



MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – MNPEF

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA – SBF

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB

INSTITUTO DE FÍSICA – IF/UNB

A TERMODINÂMICA E A OBESIDADE: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SIGNIFICATIVA

Renato Weber Bastos Lourenço

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília – UnB no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadora:

Dra. Adriana Pereira Ibaldo

Brasília – DF

Março - 2023

A TERMODINÂMICA E A OBESIDADE: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SIGNIFICATIVA

Renato Weber Bastos Lourenço

Orientadora:

Dra. Adriana Pereira Ibaldo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília – UnB, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

Dra. Adriana Pereira Ibaldo (orientadora)
Doutora em Física
Universidade de Brasília (UnB)

Dr. José Roberto dos Santos Politi
Doutor em Físico-química
Universidade de Brasília (UnB)

Dr. Ademir Eugênio de Santana
Doutor em Física
Universidade de Brasília (UnB)

Brasília - DF

Março - 2023

FICHA CATALOGRÁFICA

AGRADECIMENTOS:

À Jeová, meu Deus, pelo dom da vida e por tudo que nela faz sentido;

Aos meus pais, José e Maria, por terem me educado com todo esforço, carinho e dedicação.

À minha linda esposa, Raquel, que generosamente me apoiou em todas as fases da minha labuta; que me inspirou a escrever sobre o que ela mais gosta; por não me deixar desistir e por me ajudar a tornar possível a realização desse sonho, com conselhos e sugestões que robusteceram o meu trabalho.

À minha amada filha, Rebeka, por me inspirar e dar motivos para amar e crescer.

Ao meu amado irmão, Michel, pelas orientações, sugestões, correções e inspiração.

À minha irmã, Renata, pelas orações e pelas palavras de incentivo.

À minha amada sobrinha, Maitê, pelos lindos sorrisos e abraços.

À minha orientadora, professora Dra. Adriana Ibaldo, pela paciência, dedicação, profissionalismo e comprometimento ao longo de todo o processo de elaboração do produto e dissertação.

Aos meus colegas de curso, pelo companheirismo.

À Sociedade Brasileira de Física e à Universidade de Brasília –UnB, por manterem esse maravilhoso programa de mestrado.

Aos meus professores, pelo exemplo e dedicação.

Aos meus zelosos alunos, por darem sentido às minhas manhãs de quartas e quintas-feiras.

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

-Albert Einstein

RESUMO

A TERMODINÂMICA E A OBESIