Acreditamos que tanto a não citação como a ausência de uma justificativa para a relação entre os conceitos de entropia/negentropia/segunda lei da termodinâmica e a alimentação, podem revelar uma incapacidade de generalizar o modelo termodinâmico fora do contexto da física, indicando que na formação dos estudantes, pouco se exercita a discussão sobre a interdisciplinaridade.

Categoria 3

Na terceira categoria, foram classificados 23% de professores em pré-serviço de Física, 59% de Biologia e 72% de Química. Podemos notar que um maior número de

alunos de Química e de Biologia mostraram-se mais capazes de discernir sobre os aspectos quantitativos da energia (como seu valor rotulado no alimento, expresso em unidades de quilocalorias), e sobre os aspectos qualitativos envolvidos na alimentação. Em parte, essa diferença pode ser explicada pelo fato dos estudantes de biologia já terem ou estarem cursando a disciplina de Bioquímica, onde são discutidas algumas das reações químicas ligadas à digestão e à produção de ATP (adenosina tri-fosfato).

Em relação aos livros classificados nesta categoria, nenhum pertence ao ensino de Física, sendo 1 de nível superior, destinado a estudantes de Educação Física, 3 de Biologia e 2 de Química para ensino médio.

O resultado dos livros de física para esta categoria concorda com o obtido junto aos alunos desta disciplina, uma vez que foi classificada uma menor quantidade de questionários em relação às outras turmas.

Categoria 4

Na categoria 4, que circunscreve os professores em pré-serviço que não identificam qualquer tipo de relação entre entropia/negentropia e alimentação, houve uma concentração maior de estudantes de Física (66%), em relação aos de Biologia (39%) e aos de Química (26%). Compartilhando com estes resultados, os livros classificados nesta categoria são todos destinados aos estudantes de Física, sendo 2 de ensino médio e 3 de ensino superior.

Neste momento, podemos considerar nossas hipóteses I e II confirmadas, pelo menos para a turma de Física, pois a maior parte dos alunos e dos livros destinados a esta área tratam a alimentação apenas do ponto de vista energético, sendo que pouca ou nenhuma atenção é dada ao conceito de entropia.

Lembramos que os sujeitos classificados na categoria 4 não citaram, de nenhuma das formas indicadas nas primeiras três categorias descritas na Tabela 2, os conceitos de entropia/negentropia envolvidos na alimentação. Este dado nos indica que estes estudantes não estabelecem relações entre os conceitos mencionados. Com isso, podemos concluir que aspectos qualitativos de energia são muito pouco explorados no ensino de física, até mesmo em sistemas clássicos como máquinas térmicas, de forma que grandes confusões podem ocorrer ao se propor a generalização do modelo termodinâmico a outros sistemas (como um organismo vivo, por exemplo).

Notamos, em certas afirmações que um objeto para ser classificado como alimento “deve ser capaz de liberar energia em combustão” (B9, questão 1). Isso ilustra uma concepção de alimentação um tanto limitada, pois sabemos da existência de vários

nutrientes alimentares, sendo alguns essenciais à manutenção da saúde, que não liberam energia para o corpo, ou seja, não constituem fontes de energia para o organismo (assunto que discutiremos no capítulo 5).

Categoria 5

Esta categoria foi utilizada em diversos questionários, para perguntas que os estudantes escreveram frases sem o sentido esperado, ou para respostas do tipo “não sei”.

Contudo, devido ao fato de que foram elaboradas categorias muito “gerais”, apenas obtivemos um estudante com quase todas as respostas classificadas nesta categoria. Este aluno respondeu parte das questões com “não sei” ou com sentenças vagas, como aquelas explicitadas na Tabela 3.

Podemos concluir que os resultados obtidos nos levantamentos corroboram a idéia de uma correlação entre a compreensão dos estudantes e a forma como os livros didáticos apresentam a relação entre os assuntos tratados. Dos sete livros de Física selecionados para a amostragem, todos foram classificados na categoria 4, juntamente com a maior parcela de professores em formação desta disciplina. Os três livros de Biologia da amostra foram classificados na categoria 3, coincidindo com a categoria de maior incidência destes professores. Dos três livros de Química, dois foram classificados na categoria 3, e apenas um na categoria 4, o que também está de acordo com o resultado da amostra de professores, cuja maior parcela concentrou-se na terceira categoria. Assim, os 37,5% de livros da categoria 3 é constituído de um manual de Educação física de ensino superior, três de Biologia e dois de Química para ensino médio.

5.5. Conclusão

A análise qualitativa dos dados revelou a existência de uma correlação entre as abordagens dos livros didáticos de Física, Biologia e Química e a compreensão dos estudantes de graduação destas disciplinas sobre os conceitos físicos envolvidos na alimentação.

Tivemos nossas duas hipóteses confirmadas, em especial para o caso da amostra de livros e de professores em pré-serviço de Física. A maior parte dos alunos e livros desta disciplina foi classificada na categoria 4, caracterizada por estudantes (ou autores) que não estabelecem (ou optam por não estabelecer) nenhum tipo de relação entre o conceito de entropia/negentropia e alimentação. Deste modo, nenhum professor em formação de Física ou autores destes manuais, seja para ensino médio ou superior, puderam ser classificados

na categoria 1, nem mesmo os de Física para Ciências Biológicas. Os únicos manuais contidos nesta categoria pertencem às áreas de conhecimento específico de Biofísica e Educação Física.

Quanto aos professores em pré-serviço e livros de Biologia e Química, a maior parte foi classificada na categoria 3, pois ao se referirem à capacidade do sistema em transformar a energia em suas respostas/textos ou descreverem a presença de uma relação entre alimento e organismo. Ainda assim, nenhum deles relacionou e justificou os conceitos de entropia/negentropia e alimentação.

Foi notável, na grande parte dos livros e questionários, uma tendência nos manuais de utilizar o conceito de energia e seu caráter quantitativo para expressar a razão pela qual estamos vivos, ou realizando trabalho, indicando o uso da analogia entre ser vivo e máquina térmica.

Sobre este aspecto, pretendemos chamar a atenção para um problema no ensino de Física, confirmado por esta pesquisa. Obviamente, concordamos com a constante obtida nos levantamentos de que a energia proveniente dos alimentos tem um papel fundamental no funcionamento do corpo e na manutenção da vida. Entretanto, queremos mostrar, utilizando o aporte de Schrödinger (1944) que, de um ponto de vista termodinâmico, o problema da alimentação não consiste propriamente em adquirir energia e matéria, pois uma caloria é exatamente igual à outra, assim como um átomo é idêntico a um outro do mesmo elemento químico. Nosso organismo substitui cada unidade que adquirimos por outra igual a que eliminamos.

O que nós adquirimos, capaz de nos distanciar da morte, é ordem ou negentropia (assunto discutido no capítulo 5). Deste modo, embora o conceito de entropia tenha um papel fundamental em sistemas abertos como os organismos vivos, pudemos verificar que tal importância não é explorada nem mesmo nos livros de Física de nível superior. E assim, privilegia-se a ótica da energia ou da primeira lei da Termodinâmica para a compreensão deste tema complexo.

Mesmo que os livros não manifestam o objetivo de explorar a alimentação do ponto de vista físico, destacamos que, não há, na maioria dos textos, expressões da intenção de tratar o conhecimento de maneira interdisciplinar, de modo que os estudantes acabam por adotar visões que ou são corroboradas ou ensinadas pelos livros didáticos.

Com efeito, fazendo uso de aspectos exclusivamente quantitativos de energia, fica muito difícil trabalhar o tema da alimentação, sobretudo o tema da alimentação saudável. Ora, um guia bastante popular como a pirâmide alimentar, criada pelos nutricionistas, traz

os alimentos agrupados de acordo com suas diferentes funções: energéticas, reguladoras, construtoras e energéticas extra, o que torna ainda mais explícita a incoerência de um tratamento demasiadamente energético para a alimentação.

Neste sentido, alguém poderia pensar não ser adequado um professor de física discutir o tema da alimentação saudável com seus alunos, pois a argumentação física esperada para seu discurso focalizaria apenas a base da pirâmide alimentar, onde estão os alimentos ricos em energia.

Indo um pouco mais longe, alguém também poderia tentar associar maus hábitos alimentares (citados no capítulo 1 desta dissertação), às concepções descritas pela amostra de licenciandos de física, como: nos alimentamos de “algo que ao ingerirmos libera energia para nossa sustentação” (F10, questão 2), ou “os alimentos devem poder ser transformados em energia pelo organismo” (F3, questão 2).

Entretanto, de certo, nosso propósito não está fazer este tipo de associação. Em contrapartida, queremos mostrar aos professores que, se utilizarmos a Física em uma abordagem interdisciplinar, poderemos compreender não apenas a base, mas pirâmide alimentar em sua totalidade.

Pretendemos, neste trabalho, mostrar que o conceito de entropia explicitado em contexto interdisciplinar pode se constituir em um critério físico para a compreensão de uma alimentação saudável.

Essa reflexão reforça nossa opinião sobre a necessidade da inclusão, em curso para professores em atividade, que inclua atividades que sejam capazes de explicitar as relações interdisciplinares entre a Física e a alimentação de uma forma mais próxima do cotidiano destes educadores.

Capítulo 6

Conhecimento específico em Nutrição

6.1. Conceitos preliminares

Trabalhar com o tema da alimentação saudável exigiu uma pesquisa sobre conteúdos específicos de áreas diversas e, em particular, na área das Ciências Nutricionais. Neste capítulo vamos descrever alguns elementos importantes relacionados ao tema bem como apresentar nossas referências. Destacamos que a aprendizagem dos aspectos descritos a seguir teve um papel bastante relevante para nós no sentido de capacitar-nos, em parte, para a elaboração de uma abordagem interdisciplinar sobre a alimentação, reservada ao último capítulo.

Partiremos de dois conceitos bastante complexos e relevantes: o conceito de **saúde** e de **alimentação**.

De acordo com a Organização Mundial da Saúde (OMS) “saúde é o estado de completo de bem estar físico, mental e social e não apenas a ausência de doença” (OMS, 1948 apud BRASIL, 2006). De acordo com esta definição,

... saúde não é um ‘estado estável’, que uma vez atingido possa ser mantido. (...) Nenhum ser humano (ou população) será totalmente saudável, ou totalmente doente. Ao longo de sua existência, viverá condições de saúde/doença, de acordo com suas potencialidades, suas condições de vida e interação com elas (BRASIL, p. 65, 2006).

Embora um tanto ideal, esta concepção é interessante por evidenciar o caráter subjetivo deste conceito, uma vez que pessoas, comunidades e sociedades consideram-se menos ou mais saudáveis conforme critérios e valores distintos e, além disso, seus pontos de vista podem sofrer modificações com o tempo.

Relacionada à saúde, apresentamos o conceito de alimentação como um fenômeno cultural, sendo aprendido e mutável. Trata-se do processo pelo qual extraímos o alimento do mundo: inclui a seleção, as etapas de preparo e a ingestão. Em outras palavras, alimentar-se contempla os fatores: quanto, quando, onde, como e com quem comemos (ALAÚDE, 2006).

Sobre as substâncias ingeridas na alimentação, são considerados alimentos os materiais acessíveis ao organismo humano, dotados de elementos que satisfazem nossas

necessidades de manutenção, crescimento, restauração dos tecidos e dispêndio energético (VERDÚ & MARÍN, 1995; SCHILLING, 1995).

É importante notar que *alimentos* e *nutrientes* não são sinônimos. Todo alimento é formado de nutrientes diversos e em quantidades diferentes. Já os nutrientes são as substâncias contidas nos alimentos das quais nosso organismo aproveita. Desta forma, pode-se concluir que nenhum alimento é igual ao outro (SCHILLING, 1995).

Esclarecidas as concepções que adotamos para saúde e alimentação, apresentaremos os conceitos de **nutrição** e de **dietética**.

As **Ciências Nutricionais** ou **Nutrição** estuda os processos pelos quais o organismo recebe, utiliza e elimina os nutrientes que ingere. Seu objeto de estudo compreende o conjunto de processos que ocorre após a ingestão do alimento, sua composição e destino. Trata-se de uma ciência jovem, bastante vinculada à evolução de áreas como a Química, a Física, a Medicina e a Fisiologia (ANGELIS, 1999).

Contudo, além de ciência, também se concebe a nutrição como um fator imprescindível à vida: o ato de nutrir-se se refere a um conjunto de processos que envolve desde a ingestão à sua assimilação pelas células (COZZOLINO, 2005, WOLINSKY & HICKSON, 1996). Por fim, a **dietética** busca relacionar conhecimentos alimentares e nutricionais, propondo e recomendando formas de se alimentar adaptadas às necessidades dos indivíduos. Trata-se de uma disciplina que estuda maneiras de como aplicar a alimentação ao organismo humano (ALAÚDE, 2006).

Uma vez definidos estes quatro conceitos chave de nosso trabalho, vamos apresentar o modo como são classificados os diversos nutrientes e sua importância para a manutenção da saúde.

6.2 Os nutrientes

Tradicionalmente, as diversas substâncias que nos servem como nutrientes foram classificadas em cinco grandes grupos. Vamos descrevê-los utilizando como referência, principalmente, Angelis (1999), Cozzolino (2005) e Lehninger *et al.* (2006).

Observamos que os cinco grupos apresentados a seguir são ainda divididos em dois: os **macronutrientes**, compostos pelos *carboidratos*, *gorduras* e *proteínas*, fundamentais à nutrição e que devem ser consumidos em grandes quantidades, e os **micronutrientes**, compostos por *vitaminas* e *minerais*. Estes, embora também sejam importantes para a manutenção da saúde, devem ser ingeridos em quantidades bem menores.

Carboidratos

Também chamados de glicídios, açúcares ou hidratos do carbono, os carboidratos são componentes orgânicos constituídos por carbono, hidrogênio e oxigênio. Encontrados em maior parte em vegetais, sua principal função para o organismo humano é o fornecimento de energia (alguns carboidratos possuem função estrutural²¹).

Os carboidratos mais simples são os monossacarídeos, tendo normalmente a fórmula $C_n(H_2O)_n$, onde “n” varia de três a sete. Exemplos de monossacarídeos são a glicose, frutose, galactose, bem como a ribose e a desoxirribose. Os oligossacarídeos são moléculas que reúnem de dois a dez monossacarídeos, como a sacarose, a lactose e a maltose. Já os polissacarídeos são compostos enormes, constituídos por um grande número de monossacarídeos, como o amido, o glicogênio e a celulose.

A glicose às vezes é chamada de “açúcar do sangue”, pelo fato de sua função primordial no organismo humano ser energética. É também armazenada sob forma de glicogênio²² no músculo (SOTTOVIA, 2007).

Gorduras

As gorduras são lipídios simples, também chamados de glicerídios. Por ter a capacidade armazenar-se no corpo humano, desempenham importante função energética, constituindo nossa maior reserva de energia disponível.

Os glicerídios são formados pelo glicerol (álcool de três carbonos) e três moléculas de ácidos graxos. Estes últimos são elementos fundamentais presentes na estrutura de nossas membranas celulares.

Proteínas

As proteínas são componentes de grande importância para os seres vivos. Grande parte delas possui função estrutural, outra parte atua como anticorpos, funcionando como substâncias de defesa, e outras são enzimas, facilitando a ocorrência de reações químicas celulares.

As proteínas são moléculas grandes formadas pela união de aminoácidos, que são compostos orgânicos com um grupo amina $-NH_2$ e um outro carboxila $-COOH$, ligados a um átomo de carbono. Este último liga-se a um átomo de hidrogênio e um radical(R), o que também proporciona a diferenciação entre um aminoácido e outro.

²¹ Além da função energética, os hidratos de carbono também desempenham função estrutural pois, participam da composição do revestimento de células e de ácidos nucleicos, etc.(CARPER, 1997)

²² Glicogênio é um polissacarídeo que constitui a reserva energética dos animais (CARPER, 1997).

Na natureza há cerca de vinte tipos de aminoácidos e, diferente dos vegetais, os animais não são capazes de fabricá-los para a produção de proteínas. Assim, alguns aminoácidos - chamados de essenciais devem estar presentes na dieta humana.

Vitaminas

As vitaminas constituem o grupo de substâncias orgânicas necessárias ao organismo humano em pequenas quantidades. Embora não são fontes de energia para o corpo humano, são essenciais para seu funcionamento, atuando como reguladores metabólicos.

As vitaminas podem ser hidrossolúveis (aquelas que não são armazenadas, mas eliminadas do organismo pelas excreções diárias) ou lipossolúveis (as que podem ser armazenadas no organismo).

Minerais

Os minerais formam um grupo de diferentes elementos químicos presentes em quantidades pequenas em nosso organismo. Atuam como reguladores metabólicos e como substâncias estruturais.

6.3. Fibra alimentar e água

Por atuarem de modo distinto dos nutrientes citados, as fibras alimentares e a água não participam do grupo dos macronutrientes nem dos micronutrientes.

Define-se fibra alimentar (FA) como a classe de compostos de origem vegetal constituída, sobretudo, de polissacarídeos e substâncias associadas. Quando ingerida, não sofrem hidrólise, digestão, e absorção no intestino delgado de humanos.

As fibras não são digeridas no intestino delgado e chegam ao intestino grosso, por onde, em parte por ação de enzimas das bactérias intestinais, são metabolizadas até ácidos graxos de cadeia curta (acético, butírico, propiônico), e gases H_2 , CH_4 e CO_2 .

Estes produtos são em parte absorvidos e transportados pela circulação. Os ácidos graxos são metabolizados, principalmente, no fígado, podendo constituir fonte energética para o organismo. A ingestão adequada de fibras auxilia a regularização do trânsito intestinal e a manter o peso corporal, os níveis de glicose e colesterol normais.

Uma das formas de classificar as fibras está relacionada à sua solubilidade em água. Assim, fibras insolúveis são encontradas principalmente em grãos de cereais (milho, soja, grão-de-bico) e em cascas de frutas. Já as fibras solúveis são constituídas de substâncias pecticas (pectina), encontradas em frutas, vegetais, farelos de aveia e leguminosas.

Em relação à água, esta é responsável por compor cerca de 60% de nosso peso corporal, estando dois terços no interior das células e um terço no espaço extracelular. Pelos diferentes tecidos de nosso corpo distribui-se desigualmente.

Embora seja grande a proporção de água no organismo, não possuímos reservas, portanto, é necessário repor as perdas, seja bebendo-a ou extraíndo-a de outros alimentos.

6.4 Órgãos e sistemas que tornam a nutrição possível

O ato de nutrir-se é viabilizado por meio de diferentes sistemas e órgãos do corpo humano. Por exemplo, o sistema digestório tem como principal função preparar os nutrientes para que sejam absorvidos após a digestão. O circulatório distribui os nutrientes pelo organismo, além de recolher e transportar os resíduos a ser eliminados. O sistema linfático retira a maior parte das gorduras absorvidas pelo intestino, antes que seja depositada na corrente sanguínea. O sistema respiratório obtém as moléculas de oxigênio necessárias à obtenção de energia junto aos macronutrientes, e o endócrino regula nosso organismo por meio de hormônios.

Em relação aos órgãos, citaremos como exemplo algumas funções importantes dos rins, do fígado do estômago. Os rins atuam na regulação do volume de água e no equilíbrio interno de elementos no organismo, além de eliminar os resíduos do metabolismo. O fígado armazena alguns nutrientes e elimina outros, solúveis em gordura, e o estômago também apresenta função de armazenamento, preparando os nutrientes para as próximas etapas da digestão (ALAÚDE, 2006).

De uma maneira bastante simplificada vamos agora descrever o trajeto dos alimentos pelo organismo humano.

O processo inicia-se na boca: os dentes cortam, trituram, rasgam o alimento, reduzindo-o a pequenos pedaços. A saliva, produzida por glândulas salivares, umedecem os fragmentos, modificando sua temperatura e textura, favorecendo a passagem até o esôfago. A língua, onde estão presentes as papilas gustativas, com as quais percebemos um dos nossos cinco sentidos – o paladar, identifica quais alimentos estão aptos ou não ao organismo.

Com o auxílio dos movimentos peristálticos, o *bolo alimentar* atravessa o esôfago, seguindo para o estômago, onde é misturado ao suco gástrico e armazenado temporariamente. Nesta região, o bolo torna-se uma massa ácida, branca e pastosa denominada *quimo*, capaz de sofrer as transformações químicas necessárias à sua absorção no organismo. Do estômago o quimo passa para o intestino delgado, um tubo longo de 600

a 700 cm de comprimento e de 2 a 4 cm de diâmetro, onde ocorre a principal parte da digestão e da absorção dos nutrientes pelo organismo.

As secreções digestivas do fígado e do pâncreas são lançadas no intestino delgado, possibilitando a digestão de proteínas, gorduras e carboidratos. Grande parte dos nutrientes é absorvida pela mucosa do intestino delgado, seguindo para a corrente sanguínea. Aminoácidos e açúcares atravessam a parede intestinal e passam ao sangue, que se encarrega de distribuí-los para as células. Glicerol e ácidos graxos resultantes da digestão de lipídios são absorvidos pelas células intestinais, convertidos em lipídios e agrupados em pequenas gotículas, sendo secretados em vasos linfáticos e veias.

No intestino grosso há uma grande quantidade de microorganismos (flora intestinal) que regulam o trânsito intestinal e protegem contra microorganismos patogênicos e infecções. Nesta área são principalmente absorvidas água e minerais, como sódio e potássio, além de ocorrer um armazenamento temporário e a evacuação das substâncias não aproveitadas.

6.5 O conceito de *biodisponibilidade* de nutrientes

Biodisponibilidade é um termo originalmente criado junto à farmacologia para designar a “proporção em que determinada substância ativa era absorvida da forma farmacêutica pelo organismo” (COZZOLINO, p. 3, 2005). Contudo, na década de 1980, os nutricionistas, resolveram a adotar este conceito após o reconhecimento de que apenas a presença de um determinado nutriente no alimento não era garantia da sua absorção pelo organismo.

No entanto, definir biodisponibilidade de nutrientes não foi (e não é) uma tarefa fácil. Inicialmente considerava-se a proporção do nutriente digerida, absorvida e metabolizada pelo organismo, capaz de estar disponível para o uso ou armazenamento. Porém, tal concepção não levava em consideração o fato de que alguns nutrientes não necessitam ser digeridos para que sejam absorvidos, assim como há nutrientes que não são metabolizados, mas são absorvidos, entre outros problemas. Além disso, a biodisponibilidade mostrava-se variar de acordo com o indivíduo, seu estado nutricional, etc. (COZZOLINO, 2005).

Em 1997, em Wageningen, na Holanda, ocorreu a Conferência Internacional de Biodisponibilidade. Uma nova definição foi proposta para o conceito: A biodisponibilidade “refere-se à fração de qualquer nutriente ingerido que tem o potencial para suprir demandas fisiológicas em tecidos alvos” (COZZOLINO, 2005, p.4).

De modo a abarcar todos os aspectos de devem ser considerados para a biodisponibilidade, adotou-se um termo mnemônico: “SLAMANGUI”, cujas letras têm o seguinte significado:

S = *Species* (especialização dos nutrientes)

L = *Linkage* (ligação molecular)

A = *Amount consumed in a meal* (quantidade consumida numa refeição)

M = *Matrix in wich the nutrient is incorporated* (matriz onde o nutriente é incorporado).

A = *Nutrient status of the host* (estado nutricional do hospedeiro)

G = *Genetic factors* (fatores genéticos)

H = *Host related factors* (fatores relacionados com o hospedeiro)

I = *Interaction* (interações)

Outras alterações como a inclusão de aspectos como bioconversão, bioeficácia e bioeficiência foram sugeridas no congresso de Biodisponibilidade em Interlaken, na Suíça, em 2001 (BIOAVAILABILITY, 2001). A bioconversão refere-se à proporção do nutriente ingerida biodisponível para a conversão em sua forma ativa. A bioeficácia aponta para a eficiência com que os nutrientes ingeridos são absorvidos e convertidos à forma ativa do nutriente, e a bioeficiência indica a proporção da forma ativa convertida do nutriente absorvido que atingirá o tecido alvo.

Pesquisas e estudos sobre a biodisponibilidade de nutrientes foram desenvolvidos principalmente com proteínas, em seguida com minerais e vitaminas A e C. Mais recentemente com carboidratos, fibras, lípidios e outras vitaminas (COZZOLINO, 2005).

6.6 Valor energético dos alimentos

No terceiro capítulo descrevemos, sucintamente, sobre os primeiros calorímetros utilizados pelos cientistas para medir a quantidade de calor liberada pelos organismo humanos, desde Lavoisier (século XVIII) até o século XX, com Atwater. Atualmente, mesmo que os calorímetros tenham se aperfeiçoado ainda mais, são utilizados os valores de calor de combustão previsto por Atwater. E assim, para medir o valor energético dos macronutrientes utiliza-se o “calorímetro tipo bomba” ou “bomba calorimétrica”. Em uma câmara, carregada de oxigênio e que contém uma porção de água líquida, é colocada uma amostra de alimento de massa conhecida. Por meio de uma corrente elétrica, a amostra é queimada. O calor liberado é absorvido pela água, aumentando sua temperatura, medida

por um termômetro. O calor liberado durante a oxidação é denominado calor de combustão e representa o valor energético total do alimento.

Desta forma, cada macronutriente alimentar oxidado possui seu calor de combustão específico. Por exemplo, o calor médio de combustão por grama de gordura oxidada é 9,4 kcal. Considera-se um valor médio, pois o calor de combustão varia com composição estrutural dos ácidos graxos. Por exemplo, 1 grama de gordura de gado ou de porco libera 9,27 kcal, 1 g de gordura presente na carne no peixe e nos ovos é de 9,50 kcal/g, e nos vegetais e frutas é de 9,30 kcal/g (MCARDLE *et al.*, 1998).

Para os carboidratos, o calor de combustão varia segundo o arranjo dos átomos em cada molécula de carboidratos, considerando-se 4,2 kcal/g. No caso das proteínas, a energia liberada em sua combustão varia segundo dois fatores: o tipo de proteína no alimento e suas proporções relativas de nitrogênio. O valor adotado para a combustão de 1g de proteína é 5,65 kcal/g. (MCARDLE *et al.*, 1998)

6.7 Alimentação e saúde

A concepção de saúde que adotamos pressupõe um bom funcionamento de órgãos e sistemas do corpo. Para tanto, a fim de que numerosas reações e processos químicos ocorram adequadamente, é imprescindível que determinados nutrientes e outros elementos estejam presentes em quantidades suficientes nas células do organismo. Desta forma, a nutrição possui grande responsabilidade no que diz respeito ao estado de saúde humana (BARBOSA *et al.*, 2006, COZZOLINO, 2005, SICHIERI *et al.*, 2000, MARÍN & VERDÚ, 1995).

Especialistas em Ciências Nutricionais associam o bom funcionamento do organismo à existência de equilíbrios entre necessidades e aportes de vários componentes. Vamos apresentar os principais equilíbrios nutricionais que, elencados por Alaúde (2006, p. 43) caracterizam bom estado nutricional:

1. Equilíbrio energético: O ganho e perda de peso são associados à relação entre o consumo e as necessidades por energia. Assim, para mantermos o peso corporal estável, a quantidade de energia ingerida via alimentação deve ser igual ao consumo energético do organismo. Este caso é chamado de equilíbrio ou balanço energético zero. Para a situação de equilíbrio energético positivo, há um aumento do peso corporal devido à quantidade de energia ingerida superar as necessidades do organismo. Do contrário, no equilíbrio energético negativo o aporte energético é inferior às necessidades, ocasionando o emagrecimento.

2. Equilíbrio entre macronutrientes: Cerca de 50 a 60% de nosso aporte energético deve ser proveniente de carboidratos, de 30 a 35% de gorduras e de 12 a 15 % de proteínas.
3. Equilíbrio entre o consumo de amido e açúcares: O amido deve prover cerca de 40 a 50% para o fornecimento de energia, ao passo que a contribuição dos açúcares não deve ultrapassar 10%.
4. Equilíbrio entre os tipos de gorduras ingeridas: As gorduras monoinsaturadas devem contribuir com 10 a 15% para o fornecimento de energia, já as saturadas e poliinsaturadas com menos de 10%.
5. Equilíbrio entre as proteínas de origem animal e as de origem vegetal: Cada um dos tipos de proteínas deve nos fornecer metade do aporte protéico total.
6. Vitaminas, minerais e fibras necessárias: Devem ser consumidos em quantidades suficientes, que são em geral dadas em miligramas ou mesmo microgramas.
7. Colesterol: Não mais que 300 mg por dia.
10. Consumo de sal: Não mais que cinco gramas diários.

Recomendações e guias nutricionais

Desde o reconhecimento das doenças de deficiência nutricional no século XX, e a conseqüente emergência do campo da Nutrição, pesquisadores e estudiosos passaram a desenvolver guias e planos alimentares em resposta ao papel da dieta na promoção da saúde e prevenção das doenças (SICHERI *et al.*, 2000).

Com o intuito de disponibilizar informações acerca das necessidades nutricionais de populações, em 1938 cientistas canadenses elaboraram a primeira Recomendação para Ingestão de Nutrientes (“Recommended Nutrient Intakes” - RNIs.). Com a mesma intenção, nos Estados Unidos foi criado, em 1941, o primeiro Comitê de Alimentação e Nutrição do Conselho de Pesquisa Nacional (“Food and Nutrition Board of the National Research Council”) (MARCHINI & OLIVEIRA, 2000). Tais recomendações sofreram modificações periódicas, até que estes dois países decidiram se unir e revisar as pesquisas existentes, resultando no estabelecimento das DRIs – Ingestão Dietética de Referência (COZZOLINO, 2005).

Cada nutriente possui uma recomendação, e esta se refere à sua ingestão por indivíduos aparentemente saudáveis, ao longo do tempo. Para as DRIs foram principalmente consideradas a informação disponível sobre o balanço do nutriente no organismo, o metabolismo em diferentes faixas etárias, a diminuição de riscos de doenças,

a biodisponibilidade e os erros associados aos métodos de avaliação do consumo dietético (COZZOLINO, 2005). Tais recomendações podem ser utilizadas no planejamento de dietas e programas de orientação nutricional, além de definição de rotulagens de alimentos.

De acordo com Cozzolino (2005), no Brasil, para a avaliação e planejamento dietas, devido a falta de dados capazes de permitir a elaboração de recomendações de nutrientes para a população, são utilizadas as RDAs americanas, bem como as recomendações da FAO (*Food and Agriculture Organization of the United Nations*) ou ainda as estabelecidas pela comunidade europeia (*Scientific Committee for Food*). Assim, foi desenvolvido o “Guia Alimentar para a População Brasileira” (BRASIL, 2005), documento elaborado com base na cultura alimentar e nas tendências de consumo do brasileiro.

Em 1992, com o propósito de orientar a seleção de alimentos e educar a população sadia foi lançado nos Estados Unidos o Guia Alimentar da Pirâmide (Figura 1). Trata-se de uma ferramenta para a compreensão de importantes aspectos alimentares como a variedade, proporção e moderação (MARCHINI & OLIVEIRA, 1998).

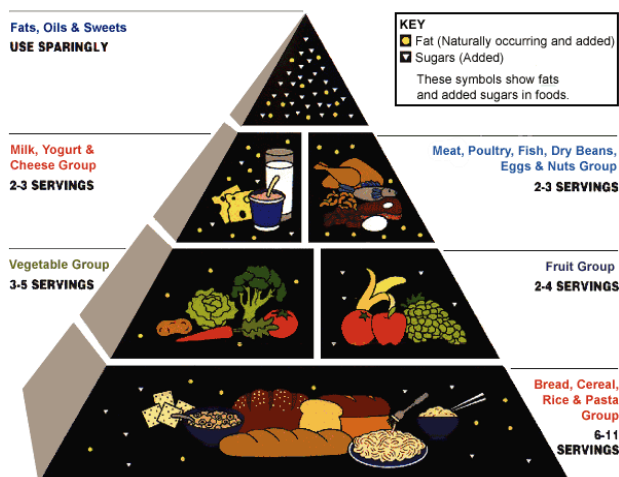


Figura 6.1: Guia da Pirâmide Alimentar, p.2 , EUA, 1992.

Neste tipo de guia são apresentados alguns conceitos básicos como o de variedade, moderação e proporcionalidade. A variedade aponta para a recomendação de se consumir uma grande variedade de alimentos dentro de um mesmo grupo e entre os grupos. Deste modo, todos os grupos são igualmente importantes. A moderação se refere principalmente à quantidade a ser ingerida de alimentos ricos em gorduras e açúcares, e a proporcionalidade indica, por meio do tamanho dos grupos, que devemos consumir mais alimentos pertencentes aos grupos maiores, e menos dos grupos menores.

Capítulo 7

Alimentação numa perspectiva interdisciplinar

7.1 Introdução

Como nos referimos anteriormente, a alimentação é um processo amplo que contempla a seleção dos alimentos, seu preparo e ingestão, envolve o “onde”, o “como”, o “que”, e o com “quem” comemos. Baseando-nos nesta perspectiva, vamos explorar a interdisciplinaridade do tema utilizando como ponto principal às preferências dos indivíduos por determinados alimentos.

Poderiam-nos perguntar por que não tratar a alimentação de um ponto de vista multidisciplinar, uma vez que o assunto pode ser analisado sob diversas perspectivas. De fato, preferências alimentares não se reduzem às escolhas individuais, mas são reflexos de fatores políticos, econômicos, sociais e culturais. A miséria e as condições naturais favoráveis ou não à agricultura, por exemplo, influenciam fortemente a tomada de decisão dos sujeitos sobre o consumo de alimentos.

No entanto, acreditamos que a classificação desta temática como multidisciplinar pode atribuir um caráter estanque e independente para suas dimensões²³. Assim, levando em conta o aporte de Fiedler-Ferrara e Mattos (2002), optamos por fornecer um enfoque interdisciplinar à alimentação uma vez que entendemos nossa proposta como um recorte diretamente relacionado às escolhas e fins que planejamos: o estabelecimento de relações entre aspectos físicos e nutricionais de modo articulado a aspectos sócio-culturais, com o objetivo de compreender e discriminar a alimentação saudável.

Pensamos ser esta uma forma interessante de aproximar a física de um tema do cotidiano. Queremos mostrar aos professores que conteúdos escolares podem ser utilizados não somente para que seus alunos sejam aprovados na escola ou nos vestibulares, mas para a compreensão de um problema comum, pertencente ao seu dia a dia. Nosso esforço se dará no sentido de tornar evidente a potencialidade deste conhecimento para influenciar a tomada de decisão dos sujeitos acerca da boa alimentação, no instante presente de suas vidas.

²³ Estamos nos referindo como dimensões às várias formas de abordar o tema da alimentação.

7.2 Critérios da alimentação

Recentemente, o reconhecimento da boa alimentação como forma de prevenção de doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) chamou a atenção dos consumidores para os “alimentos saudáveis” ou que possuem “elementos especiais”. Indústrias alimentícias reuniram esforços para impulsionar pesquisas sobre nutrientes isolados, uma vez que podem utilizar os resultados para vender seus produtos (WILLIAMS, 2002, RÉMÉSY, 1996).

No entanto, ainda que comprovadas cientificamente, informações sobre benefícios ou malefícios proporcionados pela ingestão de determinadas substâncias, alimentos ou dietas não são as principais referências das pessoas no momento da seleção dos alimentos. Segundo alguns documentos oficiais (BRASIL, 2005), a maneira com que cada indivíduo decide sobre sua alimentação se espelha em sua cultura, em crenças e valores compartilhados em sociedade.

É por isso que tentativas de mudar hábitos dietéticos não dependem exclusivamente de educação em nutrição (ROMANELLI, 2006, GARCIA, 2005, QUANDT, 2003; RAMALHO & SAUNDERS, 2000, BLEIL, 1998). De acordo com Ramalho & Saunders (2000), o malogro de propostas de intervenção na área alimentar muitas vezes ocorre pelo fato de que profissionais de saúde privilegiam em seus discursos aspectos científicos, em detrimento dos econômicos e culturais. Segundo Bleil (1998), diversos programas institucionais alimentares fracassaram no “terceiro mundo” por não contemplar as diferentes categorias culinárias, preceitos e crenças religiosas locais.

Neste sentido, vale lembrar que a ciência contemporânea mantinha demasiada atenção aos aspectos biológicos da alimentação, referindo-se aos alimentos como substâncias dotadas de maiores ou menores quantidades de calorias, proteínas, vitaminas, ácidos graxos, hidratos de carbono, etc., sendo, portanto, desprovidos de outros tipos de significado²⁴ (FISCHLER, 1993).

Além disso, sobre a seleção dos alimentos, é fundamental citarmos um fato que, em geral, nos é apresentado na escola, nas aulas de ciências do ensino fundamental: seres humanos são espécies onívoras, ou seja, podem se alimentar tanto de produtos de origem vegetal, quanto de origem animal.

²⁴ Segundo Fischler (1993), a incorporação da comida é sempre um ato com significados. Abordaremos este aspecto adiante.

Em outras palavras, o corpo humano possui um aparelho digestivo adaptado para metabolizar diferentes tipos de elementos.

Ora, ainda que possa comer diversificadamente, o homem não come “de tudo”, afinal, não são todos os animais, vegetais, grãos, etc. que participam de sua cozinha.

Nesta perspectiva, buscando levar em conta aspectos culturais, sociais e científicos, em especial os relacionados à saúde, tentaremos justificar as escolhas dos sujeitos por meio da elaboração de três critérios: o axiológico, o ontológico e o epistemológico, baseados nas dimensões associadas ao perfil conceitual de Rodrigues e Mattos (2006, 2007), descritas no segundo capítulo.

Estamos cientes de que são inúmeros os motivos envolvidos nas decisões dos indivíduos no que diz respeito à alimentação (BLEIL, 1998). E por isso, informamos que nossa decisão de criar apenas três critérios para a seleção de alimentos está vinculada ao recorte que planejamos, com o intuito de observar um conjunto de determinados aspectos sócio-culturais e científicos envolvidos no tema.

Ressaltamos que nossa intenção não é hierarquizar a importância de conhecimentos distintos, mas de apresentá-los como partes igualmente importantes que se integram para compor a complexa questão da alimentação.

Critério ontológico

Se um determinado povoado não consome tudo o que é biologicamente ingerível e acessível, é porque nem tudo é culturalmente comestível (FISCHLER, 1993).

Este fato, observado por Fischler, torna claro que é a cultura quem atribui a um objeto a categoria de “comestível”, fazendo os comensais gostar de comê-los. “Os gostos são construídos de acordo com o que a cultura estabelece como aceitável” (BLEIL, 1998, p.3).

Podemos entender como cultura um conjunto de mecanismos de controle, planos, receitas, regras, instruções e sistemas simbólicos que regem o comportamento humano, sendo transmitido entre gerações (GEERTZ, 1978).

Por exemplo, de geração em geração as pessoas aprendem como devem consumir um determinado alimento - cru, apodrecido, assado, vivo, etc. e armazená-lo para a preservação – salgando-o, defumando-o, congelando-o. Tomam ciência dos momentos “adequados” para se alimentar ao longo do dia, do tipo de refeição destinada para cada um deles, etc. (MACIEL, 2001).

De acordo com Fischler (1993), a variedade de sistemas culturais existentes no mundo propicia uma multiplicidade de escolhas alimentares humanas. Por consequência, o que é considerado comida para um determinado povo, pode não ser para outro.

Por exemplo, americanos não consideram o cachorro como um alimento, tão pouco os brasileiros. Para nós, isso nada tem a ver com aspectos nutricionais, mas à ontologia dada a determinados animais. Sahlins (1979) justifica que nós vivemos em uma sociedade que tem como princípio a impropriedade de comer animais que vivem conosco como nossos amigos.

Na tabela abaixo, extraída de Fischler (1993), apresentamos uma classificação em “comestível” e “não comestível” em diferentes países.

	Comestível	Não comestível
Insetos	América Latina, Ásia, África, etc.	Europa do oeste, América do Norte, etc.
Cachorro	Coréia, China, Oceania, etc.	Europa, América do Norte, etc.
Cavalo	França, Bélgica, Japão	Grã-Bretanha, América do norte, etc.
Coelho	França, Itália, etc.	Europa, Grã-Bretanha, América do norte, etc.
Caracóis	França, Itália, etc.	Grã-Bretanha, América do norte, etc.
Rãs	França, Ásia, etc.	América do norte, etc.

Tabela 7.1: Classificação elaborada por Fischler (1993, p. 28) em “comestível” e “não comestível” de certas espécies de animais.

Embora esta tabela seja um tanto vaga quanto às localidades, ela ilustra esta discrepância alimentar sobre a qual nos referimos: americanos e europeus não consideram insetos como alimento, já os africanos possuem o hábito de comê-los.

Além disso, o critério ontológico também se refere à percepção do que é alimento.

Os homens memorizam suas percepções do mundo e, à medida que o “experimentam” as vão alterando, processo que remete ao *aprendizado*. Assim, uma

montanha, um vento e uma maçã estimulam os sentidos de um observador, fazendo-o tomar consciência sobre eles.

Dissemos anteriormente que o gosto é moldado pela cultura. E assim, o modo como percebemos diferentes objetos e, o quanto gostamos ou não deles, é também resultado de um processo cultural. Afinal, a percepção envolve a filtração, interpretação e reconstrução de grande quantidade de informação que recebemos continuamente (DUTCOSKY, 1996).

Logo, com relação aos alimentos, a maneira como os percebemos e representamos também recebe grande influência sócio-cultural. Neste sentido, vamos considerar a percepção das pessoas sobre os elementos considerados “comestíveis” ou “não comestíveis”.

Por exemplo: em algumas regiões da China, arroz e escorpião pertencem à mesma categoria – à de alimento. Este povo está acostumado com a aparência do escorpião no prato, sua forma, textura, dureza, cor, temperatura, odor e até os sons que emitem ao serem mastigados.

Para nós, brasileiros, enquanto arroz é alimento, escorpião é apenas um “bicho”, isto é, sua ontologia é de outra espécie, não é um alimento. Imaginarmos sua ingestão ou ver uma pessoa o comendo, nos causa até aversão. Os ruídos provindos de sua mastigação tão pouco nos soariam agradáveis. De fato, para nós, arroz e escorpião são ontologicamente diferentes. (Talvez seja por isso que os restaurantes de comida chinesa em São Paulo não incluem escorpiões em seus cardápios: não sendo considerados “comida”, dariam grandes prejuízos financeiros aos donos).

Contudo, poderíamos considerar o escorpião comestível em caso de fome extrema, em que, por exemplo, tivéssemos que escolher entre pedras e aracnídeos. Mesmo atribuindo-lhes categorias ontológicas distintas, se utilizássemos à dimensão epistemológica, que revela seu valor nutritivo, é possível que optássemos por tal criatura, ou também se fosse considerada sua capacidade para saciar a fome.

Vale lembrar também de alguns “pratos” pertencentes a outros sistemas culturais, e que por nós podem ser considerados estranhos, repugnantes, nos causando aversão: na China, os besouros de esterco, lagartixas assadas, gafanhotos, serpentes, entre muitos outros. Na escócia, o “haggis”: num estômago de carneiro, são cozinhados cebolas, aveia, pulmões de vaca, seus intestinos, pâncreas, fígado e coração, gordura e rim de boi (FARB; ARMELAGOS, 1985, apud MACIEL, 2001). No Brasil, o “rabo de jacaré” e a “buchada de bode” são consumidos no interior de várias regiões brasileiras MACIEL (2001).

Desta forma, a percepção ontológica dos objetos como “comestíveis ou não” contribui para justificar as preferências alimentares dos sujeitos, sendo este um critério ensinado e transmitido culturalmente.

Critério axiológico

Até o momento, abordamos as ontologias atribuídas aos animais em diferentes culturas, transformando-os em “comestíveis” ou não. Vamos agora nos ater aos fins e valores dados aos alimentos. Mostraremos que muitas vezes seus significados estão relacionados ao reforço da identidade de um determinado grupo (FISCHLER, 1993).

“O que é colocado no prato serve para nutrir o corpo, mas também sinaliza um pertencimento, servindo como um código de reconhecimento social” (MACIEL, 2005, p.54).

Por exemplo, nas relações de amizade, é costume oferecermos café aos visitantes para melhor acolhê-los, ou para demonstrar coleguismo. Com o mesmo fim, nas vizinhanças de um meio rural, ao ser abatido um porco, um pedaço é enviado aos vizinhos amigos (DANIEL & CRAVO, 2005).

O caráter simbólico dos alimentos é também observado junto a práticas religiosas. Na Roma antiga, incluía-se o leite de vaca nas oferendas aos deuses e nos sacrifícios fúnebres. Hoje, rituais como a umbanda, estão ligados a oferta de alimentos aos santos (DANIEL & CRAVO, 2005).

Religiões monoteístas, em geral, estabelecem em seus livros sagrados o que pode ou não ser comido. A Bíblia, por exemplo, classifica alguns animais em “puros” e “impuros”. Os primeiros referem-se aos animais que ruminam e possuem unha fendida dividida em duas partes, como boi, cabra e ovelha. Já os “impuros” não são ruminantes e apresentam apenas uma das características dos “puros” que mencionamos (ROMANELLI, 2006). Tais proibições do consumo de determinados alimentos não visam proteger o organismo de algum tipo de substância, mas pretendem “fixar suas identidades em contraponto às identidades de outros grupos religiosos” (ROMANELLI, 2006, p. 335).

Além dos motivos religiosos e os ligados aos relacionamentos interpessoais, a forte presença dos componentes cultural e social na alimentação favorece uma profusão de tipos de associações entre alimentos e fins. Afinal, todos os “comestíveis”, por estarem imersos em uma cultura, não podem estar livres das associações e adjetivações que a sociedade lhes atribui.

Assim, há a comida de natal, de festa, de domingo, de viagem, de casamento, de criança, de mulheres, etc. Vamos dar alguns exemplos breves destas classificações.

De acordo com Quandt (2003), a sociedade ocidental contemporânea fazia muitas suposições sobre alimentos mais apropriados a homens e mulheres. Na França, o peixe, que deveria ser comido em “pequenos bocados”, destinava-se mais ao paladar feminino, enquanto que carne vermelha e queijos fortes eram considerados alimentos mais masculinos. Este tipo de “gênero dos alimentos” reforçava ambas as identidades no contexto da alimentação.

Além dos fins, podemos perceber *valores* maiores ou menores atribuídos pelas diferentes sociedades e pessoas aos alimentos. E assim, dentre aqueles considerados ontologicamente “comestíveis”, uns são mais valorizados que outros, o que também faz parte da dimensão sócio-cultural.

Por exemplo, um japonês pode atribuir maior valor ao *fugu* em relação ao *salmão*. O *fugu* é um peculiar prato japonês, considerado como iguaria. Trata-se de um peixe venenoso, cuja toxidade é fatal para os humanos. É preparado por especialistas que possuem uma técnica específica para extração do veneno. O cliente correrá risco de morte se, por acaso, o cozinheiro cometer alguma falha no momento de preparação do peixe. No Brasil, algo pouco parecido ocorre com a mandioca brava, que também passa por um processo bastante delicado para a retirada do veneno (MACIEL, 2001). Assim, embora seja iguaria para um japonês, uma criança americana pode atribuir valor muito maior a um *cachorro quente* do que ao *fugu*, assim como um vegetariano, provavelmente, valoriza muito mais uma salada de legumes e folhas.

Desta forma, vamos considerar as escolhas dos sujeitos relacionadas aos seus diferentes valores e fins como atribuições do critério axiológico para a seleção dos alimentos. Trata-se de um critério que diz respeito às influências culturais e sociais de um indivíduo sobre as suas preferências alimentares.

É importante perceber que, tal critério não é uma escolha individual - o sujeito está embebido nesse caldo cultural desde a infância ou, talvez, poderíamos considerar desde seu nascimento, quando lhe é oferecido leite materno.

No entanto, valores e fins dados a alimentos e dietas, não são imutáveis. Abordaremos este aspecto no capítulo 8.

Critério epistemológico

Da mesma forma como os critérios ontológicos e axiológicos são importantes e exercem grande influência na seleção de alimentos, os epistemológicos se configuram como uma necessidade para os indivíduos.

Descrevemos, no terceiro capítulo, alguns momentos pelos quais difíceis questões envolvendo a alimentação desafiaram a capacidade de entendimento humana. Por exemplo, doenças como escorbuto e beribéri devastaram populações no passado. Foi por meio de conhecimentos e métodos científicos que suas causas foram detectadas e relacionadas à deficiência de determinados elementos na dieta.

Nas últimas décadas do século XX, por conta de diversas mudanças ocorridas no padrão alimentar do Brasil e do mundo, novos desafios surgiram no âmbito da alimentação: pesquisas sobre as chamadas doenças crônicas não transmissíveis (DCNT) apontaram para o alimento como um de seus fatores desencadeadores.

Neste ínterim, a ciência pode demonstrar que a adoção de dietas saudáveis é imprescindível para a prevenção de tais enfermidades e para a manutenção da saúde.

Desta forma, perguntamos: o que é se alimentar de uma maneira saudável? Esta é a questão que estamos especialmente interessados.

No entanto, é preciso utilizar algum conhecimento científico para respondê-la.

Nesta perspectiva, vamos abordar aspectos físicos e nutricionais, e algumas ligações entre eles a fim de estabelecermos um critério epistemológico para a compreensão da boa alimentação. Este critério nos servirá como uma ferramenta para conhecermos os alimentos, sua composição, função no organismo e, em especial sua íntima relação com a saúde humana.

E assim, para que sejam feitas escolhas alimentares com base nesta dimensão, o sujeito deve se embrenhar no mundo da ciência, cujo contato formal é feito via escola, na qual o professor é o seu principal porta-voz.

Objetivos da nutrição

Nesta seção, vamos tratar dos “propósitos da alimentação” segundo aspectos nutricionais.

De acordo com Alaúde (2006), Verdú & Marin (1995) e Williams (2002) do ponto de vista da nutrição, nos alimentamos basicamente por três motivos: obtenção de energia, formação e manutenção das estruturas e regulação dos processos metabólicos.

Em relação ao primeiro objetivo, atividades básicas do ser vivo como mover-se, crescer e reproduzir-se, demandam energia. Mesmo em repouso, há gasto energético por parte dos organismos para a manutenção dos processos vitais²⁵.

Outro objetivo fundamental da alimentação é a formação e manutenção de estruturas. Ora, para um recém nascido crescer e desenvolver-se é imprescindível que lhe seja fornecido energia e nutrientes. Em geral, os bebês passam “de 3,5 quilos a 11 quilos em apenas doze meses” (ALAÚDE, 2006, p. 16).

No caso do organismo adulto, mesmo que a fase de crescimento tenha cessado, o suprimento de nutrientes é necessário para reparar milhares de células destruídas diariamente pelo organismo, de modo espontâneo.

E por fim, como importante propósito da alimentação tem-se a regulação dos processos metabólicos. Referimos-nos, no sexto capítulo, à existência de elementos essenciais para o organismo, e que não fornecem energia ao corpo: é o caso das vitaminas e minerais (micronutrientes), cuja função é reguladora, uma vez que interferem em múltiplas reações químicas essenciais para a vida celular.

De um ponto de vista um pouco mais técnico, estas três funções da alimentação podem ser reportadas ao metabolismo: conjunto das reações químicas responsáveis pelos processos de síntese e degradação dos nutrientes na célula (LEHNINGER, 2006, MARZZOCO, 1999, MCARDLE *et al*, 1998).

Costuma-se dividir o metabolismo em duas fases principais: catabolismo e anabolismo.

O catabolismo é a etapa em que são degradados compostos relativamente grandes como carboidratos, proteínas e gorduras, sendo produzidas moléculas menores e mais simples, como gás carbônico, amônia, uréia, ácido láctico e ácido acético. Durante esta fase a energia química é liberada e conservada em forma de ATP (trifosfato de adenosina), a molécula responsável pela transferência de energia (LEHNINGER, 2006, MARZZOCO, 1999).

O anabolismo é considerado como fase “edificadora” ou “biossintética”: trata-se da síntese de moléculas complexas (como ácidos nucleicos, proteínas, etc.) a partir de seus

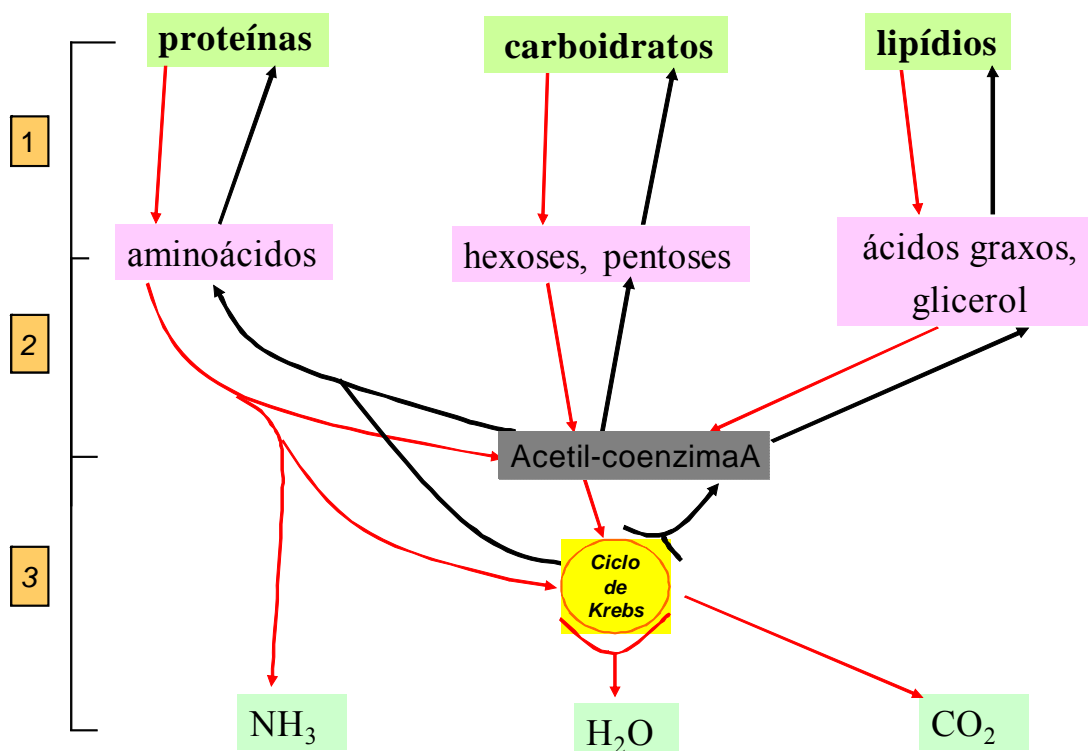
²⁵ Denomina-se metabolismo basal a necessidade mínima de calorías que o corpo humano deve receber para manter suas funções vitais (respiração, metabolismo celular, circulação, atividade glandular e manutenção da temperatura corpórea). O metabolismo basal varia de acordo com o indivíduo, idade, sexo, altura, massa, nível de atividade física, temperatura ambiente, entre outros fatores (MCARDLE *et al*, 1998, HARPER, 1982). O modo de se calcular o metabolismo basal está descrita no Apêndice, p. 129.

precursores, moléculas mais simples como aminoácidos, hexoses, ácidos graxos, etc. Esta fase do metabolismo requer energia, que é fornecida pela molécula de ATP, gerada durante o catabolismo (LEHNINGER, 2006).

O anabolismo e o catabolismo ocorrem de modo simultâneo nas células, constituindo um conjunto bastante complexo de reações químicas, reguladas entre si. Tais reações estão conectadas em sequências consecutivas, constituindo uma “canalização” ordenada de milhares de reações químicas celulares, de modo que “todas as moléculas específicas requeridas pela estrutura e função celulares são produzidas em quantidades e velocidades apropriadas” (LEHNINGER, 2006, p. XIII). Isto confere aos processos metabólicos propriedades de auto-regulação²⁶. Este nível de regulação é possível principalmente devido à presença das enzimas, que possuem a propriedade de reconhecerem seus substratos de maneira específica (LEHNINGER, 2006, VOET *et al*, 2000, MCARDLE *et al*, 1998).

Lehninger (2006), por fins didáticos, dividiu em três estágios principais a complexa rede de reações metabólicas.

Na Figura 1, apresentamos um esquema bastante simplificado destes estágios.



²⁶ “As células vivas possuem o poder de regular a síntese de seus próprios catalisadores. Assim, a célula pode ‘desligar’ a síntese de enzimas requeridas para fazer um determinado produto a partir de seus precursores toda vez que tal produto esteja disponível, já pronto, proveniente do meio ambiente” (LEHNINGER, adaptado, 2006 p. XIII).

Figura 7.1: As três etapas principais do metabolismo, setas vermelhas representam as transformações ocorridas no catabolismo, e as setas pretas representam as transformações relacionadas ao anabolismo. Esquema adaptado e extraído de Lehninger, p. 271 (2006).

No primeiro estágio do catabolismo, as moléculas de nutrientes serão degradadas nos seus principais blocos construtivos. Os carboidratos formarão hexoses (como a glicose) ou pentoses, lipídeos produzirão ácidos graxos, glicerol e outros componentes e as proteínas produzem aminoácidos.

No estágio II do catabolismo diversos produtos do estágio I são coletados e convertidos em um número menor de intermediários. Tal conversão produzirá compostos ainda mais simples. Assim, as hexoses, as pentoses, o glicerol serão degradados via ácido pirúvico, formando a molécula Acetil-CoA (Acetil coenzima A). De forma análoga, os aminoácidos e ácidos graxos também serão convertidos em outros produtos finais.

No estágio III do catabolismo, tais produtos transformados serão então canalizados para um percurso metabólico final comum, onde sofrerão oxidação, convertendo-se em dióxido de carbono e água.

Com relação à fase da biossíntese, no seu primeiro estágio, moléculas pequenas e simples, chamadas de precursoras, geradas no estágio III do catabolismo, são convertidas em blocos construtivos no estágio II, e que por fim, serão reunidos nas macromoléculas no estágio I (LEHNINGER, 2006).

Desta forma, podemos perceber as três funções da alimentação relacionadas ao metabolismo: obtêm-se energia através da degradação dos macronutrientes (catabolismo). A formação e manutenção das estruturas é possível, principalmente, devido à biossíntese de moléculas (anabolismo) e toda esta rede complexa reações catabólicas e anabólicas mostram-se altamente reguladas, ocorrendo de modo simultâneo nas células.

Alimentação saudável

A adoção de uma alimentação saudável mostra-se bastante relevante para que sejam realizadas com êxito as três finalidades da nutrição no organismo humano.

Desta forma, o aporte de energia, tão importante para os organismos vivos, não pode provir de qualquer alimento. Conforme descrevemos no capítulo 6, uma alimentação saudável exige que os carboidratos forneçam cerca de 50 a 60% das calorias ingeridas, 30 a 35% sejam derivadas de gorduras e 12 a 15% provenientes de proteínas. É por isso que as

pirâmides alimentares (como a apresentada no capítulo 6) possuem carboidratos em suas bases, suas partes mais largas.

Há também exigências no que diz respeito ao suprimento de nutrientes que adequados à boa alimentação. Expressando de uma maneira bastante simplificada, alimentar-se de maneira saudável implica em “moderação e variedade”.

A recomendação sobre moderação refere-se ao fato de que sejam evitados os exageros no consumo de alimentos. Alguns especialistas defendem a idéia de que a hipertensão, a obesidade e os elevados níveis de colesterol são transtornos associados a excessos alimentares (ALAÚDE, 2006, REGO *et al*, 1990). Já a variedade está relacionada às necessidades do organismo por nutrientes diversos. Deve-se incluir na dieta alimentos que, juntos comportem uma grande variedade de substâncias, como carboidratos, proteínas, gorduras, fibras, água, diferentes tipos de vitaminas e minerais (REMÉSY, 1996).

Assim, na figura a seguir representamos de maneira sintética os nutrientes e as demais substâncias que compõem a alimentação saudável, junto às suas respectivas funções principais no organismo humano.

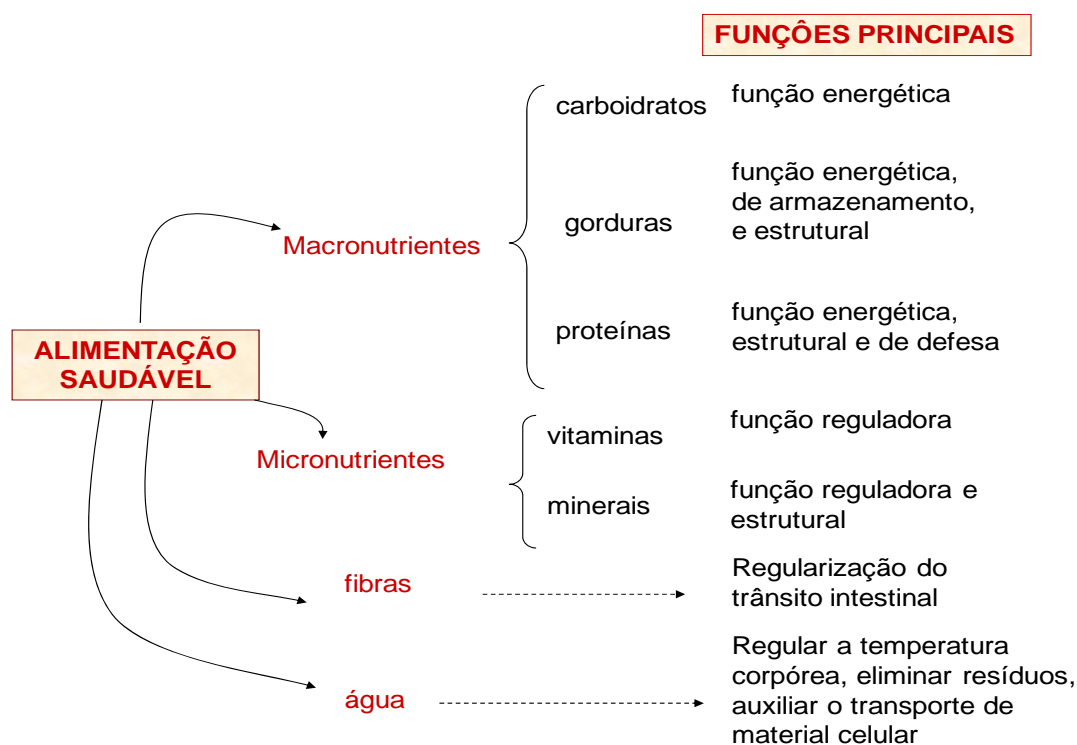


Figura 7.2: Funções principais dos nutrientes e demais substâncias necessárias para uma alimentação saudável, de acordo com o estudo descrito no sexto capítulo.

De modo complementar, também podemos compreender estes aspectos principais da alimentação saudável do ponto de vista da física. Para tanto, retomaremos o modelo de sistema termodinâmico que associamos ao corpo humano no quarto capítulo.

De início, observamos que o aporte de energia é extremamente essencial qualquer que seja o sistema termodinâmico em questão. Por exemplo, um automóvel não se locomove sem o calor proveniente das reações de combustão ocorridas em seus cilindros. Uma usina nuclear não funciona sem a energia da fissão de núcleos atômicos.

Da mesma forma, uma planta, não se mantém viva num ambiente em que a energia luminosa esteja ausente, assim como o sistema associado ao corpo humano não sobrevive sem energia, que segundo Durán (2005) e Okuno (1986), em sua maior parte, é proveniente da alimentação.

Tais necessidades por energia, nutrientes e demais substâncias revela este sistema como sendo aberto a fluxos de matéria e energia provenientes do ambiente. Do contrário, se isolado do entorno, poderia estar imerso num ambiente uniforme, no sentido de que pressões e temperaturas iguais inviabilizariam movimentos e conduções térmicas. Não haveria diferenças de potenciais químicos ou elétricos, não sendo formado nenhum composto químico. De fato, o sistema teria atingido o equilíbrio termodinâmico, cuja entropia seria máxima e evento algum poderia ser observado (SCHRÖDINGER, 1944).

Sendo um sistema aberto, não pode estar em equilíbrio termodinâmico. E assim, vale lembrar nossa hipótese deste sistema estar em estado estacionário e em equilíbrio entrópico.

Novamente, voltando nossa atenção para a alimentação saudável, é importante levar em conta as exigências dos nutricionistas com relação à procedência da energia e matéria de entrada no sistema. Tais recomendações representam uma notória especificidade destes fluxos.

7.3 Ampliando a discussão com Schrödinger

Como mote para uma discussão física mais ampla, vamos redimensionar duas questões propostas por Schrödinger (1944) em sua obra “O que é vida?”, para adequá-las ao nosso trabalho.

Em relação à especificidade do fluxo de entrada de energia no sistema, perguntamos:

(I) Se uma caloria de carboidrato é exatamente igual a uma caloria de proteína, porque nutricionistas recomendam que a maior parte das calorias ingeridas, cerca de 50 a 60 %, deve ser proveniente de carboidratos?

E por que não utilizar as calorias da gasolina, por exemplo?

Sobre a especificidade do fluxo de matéria recomendado para entrada no sistema:

(II) Se qualquer átomo de ferro, zinco, ou selênio é tão bom quanto qualquer outro do seu tipo, porque o ferro contido num espinafre é melhor do que o existente em uma porção de terra, altamente rica neste mineral?

Em relação à pergunta (I), para Schrödinger (1944), o que está “em jogo” não é a energia em sua quantidade, mas uma outra grandeza física, a entropia.

A molécula de glicose, nosso principal combustível, é formada por 6 carbonos, 12 átomos de hidrogênio e 6 átomos de oxigênio. É encontrada principalmente em vegetais, sendo fabricada por eles através do processo de fotossíntese (MCARDLE *et al*, 1998).

A gasolina, derivada do petróleo, é constituída de centenas de diferentes hidrocarbonetos (moléculas formadas de hidrogênio e carbono), sendo a maior parte deles compostos saturados, com 4 a 12 átomos de carbono na molécula (FERREIRA, 2003).

Talvez o que possa contrastar mais nestas duas quantidades de calorias é o sistema que vai recebê-la. A mesma quantidade de energia proveniente de duas moléculas distintas se comporta de maneira diferente quando dentro de um determinado sistema. Assim, por não conseguir ser aproveitada para realizar as funções básicas do corpo humano, a caloria da gasolina se traduz em uma energia indisponível para o corpo humano.

Posto que uma das interpretações do conceito de entropia esteja associada à capacidade de transformação de energia, a parcela que não pode ser aproveitada para tais transformações acaba por promover, ao ser inserida no sistema, um aumento de entropia, numa determinada escala de tempo (e do ponto de vista do modelo de sistema termodinâmico que adotamos).

Quanto à comparação entre as calorias da proteína e do carboidrato, atribuí-se maior importância para os hidratos de carbono por conta de peculiaridades do próprio sistema, que determinam maior facilidade de aproveitamento de sua energia.

Isto pode ser justificado pelo fato de que, antes das proteínas disponibilizarem sua energia para as células, os aminoácidos devem ser transformados em uma forma capaz de penetrar nas “vias para liberação de energia”, ou seja, no ciclo de krebs²⁷. Já a glicose, conhecida por “açúcar do sangue”, “está pronta” para essa finalidade, que constitui sua função primordial. Os carboidratos também são os únicos nutrientes cuja energia armazenada pode ser utilizada para gerar a molécula de ATP (adenosina trifosfato) sem a presença de oxigênio, (sendo fundamental ao indivíduo que se encontra em exercício vigoroso). Além disso, para que os compostos derivados da gordura sejam processados e utilizados na produção de energia, o organismo humano exige um fracionamento contínuo dos carboidratos (MCARDLE *et al*, 1998).

Agora, se mudarmos de sistema e, ao invés do corpo humano associássemos o modelo termodinâmico a um gato, é a caloria da proteína quem assume o papel de combustível principal (MAGGITI, 1993). Assim, características peculiares deste novo sistema elegem as proteínas como responsáveis pelo fornecimento da maior parte de energia requerida.

Corroborando para demonstrar a importância do sistema em questão, também poderíamos considerar que, se introduzirmos leite ao invés de gasolina no tanque de um automóvel, embora haja energia armazenada em seus compostos, como nas ligações da molécula galactose (o “açúcar do leite”), o sistema “carro” não conseguirá transformá-la em elétrica e mecânica.

Em relação à pergunta (II), pesquisadores em nutrição podem nos responder prontamente. De acordo com Rémésy (1996), a finalidade dos alimentos não é nos fornecer uma determinada quantidade de um nutriente, mas uma variedade deles – a dieta. Desta forma, somente o teor de micronutrientes, fibras, ou seu valor energético, isoladamente, não é capaz de tornar uma porção de terra alimento, menos ainda de ser benéfica à saúde.

A necessidade nutricional humana é tão diversificada e complexa que, nenhum tipo de elemento, por si só, pode satisfazer as necessidades do corpo humano (ALAÚDE, 2006, RÉMÉSY, 1996, ANGELIS, 2001, QUANDT, 2003). E assim, há a preferência em se obter ferro do espinafre ao invés da terra, pois o primeiro contém outros nutrientes, como cálcio, fósforo, vitamina A e complexo B (MINDELL, 1986).

Rémésy (1996) utiliza o termo “calorias vazias” para justificar o fato de que, os alimentos somente podem trazer benefícios ao organismo quando suas calorias (presentes

²⁷ Ciclo de Krebs é um complexa rota metabólica com a finalidade de oxidar a molécula de Acetil coenzima A e formar moléculas de CO₂ (MCARDLE *et al*, 1998).

nos macronutrientes que o contém) estão acompanhadas de outros elementos. Tamanha é a importância do conjunto de compostos contidos no alimento que, segundo Mindell (1986) “as vitaminas não funcionam e não são assimiladas sem ajuda dos minerais” (MINDELL, 1986, p. 29). Além disso, segundo esse autor, muitas pessoas acreditam que podem substituir os alimentos por vitaminas, ou que estas últimas podem ser consumidas em forma de cápsulas energéticas. De novo, estes micronutrientes não fornecem energia e não podem ser assimilados sem estarem contidos num alimento.

Justifica-se assim, o fato de que balas, doces, bolos e etc são representados no topo da pirâmide alimentar (como a apresentada no sexto capítulo) indicando que devem ser consumidos em pequenas quantidades. Afinal, ainda que tenham alto teor de glicose, possuem pouco ou nenhuma vitamina, minerais, fibras, etc.

A questão da importância do sistema que recebe o aporte de matéria também se destaca neste caso. Afinal, as substâncias contidas num objeto só serão aproveitadas como alimento dependendo do sistema que a recebe.

Por exemplo, de acordo com Fighera *et al* (2002), enquanto a cebola comum (*allium cepa*) é considerada alimento para seres humanos, não é para cães, gatos, eqüinos e bovinos, sendo tóxica para estes animais.

Curiosamente, esta “idiosincrasia” do sistema em relação aos fluxos de energia e matéria já é conhecida pelas Ciências Nutricionais há alguns anos.

Os nutricionistas apontam para o fato de que um objeto é considerado alimento para um organismo específico, dada uma determinada dieta. Assim, reconhece-se um alimento pelo fato deste ser acessível aos processos metabólicos e fisiológicos peculiares do sistema.

Neste sentido, o termo “biodisponibilidade” é utilizado em referência à “fração de qualquer nutriente ingerido que tem o potencial para suprir demandas fisiológicas em tecidos alvos” (COZZOLINO, 2005). E assim, a biodisponibilidade não é uma propriedade do alimento ou dieta, mas uma resposta à interação do organismo (sistema) com o alimento.

Frente a isto, vamos deixar registrada nossa hipótese de que a resposta dada pelo organismo reflete a capacidade de transformação dos elementos ingeridos. Parcelas de energia não aproveitadas, ou não “biodisponíveis” podem representar o aumento da entropia no sistema.

Deste modo, do ponto de vista da nutrição, um objeto é considerado alimento se, pertence a uma determinada dieta, elaborada para um organismo específico.

Vale lembrar que a transferência, o armazenamento e a utilização de energia e matéria pelo organismo, além de constituírem processos bastante complexos, ocorrem de modo gradativo junto às diversas e contínuas reações catabólicas e anabólicas do metabolismo.

No entanto, de um ponto de vista físico, ao invés de nos atermos aos vários “saldos entrópicos” correspondentes a cada instante do metabolismo, podemos pensar no corpo humano de um modo mais geral (como descrevemos no capítulo 4), representado por um sistema que recebe e devolve para o ambiente um determinado fluxo de matéria e energia. Desta maneira, graças à alimentação, em especial, estes inúmeros processos vão, enfim, contribuir para a diminuição da entropia interna do sistema, assim como para o seu aumento no entorno. Neste sentido, podemos dizer que, sobre a ótica da física, reconhece-se um objeto como alimento pela sua capacidade de sofrer transformações no sistema, fazendo com que, desta visão geral, sua entropia interna diminua.

E assim, com relação à equação do balanço de entropia, para que o saldo entrópico seja quase nulo, a energia proveniente dos carboidratos, no caso dos humanos, é quem melhor compensa a entropia que o organismo produz por estar vivo. Analogamente, um gato e uma planta possuem como principal fonte de entropia negativa, a energia das proteínas, e a energia luminosa do sol, respectivamente, além de seus correspondentes aportes adequados de matéria.

Dietas e sistemas

Embora a analogia entre seres vivos e máquinas é bastante polêmica e considerada “perigosa” para alguns colegas e professores, principalmente por conta da grande complexidade dos primeiros, acreditamos poder, nos apoiando no modelo descrito anteriormente, traçar um paralelo junto a elas e até ampliar nosso ponto de vista para outros sistemas.

O modelo de sistema termodinâmico que utilizamos faz referência a um tipo de máquina que, embora não conheçamos os “detalhes”, funciona recebendo e expulsando um tipo específico de energia e matéria.

Dada à especificidade destes fluxos, numa perspectiva interdisciplinar, os reconheceremos como componentes de uma “dieta para o sistema”.

Sabemos que nossos principais fornecedores de energia são os carboidratos, proteínas e gorduras (macronutrientes) e as vitaminas e minerais (micronutrientes) possuem a importante função de regular os processos metabólicos. Poderíamos então considerar os macronutrientes, como o combustível desta máquina, enquanto que os

micronutrientes podem representar o seu óleo. Ora, assim como o combustível, o óleo adequado é fundamental para o bom funcionamento do motor, sendo específico para cada máquina.

Os motores térmicos, por exemplo, também possuem suas exigências quanto ao combustível e óleo a serem adotados. Por isso, não nos parece absurdo falar em “dieta do carro”, “dieta da turbina a vapor”, “dieta da usina hidrelétrica”, etc.

No caso de automóveis comuns, como o Ford Fox, pode-se encontrar “dietas” em seus manuais. Atualmente, há muitas “dietas flex”, uma vez que há automóveis capazes de transformar as energias provenientes tanto do álcool quanto da gasolina para realização de trabalho.

No manual deste veículo (FOX, 2006), pode-se obter informações sobre a especificidade dos combustíveis:

“Gasolina: somente deve ser utilizada gasolina do tipo C, sem chumbo, com porcentagem de álcool etílico anidro definida pela legislação vigente no país”. “Álcool: somente deve ser utilizado álcool etílico hidratado, com porcentagem de gasolina definida pela legislação vigente no país” (FOX / CROSS FOX, 2006, p. 154).

Com relação à especificidade do óleo:

“A qualidade do óleo do motor atende a especificações rigorosas”. “Os óleos recomendados pela Volkswagen são produtos com alto poder lubrificante que atende à especificação VW 502 00” (FOX / CROSS FOX, 2006, p. 158).

As recomendações dos usos específicos de tais óleos e combustíveis estão dentro do campo analógico que estamos fazendo com a “dieta”, afinal, são estes produtos que possibilitam o melhor desempenho do veículo, dentro de suas possibilidades de rendimento.

7.4 Uma síntese

Os três critérios que descrevemos estão bastante interligados entre si, de modo que, no momento da escolha dos alimentos é difícil tomá-los independentemente.

Com o critério ontológico e o axiológico compreendem-se as preferências alimentares de acordo com a sociedade e cultura em que os sujeitos estão imersos.

Como dissemos, mesmo sabendo que gafanhotos são nutritivos, um americano, a partir do critério ontológico, não o atribui à categoria de “comestível”, assim como atribui à carne de boi. Ou ainda, como outro exemplo, poderíamos supor um jovem brasileiro, que

sempre apreciou carne, um dia decide não incluir mais em sua dieta peixes, frango e carne vermelha, atribuindo maior peso às dimensões ontológicas e axiológicas.

Podemos compreender a adoção desta uma nova dieta associada aos três critérios. A dimensão axiológica representa questões relacionadas a valores e fins dados aos alimentos, pois, a decisão de não selecionar mais carne e peixe para o consumo pode estar ligada a motivos ecológicos, ou à piedade do sujeito pelos animais, etc. Mas mesmo assim, no sentido epistemológico, o sujeito sabe que há maneiras de se obter as proteínas, vitaminas e minerais presentes na carne e no peixe em outros alimentos. Do ponto de vista ontológico, estes “novos” alimentos procurados ainda serão àqueles considerados comestíveis por sua cultura.

Do ponto de vista da Física, o corpo humano pode ser pensado como um sistema termodinâmico, que recebe um determinado aporte de energia e matéria. Por estar vivo, e assim, efetuando milhares de reações químicas metabólicas, produz uma quantidade de entropia positiva. Já os alimentos, possuem a energia e matéria adequadas para que sejam acessíveis aos processos do metabolismo e, portanto, possuem uma grande capacidade de transformação no organismo. Desta forma, podem ser considerados como uma entropia negativa para os seres vivos.

Um melhor funcionamento do sistema, desse ponto de vista, implica numa alimentação acessível a tais processos e reações metabólicas, o que diz respeito à dieta saudável.

Capítulo 8

Considerações finais e perspectivas

Desde o início da pesquisa, tínhamos a impressão de que alunos, professores e autores de livros didáticos, priorizariam o conceito de energia ao abordar a alimentação do ponto de vista da física. Esta idéia baseava-se na aparente vulgarização do conceito de energia (junto à caloria) no senso comum e a forma como este se mostra importante para a compreensão do assunto.

Para investigarmos esta idéia, tanto ao longo da história, como nos dias atuais, realizamos um estudo sobre elementos históricos das relações entre física e nutrição, e um levantamento sobre as concepções de professores e abordagens de livros didáticos a respeito do assunto.

Pudemos então verificar que desde a antiguidade o homem é associado à imagem de uma máquina (*autômato*) por nomes importantes como Santo Tomás de Aquino, Descartes e Lavoisier. Trata-se da antiga analogia estabelecida entre máquinas e seres-vivos, que até hoje pode levar a equívocos diversos, como por exemplo, a crença de que, assim como máquinas térmicas “alimentam-se de energia”, a finalidade da alimentação no corpo humano é o aporte energético.

Já nos tempos atuais, com os levantamentos de concepções e abordagens descritos no quinto capítulo, a hipótese de descrições que privilegiam aspectos quantitativos da energia na alimentação pode ser verificada, principalmente, para professores em formação de Física, já que mais da metade (66%) descrevem a alimentação como um processo basicamente de trocas de energia. Para o caso dos livros didáticos analisados, a maior parte da amostra (50%) apresentou a predominância de uma visão energética ou da primeira lei da termodinâmica para justificar a alimentação e sua finalidade física no organismo.

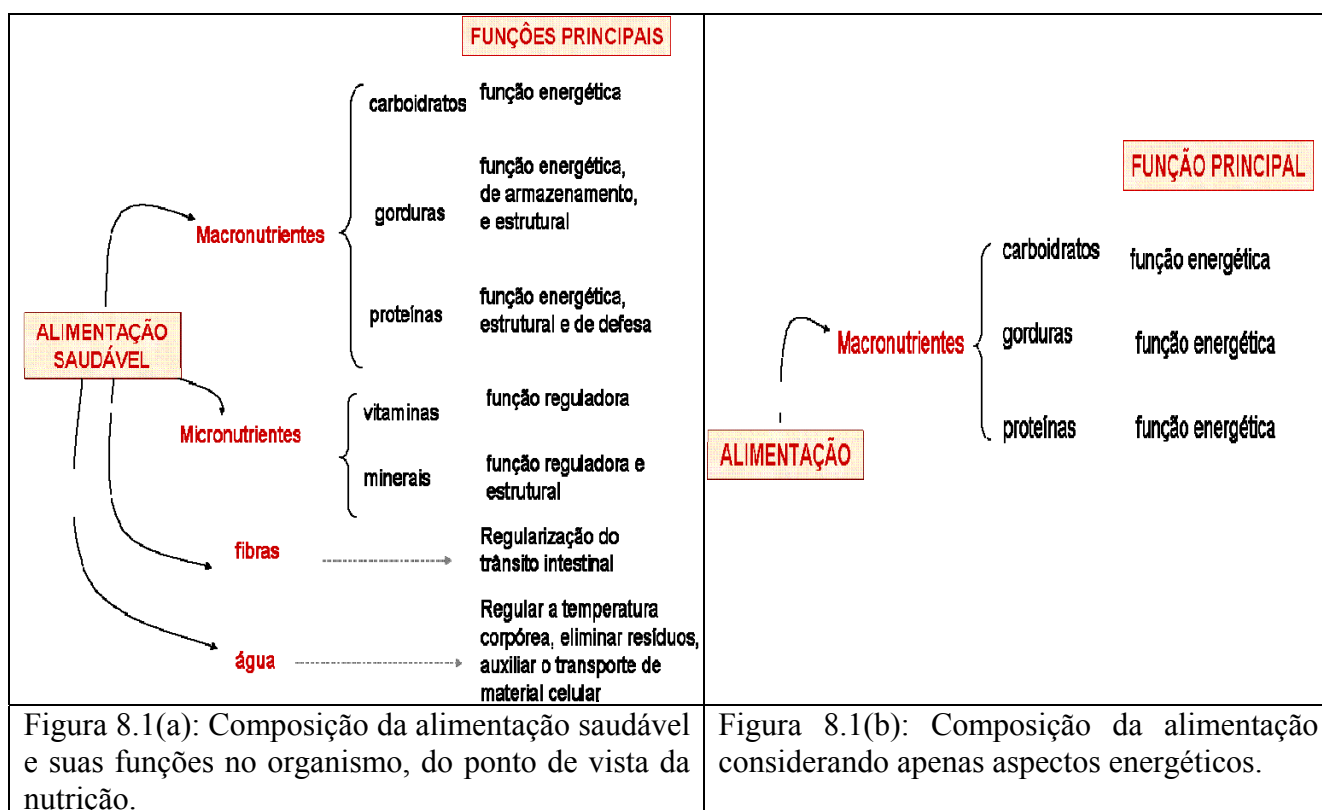
Frente a este resultado, fomos estudar elementos do conteúdo específico de Ciências Nutricionais e de Física. Pensávamos com isso trazer à tona argumentos que esclarecessem porque a abordagem puramente energética da alimentação não é desejável.

E assim, como perspectiva futura deste trabalho, vamos incentivar os professores que pretendem trabalhar com o tema da alimentação a implementar enfoques integradores e interdisciplinares em suas aulas. Para tanto, como nos referimos no segundo capítulo, acreditamos que a inserção de tais enfoques na escola exige que sejam antes introduzidas e trabalhadas em cursos de formação de professores. Tais cursos são mais favoráveis à apresentação e à incorporação de temas interdisciplinares, uma vez que propiciam

mudanças nos valores e atitudes dos docentes em relação ao conhecimento (BAIARD *et al*, 1991). Trata-se de uma oportunidade para o educador refletir com mais intensidade sobre interesses sociais, culturais e científicos dos estudantes e da sociedade.

Desta forma, em relação a nossa abordagem interdisciplinar, primeiramente é necessário mostrar aos docentes que abordar a alimentação baseando-se apenas no conceito energia leva a uma visão muito limitada da questão.

Talvez, uma das maneiras interessantes de mostrar aos professores a limitação e inviabilidade desta descrição para compreender a alimentação ou a alimentação saudável seja apresentar o esquema abaixo, que extraímos do sexto capítulo:



Do lado esquerdo da Figura 8.1(a) há os componentes necessários para a alimentação saudável e suas correspondentes funções no organismo. Do lado direito, Figura 8.1(b), há uma representação do que a visão puramente energética da alimentação pode abarcar.

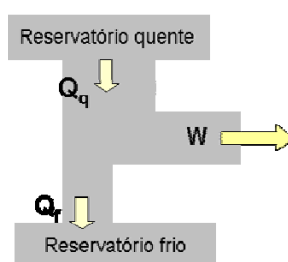
Ao compararmos a Figura 8.1 (a) e (b) podemos concluir que, a alimentação saudável inclui mais componentes e pode ser contemplada se reconhecidas outras funções para os alimentos.

Ainda assim, mesmo que não se leve em conta sua relação com a saúde, a visão representada em 8.1(b) pode levar a uma simplificação demasiada do assunto, tornando-se distante da realidade. Afinal, tratar a alimentação numa perspectiva exclusiva da energia só nos permite considerar como alimentos as substâncias cuja função é fornecer calorías.

Outro exemplo que evidencia a limitação desta visão encontra-se no capítulo destinado aos elementos históricos: ainda que supridos adequadamente de energia, no passado era comum os indivíduos adoecerem quando lhe faltavam substâncias *não energéticas* como a vitamina C, D e B1, o que demonstra a importância destes elementos na dieta.

Pretendemos ainda, como perspectiva futura, produzir material de subsídio a formação de professores, que traga exemplos de problematizações, que podem servir como uma motivação para que os professores se envolvam com a abordagem proposta:

- *Se nos alimentamos de energia, por que um sujeito não pode utilizar uma bateria para fornecer ao seu corpo uma quantidade de energia equivalente à recomendada pelo seu nutricionista, de 2000 kcal/dia, por exemplo?*
- *Por que comer fibras insolúveis faz bem a saúde, sendo que não aproveitamos sua energia e massa?*
- *Sendo a quantidade de energia o aspecto físico fundamental da alimentação, por que não nos alimentamos de gasolina, substância altamente energética?*
- *Por que as vitaminas são tão importantes e tão divulgadas nas embalagens dos alimentos se não fornecem energia ao organismo?*
- *Se precisamos sempre repor a energia do corpo, por que não colocamos o dedo na tomada para nos recarregar-mos diariamente?*
- *100 J de qualquer tipo de energia são capazes de realizar trabalho na máquina térmica abaixo?*



Poderíamos, ainda, elaborar muitas outras perguntas sobre este assunto. É por meio de uma problematização significativa que pretendemos motivar os professores, em futuros cursos de formação, mostrando que a abordagem interdisciplinar pode ser uma boa alternativa para estes problemas.

No entanto, nenhum professor faz uso apenas da dimensão epistemológica do conhecimento. Nascidos numa determinada época, sociedade e cultura, os sujeitos possuem,

no mínimo, percepções de mundo, costumes e crenças particulares como resultado desta imersão inevitável.

Neste sentido, escolhas alimentares, saudáveis ou não, mostram-se totalmente permeadas pela cultura, e é por isso que resolvemos incluir aspectos sócio-culturais, além dos científicos em nossa abordagem. Acreditamos que isto nos possibilita abarcar um pouco mais da complexidade do assunto.

Para nós, esta é uma maneira de tornar os professores (ou alunos) conscientes de que suas atitudes e tomadas de decisão, frente à alimentação, tem origem em questões de ordem cultural, social e científica. Assim, até para que as recomendações dos nutricionistas sejam bem compreendidas, torna-se necessária à reflexão sobre os elementos culturais associados às suas preferências alimentares.

Retomando de modo sintético nossa abordagem, há diferentes formas de atribuir a um objeto a qualidade de alimento.

De acordo com o critério ontológico consideramos como alimentos os objetos que são culturalmente reconhecidos como “comestíveis”. Por exemplo, na América Latina, em relação às carnes, possuem valor de alimento o boi, o porco, a vaca.

Com o critério axiológico, dentre os objetos ontologicamente considerados como alimento, alguns são mais valorizados do que outros. Ambos os critérios são acessíveis ao sujeito a partir de seu nascimento, e se intensificam a medida com que este se relaciona com mundo.

No entanto, valores, fins e percepções que as pessoas atribuem aos alimentos não são imutáveis, mas podem ser questionadas e alteradas, principalmente quando o indivíduo, de alguma forma, tiver ampliada sua visão de mundo sobre o assunto, para assim ser capaz de visualizar alternativas, o que nos remete ao processo educativo.

O critério epistemológico desponta nesse momento como capaz de propiciar que o sujeito conheça os alimentos de uma maneira bastante peculiar. Segundo este critério, do ponto de vista da nutrição, um objeto pode ser considerado alimento se, pertence a uma determinada dieta, elaborada para um determinado organismo. Sobre a ótica da física, reconhece-se um objeto como alimento pela sua capacidade de sofrer transformações no sistema, fazendo com que, de uma visão ampla, exposta anteriormente, sua entropia diminua.

Em relação à alimentação saudável, é importante lembrarmos não só da função energética da nutrição, mas das outras duas, igualmente importantes: a formação de estruturas e promoção de sua manutenção, e a regulação dos diversos processos metabólicos. Para que estes três propósitos sejam bem sucedidos, é necessário um aporte específico de energia e de nutrientes, ao qual os nutricionistas denominam de *dieta*. A dieta

é uma prescrição feita pelos nutricionistas com atenção às principais necessidades específicas do organismo. E assim, a dieta saudável (que nos referimos nos capítulos seis e sete) mostra-se bastante vinculada às três funções principais da nutrição no organismo.

Sobre estes aspectos, realizamos um paralelo com a Física dos sistemas termodinâmicos.

De acordo com a argumentação física apresentada no quarto capítulo, o corpo humano pode ser associado um modelo de sistema termodinâmico aberto, fora do equilíbrio, e que recebe e elimina fluxos constantes de energia e matéria. Este fluxo que perpassa constantemente pelo sistema e é responsável pela manutenção de sua ordem interna, não pode ser qualquer. Há certa especificidade nos fluxos, capaz de tornar possível a ocorrência de transformações de energia no sistema.

Numa visão interdisciplinar, podemos designar de “dieta do sistema” a especificidade destes fluxos. E assim, a energia e matéria adequadas são aquelas que quando transformadas, compensam de modo eficiente a entropia que o sistema produz por estar “funcionando” ou, por estar “vivo”. Para nós, ainda que como hipótese, associamos a interpretação do conceito de entropia de Clausius, quando relacionada à indisponibilidade da energia, à função física da alimentação de nos “distanciar da morte”.

Desta forma, o tema da alimentação, que nos é comum no cotidiano, pode ser complexificado com a inclusão do critério epistemológico. E assim, nos baseando em Garcia (1998), a temática da alimentação saudável fundamentada nos três critérios expostos pode propiciar a substituição de formas pensamento cotidiano simples por outras complexas, o que é visto pelo autor como o enriquecimento do conhecimento cotidiano. Assim, a introdução de elementos do conhecimento de nutrição e de física transforma o conhecimento cotidiano, que aqui identificamos como associados aos aspectos sócio-culturais da alimentação. E então, a modificação na maneira dos sujeitos interpretarem o mundo se traduz num enriquecimento do conhecimento por meio de sua complexificação.

Estes três critérios que descrevemos nos remetem a noção de perfil conceitual apresentada no segundo capítulo. Embora não tivemos tempo para nos aprofundarmos no assunto, este trabalho sinalizou a possibilidade de mapeamento das dimensões do perfil conceitual de alimento.

De acordo com Mortimer (2000), Rodrigues e Mattos (2006, 2007), uma vez que o sujeito não abandona suas idéias prévias sobre um determinado conceito (no caso, o alimento), diversas visões sobre ele podem coabitar no mesmo indivíduo. Assim, os critérios axiológico e ontológico estão relacionados com as idéias prévias do sujeito, uma vez que são aprendidos

culturalmente. Já o critério epistemológico, aprendido geralmente nas escolas, é considerado um novo aspecto do mesmo conceito, o que incorpora uma nova dimensão ao perfil.

Por fim, futuramente, junto ao curso de formação de professores, pensamos em elaborar um material de subsídio a formação dos docentes para que possam trabalhar com o tema da alimentação saudável em suas aulas de Física. Para isso, vamos utilizar como referência o aporte de Gavidia & Rodes (1998), que descreve alternativas para a introdução de temas de saúde nas escolas.

Concordamos ser o segundo nível de integração o mais adequado para nosso caso, uma vez que as escolas em nossas comunidades costumam ter currículos bastante tradicionais. E assim, esta abordagem poderia ser introduzida como uma aplicação ou complementos de temas disciplinares, como por exemplo, o conteúdo de termodinâmica, geralmente pertencente às turmas de segundo ano do Ensino Médio.

APÊNDICE

Necessidade energética basal

Vamos mostrar aqui a fórmula de Harris & Benedict, de 1919, que leva em consideração a área da superfície corpórea, o sexo e a idade.

Trata-se da taxa de metabolismo basal (TMB) também referida como EBD, energia basal dispendida.

Assim, a EBD para uma mulher é:

$$EDB = 655,096 + 9,563 \cdot (P) + 1,85 (A) - 4,676 (I)$$

Para um homem:

$$EDB = 66,473 + 13,752 \cdot (P) + 5,003 (A) - 6,755 (I)$$

Onde: P = peso, refere-se à massa do sujeito em quilogramas.

A = altura da pessoa em centímetros.

I = idade em anos.

Além das necessidades basais, de acordo com Williams (2002), uma pessoa inativa ou sedentária necessita mais ou menos 30% a mais de calorias adicionais sobre a basal. Já uma pouco ativa, em geral, necessita de 50 % de calorias a mais sobre a basal, e uma muito ativa precisa de 100% acima da basal.

Este cálculo pode ser encontrado em detalhes em WILLIAMS (2002).

Bibliografia

AGÊNCIA FAPESP. **Contradições alimentares. Divulgando a cultura científica.** http://www.agenciafapesp.br/boletim_dentro.php?id=6637 acesso em maio de 2006.

ALAÚDE Editora. **Nutrição: alimentação equilibrada e organismo saudável.** Barcelona, 2005.

ALBUQUERQUE, I. F. M. **Entropia e organização da energia: cálculo termodinâmico de Planck.** Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1988

AMABIS, J.M.; MARTHO, G.R. **Conceitos de Biologia.** Vol. 2, São Paulo, Ed. Moderna, 2001.

ANGELIS, R.C **Fome Oculta. Impacto para a População do Brasil.** São Paulo. Ed. Atheneu, 1999.

ANGELIS, R. C. **A importância de alimentos vegetais na proteção da saúde.** Ed. Atheneu, 2001.

AURANI, K. M. **Ensino de conceitos: estudo das origens da segunda lei da termodinâmica e do conceito de entropia a partir do século XVIII.** Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1985.

BAIRD, J. R. FENSHAM, P. J. WHITE, R. T. **The importance of reflexion in improving science teaching and learning.** Journal of Research in Science Teaching. N. 28, vol. 2, p. 163-182, 1991.

BARBOSA, R. M. S. SALLES-COSTA, R. SOARES, E. A. **Guias Alimentares para Crianças: aspectos históricos e evolução.** Ver. Nutr. V.19. n.2, Campinas, mar/abr. 2006.

KRAUSE, M. V. **Alimentos, Nutrição e Dietoterapia,** 8ª Edição, São Paulo, Ed. Roca Ltda. 1995.

BENCHMARK PAPERS OF ENERGY, **The second law of thermodynamics,** Hutchinson & Ross, 1976.

BERNAL, J. D. **Ciência na História,** 1965, vol. I, vol. IV, Livros Horizonte, Lisboa, 1975.

BERTI, V.P. **Interdisciplinaridade: um conceito polissêmico na visão teórica, oficial e de professores.** Dissertação de mestrado apresentada no Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 2007.

BIOAVAILABILITY 2001: **Bioavailability of Micronutrients in Relation to Human Health**. Proceedings of the 4th International Bioavailability Symposium. Interlaken, Switzerland, May 30-June 1, 2001.

BLEIL, S.I. **O padrão alimentar ocidental: considerações sobre as mudanças de hábitos no Brasil**. Caderno de Debate, v.6, p.1-25, 1998.

BONJORNO, J.R., BONJORNO, R.A. & RAMOS, C. **Física fundamental**. São Paulo: FTD. 1999.

BOOG, M.C.F, VIEIRA, C. M. OLIVEIRA, N.L. FONSECA, O. L'ABBATE, S. **Utilização de vídeo como estratégia de educação nutricional para adolescentes: “comer...o fruto ou o produto?”** Revista de Nutrição v.16 n.3, Campinas, jul/set de 2003.

BOOG, M.C.F. **Educação Nutricional: passado, presente, futuro**. Revista Nutrição. Puc Campinas. 10(1): 5-19, 1997.

BORGES, E. **Irreversibilidade, Desordem e Incerteza: três visões da generalização do conceito de entropia**. Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 21, n. 4, dezembro, 1999.

BRACHETTA V. **Física aplicada a la Farmácia y Biología**, primeira parte, Córdoba, 1943.

BRAGA, V. **Cultura alimentar. Contribuições da antropologia da alimentação**. Saúde em Revista, Piracicaba 6(13): 37 – 44, 2004.

BRASIL – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO - **Guia Alimentar para a População Brasileira - Promovendo uma Alimentação Saudável**. Ed especial, Brasília – DF, Secretaria de Atenção à Saúde, 2005

BRASIL – MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. **Parâmetros Curriculares Nacionais - Ensino Médio**. Brasília: SEMTEC/MEC, 1999.

BRASIL, **SAÚDE**, livro 092, <http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/livro092.dpf>
Acesso em julho de 2006.

BUSELMAIER, W. **Biologia Médica**, Edusp, São Paulo, 1978.

CALLEN, H. B. **Thermodynamics and an introduction to thermostatics**, second edition, Canadá, 1985.

CAMERON, J. R. & SKOFRONICK, J. G. **Medical Physics**. NY: John Wiley & Sons, 1978.

CANGUILHEM, G. **Ideologia e Racionalidade nas Ciências da Vida**. Lisboa: Edições 70, 1977.

CARPENTER, K. J. **A Short History of Nutritional Science: Part 1 (1785 – 1885)** J. Nutr. 133: 638 – 645, 2003.

CARPENTER, K. J. **A Short History of Nutritional Science: Part 2 (1885 – 1912)** J. Nutr. 133: 975 – 984, 2003.

CARVALHO, G. C. SOUZA, C. L. **Química - de olho no mundo do trabalho**, Scipione, 2004.

CLEATOR, P.E. **A Era dos Autômatos**, Companhia Editora Nacional, São Paulo, 1955.

COHEN, B. C. **Álbum of Science. From Leonard to Lavoisier, 1450 – 1800**. Charles Ecribner'sons, New York, 1980.

COUNTER, P. & BURRESON, J. **Os Botões de Napoleão**, Rio de Janeiro: Jorge Zahar Editor, 2003.

COZZOLINO, S.M.F. **Biodisponibilidade de Nutrientes**, ed. Manole, 2005.

DALDEGAN, D. R. **Educar para a vida, com a vida. A possibilidade de uma educação holística utilizando a tecnologia contemporânea**. Dissertação de mestrado apresentada a Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

DANIEL J. M. P. CRAVO, V.Z. **Valor social e cultural na alimentação In: Antropologia e nutrição: um diálogo possível**, p. 57, org. Canesqui A. M, Ed. Fiocruz, Rio de janeiro, 2005

DECHOUM, K. OLIVEIRA, P.M.C. **Facilitando a compreensão da segunda lei da termodinâmica**. Revista Brasileira de Ensino de física, vol.25, n.4, dezembro, 2003.

DURÁN, J. E. R. **Biofísica, fundamentos e aplicações**. Printice Hall, São Paulo, 2003.
DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial dos alimentos**. Ed. Universitária Champagnat. Curitiba, 1996.

ECHEVERRÍA, A. R. **Dimensão empírico-teórica no processo de ensino-aprendizagem do conceito de soluções no ensino médio**. Tese de doutoramento apresentada na Universidade Estadual de Campinas UNICAMP, 1993.

FAZENDA, I.C.A. **Interdisciplinaridade, Um projeto em parceria**. Ed. Loyola, São Paulo, 1995.

FERREIRA, S. M. **Relação entre a espessura real e a aparente da gasolina com etanol e da gasolina pura em colunas do laboratório**. Tese de doutoramento apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo, 2003.

FIEDLER-FERRARA, N. PRADO, C. P. C. **Caos, Uma introdução**. Edgar Blucher Ltda, 1994.

FIEDLER-FERRARA, N.; MATTOS, C.R. **An epistemological framework for the selection and organization of school contents**. Submitted to Curriculum Inquiry, 2006.

FIEDLER-FERRARA, N.; MATTOS, C.R. **Seleção e organização de conteúdos escolares: recortes na pandisciplinaridade**. In: Atas do VIII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, São Paulo: SBF, 2002. p. 119.

FIGHERA, R. SOUZA, T. LANGOHR, I. BARROS, C. **Intoxicação experimental por cebolas, *allium cepa* (liliaceaea), em gatos**. Revista de Pesquisa Veterinária Brasileira, n.22, vol.2, p. 79-84, abr/jun, 2002.

FILGUEIRAS, C. A. L. **Lavoisier - O estabelecimento da Química Moderna**. São Paulo, Odysseus Editora Ltda, 2002.

FISBERG, M. **Atualização em Obesidade na infância e adolescência**. São Paulo, Atheneu, 218 p. 2004.

FISCHLER, C. **L' Homnivore, le goût, la cuisine et le corps**. Paris, Odile Jacob 1993.

FLANDRIN J. & MONTANARI, M. **História da Alimentação**, São Paulo, Estação Liberdade, 1996.

FLORKIN, M. **A History of Biochemistry**. Part I, Proto-Biochemistry. Part II, From Proto-Biochemistry to Biochemistry. Elsevier, vol. 30, New York, 1972.

FOX , E.L. & MATHEWS, D.K. **Bases Fisiológicas da Educação Física e dos Desportos**. 3ª ed. Rio de Janeiro, Guanabara, 1986.

FROTA-PESSOA, O. **Caminhos da Vida I - Biologia no Ensino Médio: Estrutura e Ação**. São Paulo, Scipione, 2001.

GAMOW, G. **Biografia da Física**, Zahar editores, Rio de Janeiro, 1963.

GARCIA, R. W. D. **A Antropologia aplicada às diferentes áreas da nutrição In: Antropologia e nutrição: um diálogo possível**, p. 275, org. Canesqui A. M, Ed. Fiocruz, Rio de Janeiro, 2005

GARCIA R. W. D. CANESQUI, A. M. **Uma introdução à reflexão sobre a abordagem sociocultural da alimentação**. In: Antropologia e nutrição: um diálogo possível, p. 9, org. Canesqui A. M, Ed. Fiocruz, Rio de Janeiro, 2005

GARCIA, E. **Hacia una teoria sobre los contenidos escolares**, Díada Ed. S. L. 1998.

GASPAR, A. **Física**. Vol. 2. São Paulo: Ática, 2003

GAVIDIA V. & RODES, M.J. **La escuela saludable, la transversalidad y los centros escolares promotores de salud**. *Bordón*, 50(4), 1998. p. 361-367.

GEERTZ, C. **A interpretação das culturas**. Rio de Janeiro, Zahar, 1978

GOLDFARB, A. M. A. **Da Alquimia à Química**. São Paulo: Nova Stella/Edusp, 1987.

GUYTON, A. C. **Tratado de fisiologia médica**. Ed. Guanabara Koogan, 9ª ed.

MARZZOCO, A. TORRES, B.B. **Bioquímica Básica**, segunda ed., Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1996.

HALLIDAY, D. KRANE, K. RESNICK, R. **Física 2**, quinta edição, LTC editora, 2003.

HARPER, H. RODWELL, W. **Manual de Química Fisiológica**. Ed. Athneu, São Paulo, 5ª ed. 1982.

HELMAN, J. S. GRINSTEIN, B. **Termodinamica fenomenologica y estadística**. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, coleção Galileu, Rio de Janeiro, 1988.

HENRY, J. **A Revolução Científica e as Origens da Ciência Moderna**. Jorge Zahar Editor, Rio de Janeiro, 1997.

HIGA, T. **Conservação da energia: estudos históricos e levantamento conceitual dos alunos**. Dissertação de mestrado apresentada ao Instituto de Física da Universidade de São Paulo, 1988.

HIPÓCRATES. **Antica Medicina: Giuramento del Medico**. Milano: Rusconi, 1998.

HOLMES, F. L. **Elementary analysis and the origins of physiological chemistry**. Isis, v. 54, parte 1, n. 175, 1963. p. 50-81.

HOLWILL M.E. J. SILVESTER N.R., **Introduction of Biological Physics**, Jonh Wiley e Sons, 1973.

HULL, D. **Filosofia das Ciências Biológicas**, Ed. Zahar, Rio de Janeiro, 1975.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, **Pesquisa nacional por amostras de domicílio** – 1996. Síntese de Indicadores. Rio de Janeiro, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, **Pesquisas de orçamentos familiares** – POF, 1995-1996, Rio de Janeiro, 1997.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, IBGE, **Pesquisas de orçamentos familiares** – POF, 2002-2003, Rio de Janeiro, 2004.

IPIRANGA, L. IN: Leme, M.J.P. & Perin, M.L.F. **1, 2,... Feijão com Arroz: Educação Alimentar**, vol.1. Brasília. D. F. FAE/MEC, 1995.

JACOB, F. (1971) **Lógica da vida**. Ed. GRAAL, Lisboa, 1983.

JAPIASSU, H. **Revolução científica moderna: de Galileu à Newton**. Ed. Letras e letras. São Paulo, 1991.

KAWAMURA, M. R. **Física do corpo humano**, Notas de aula, IFUSP, 2002.

KAWAMURA, M. R. **Física do meio ambiente**, notas de aula, IFUSP, 2008.

LEÃO, M.A.C. **Princípios de biofísica**. Ed. Universitária, Recife, 1980.

LEHNINGER, A. L, NELSON, D. L. COX, M. M. **Princípios de Bioquímica**, 4ª edição, Ed. Sarvier, 2006.

LOSANO, M.G. **História de Autômatos. Da Grécia Clássica à Belle Époque**. Companhia das letras, 1990.

MAAR, J. H. **Pequena História da Química**. 1ª Parte – Dos Primórdios a Lavoisier. Ed. Papa Livro, Florianópolis, 1999.

MACEDO, I.C. **Capacitação para a educação nutricional dirigida a professores de um curso de educação infantil**. Dissertação de Mestrado apresentada ao Departamento de Nutrição da faculdade de Saúde Pública da Universidade de São Paulo, 2003.

MACIEL, M. E. **Cultura a alimentação ou o que têm a ver os macaquinhos de koshima com Brillat-Savarin?** Horizontes antropológicos, vol.7 n.16, Porto Alegre, 2001

MAGGITTI, P. **The Cat**, Ed. Tiger. London, 1993.

MAGIE, W.F. **Source Book in Physics**, Textos originais de Mayer, Joule, Rumford, Davy, Black. McGraw Hill, N. York, 1935.

MARCHINI, J.S. OLIVEIRA, J.E.D. **Ciências Nutricionais**, ed. Sarvier, 1998.

MARZZOCO, A. TORRES, B.B. **Bioquímica Básica**, segunda ed., Guanabara Koogan, Rio de Janeiro, 1999.

MATTOS, C. R. & DRUMOND, A. V. **Sensação térmica: uma abordagem interdisciplinar**. Cad. Catarinense de Ensino de Física, Santa Catarina, v. 21, n. 1, p. 9 – 36, 2004.

MATTOS, C. R. & HAMBURGER, A.I. **História da Ciência, Interdisciplinaridade, e Ensino de Física: O Problema do Demônio de Maxwell**. Ciência e Educação, v.10, p.477-490, 2004

MATTOS, C. R. **Entrando na era do Ensino da Entropia**. Dissertação de Mestrado apresentada ao IFUSP, 1991.

MATTOS, C. R., GASPAR, A. **El concepto de la impenetrabilidad: de la ciencia producida a la ciencia transmitida. Enseñaza de las ciencias**. N. extra, pp.189-190, 2001.

MATTOS, C. R. GASPAR, A. **A origem das propriedades gerais da matéria e a crença dos professores na validade e importância desse conteúdo: uma reflexão do papel do livro didático no ensino de ciências**. In: VIII Encontro de Pesquisadores em Ensino de Física, 2002, São Paulo: SBF, 2002.

MAZZOTA, Marcos J. S. **Educação Escolar: comum ou especial?** São Paulo: Pioneira, 1986.

MCARDLE, W. D. KATCH, F. I. & KATCH, V. I. **Fisiologia do Exercício: Energia, Nutrição e Desempenho Humano**. Rio de Janeiro. Guanabara Koogan, 1998.

McKUSICK, V. A. **Genética Humana**, Ed. da Universidade de São Paulo, Ed. Polígono, São Paulo, 1971.

MEDAWAR, P. B. MEDAWAR, J.S. **A ciência da vida. Idéias e conceitos atuais em Biologia**. Zahar editores, Rio de Janeiro, 1978.

MINDELL E. **Guia de vitaminas**. São Paulo: Ed. Abril, 1986.

MOHR, A. **A saúde na escola, análise dos livros didáticos de 1ª a 4ª séries**. Cadernos de Pesquisa. S.P. n.94. p.50-57, 1995.

MONTEIRO C.A.; MONDINI, L.; SOUZA, A.L.M. POPKIN, B.M. **The nutrition transition in Brazil**. Eur. J. Clin, Nutr., v.49, n.2, p. 105-113, 1995.

MORTIMER, E. F. **Conceptual change or conceptual profile change? Science and education**, vol. 4, p. 267-285, 1995.

MORTIMER, E. F. **Linguagem e Formação de conceitos no ensino de ciências**.Ed. UFMG, 2000.

MORTIMER, E. F. MACHADO, A. H. **Química para o ensino médio**, Scipione, vol. Único, 2003.

MURPHY, P. M. O'NEILL, L. A. J. **O que é vida, 50 anos depois. Especulações sobre o futuro da biologia**. Editora Unesp, São Paulo, 1997.

NUSSENZVEIG, H. M. **Curso de Física Básica, vol. 2**, Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo, 2000.

OCHSENHOFER, K. QUINTELLA, L.C.M. SILVA, E. C.; NASCIMENTO, A.P.B. RUGA, G.M.N.; PHILIPI, S.T.; SZARFARC, S. C. **O papel da escola na formação da escolha alimentar: merenda escolar ou cantina?** Nutrire: ver. Soc. Bras. Alim. Nutr.; J. Brazilian Soc. Food Nut., São Paulo, SP, v.31, n.1, p.1-16, abr. 2006.

OKUNO E. CALDAS, I. CHOW, C. **Física para ciências biológicas**, Ed. Harbra, São Paulo, 1982.

ORTIGOZA, S. A. G. **O fast food e a mundialização do gosto**. Revista Cadernos de Debate páginas 21-45, Vol. V / 1997 Campinas, São Paulo.

PHYLLIS, D. **Revolução Industrial**, 2ª edição, Zahar ed. Rio de Janeiro, 1973.

PRICE, D. S. **O Homem e a Ciência. A Ciência desde a Babilônia**. Ed. Itatiaia. São Paulo, 1976.

PRIGOGINE, I. & STENGER, **Sistema**, Enciclopédia Einaudi, vol.26, Casa da Moeda, Lisboa, 1997.

PRIGOGINE, I. & KONDEPUDI, D. **Termodinâmica – Dos Motores Térmicos às Estruturas Dissipativas**. Instituto Piaget, 1999.

PRIGOGINE, I. & STENGER, I. **A Nova Aliança**. Brasília: UNB. p.247, 1984.

QUANDT, S.A. **Influências sociais e culturais sobre o consumo de alimentos e o estado nutricional**. In: Tratado de nutrição moderna, na saúde e na doença. 9ª ed. Ed. Manole, vol. 2, 2003.

RAMALHO JR. F. FERRARO, N. SOARES, P. **Os Fundamentos da Física 2**. Ensino Médio. Ed. Moderna, 2003.

RAMALHO R. A. SAUNDERS C. **O papel da educação nutricional no combate às carências nutricionais**. Revista de Nutrição, 13 (1): 11-16, jan/abril, 2000.

REGO, R.A. BERARDO, F. RODRIGUES, S.R. OLIVEIRA, Z.M.VASCONCELLOS, C. AVENTURATO, L. RAMOS, L.R. **Fatores de risco para doenças crônicas não transmissíveis: inquérito domiciliar no município de São Paulo, SP (Brasil). Metodologia e resultados preliminares**. Ver. Saúde Públ. S.Paulo, 24(4): 277-85,1990.

REIS, M. **Completamente Química - Química Orgânica, Ciências, Tecnologia e Sociedade**, FTD, vol.único, 2003.

RÉMÉSY, C. **As boas calorías**. Instituto Piaget, Portugal, 1996.

RODRIGUES, A. M. MATTOS, C. R. **A noção de contexto no ensino de ciências**. In: XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales, 2006, Zaragoza. Actas del XXII Encuentros de Didáctica de las Ciencias Experimentales. Zaragoza : Universidad de Zaragoza,. p. 1-8, 2006

ROMANELLI, G. **O significado da alimentação na família: uma visão antropológica**. Revista de Medicina, 39 (3) 333-339 jul/set. Ribeirão Preto, 2006.

ROSSI, P. **O Nascimento da Ciência Moderna na Europa**. Ed. Edusc, São Paulo, 2001.

SAHLINS, M. D. **Cultura e razão práticas**. Ed. J. Zahar, São Paulo, 1979.

SANTOS, K. M. O. **O desenvolvimento histórico da ciência da nutrição em relação ao de outras ciências**. Dissertação de mestrado apresentada à Universidade Estadual de campinas, 1989.

SCHRÖDINGER, E. (1944) **O que é vida?** Lisboa: Fragmentos, 1989.

SICHERI, R. COITINHO, D. MONTEIRO, J. COUTINHO, W. **Recomendações de Alimentação e Nutrição Saudável para a População Brasileira**. Arq. Bras. Endocrinol. Metab. Vol 44, nº3, junho 2000.

SILVA, E. O. **Restrição e extensão do conhecimento nas disciplinas científicas do Ensino Médio: Nuances de uma “epistemologia de fronteiras”**. Investigações em Ensino de Ciências. Porto Alegre, n.1, vol. 4, março de 1999.

SILVA, M.V. **Consumo de alimentos, programas de suplementação e estado nutricional de escolares**. In: Curso de atualização em alimentação e nutrição para professores da rede pública de ensino, Fapesp, maio, 2000.

SODRÉ, F. C. R. MATTOS, C. R. **Abordagens e concepções sobre a alimentação do ponto de vista da física**. In: VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências, 2007, Florianópolis. Anais do VI Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Belo Horizonte : ABRAPEC, p. 1-12, 2007

SOTTOVIA, C. B. **Metabolismo energético, Mitos e verdades**. Ed. Phorte Ltda. São Paulo, 2007.

TERRIS, M. As relações dinâmicas da epidemiologia e a sociedade: a conferência de Robert Cruikshank. Cad. Saúde Coletiva, 13 (2), p. 545–466. 2005

TIPLER, P. A. **Física. Mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica**, vol. 1, 4ª ed. Ed. LTC, 2000.

USDA, **The Food Guide Pyramid**, 1992.

<http://www.cnpp.usda.gov/Publications/MyPyramid/OriginalFoodGuidePyramids/FGP/FGPPamphlet.pdf>>, acesso em 01/04/2007.

THOULON-PAGE, C. **Nutrientes, alimentos y tecnologías alimentarias**. 2ª edición, Masson, S. A. Barcelona, 1996.

UZUNIAN, A. & BIRNER, E. **Biologia**. São Paulo: Harbra, 2001

VERDÚ, J. M. MARÍN, E. C. **Nutrición para educadores**. Ediciones Diaz de Santos, S. A. Madrid, 1995.

VOLKENSHTEIN, M. V. **Biofísica**, Ed. Mir, Moscú. URSS, 1985.

WAGENSBERG, J. LURIÉ, D. **Termodinámica de la evolución biológica. Investigación y Ciencia**, n.30, março, Barcelona, Espanha, 1979.

WAHRLICH, V. ANGELS, L. A. **Medição e estimativa da taxa metabólica basal**. Cad. de Saúde Pública, Rio de Janeiro, 17(4) p.801-817, jul-ago 2001.

WHITE, O. M. **Considerações Gerais sobre o ato de compra por parte do pré-adolescente**. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade da Universidade de São Paulo, 1997.

WILLIAMS, M. H. **Nutrição para a saúde, condicionamento físico e desempenho esportivo**. Ed. Manole, 2002.

WOLINSKY, I. HICKSON, **Nutrição no exercício e no esporte**. 2ª edição, Editora Roca Ltda. São Paulo, 1996

WYLEN, G.J. SONNTAG, R. E. **Fundamentos da Termodinâmica clássica**. Ed. Edgard Blucher Ltda, São Paulo, 1973.

ZABALA, A. **Os enfoques didáticos**. In: COLL, C. O construtivismo em sala de aula. São Paulo: Ática, 1998.

ZABALA, A. **Enfoque globalizador e pensamento complexo. Uma proposta para o currículo escolar**, São Paulo: Ática, 2002.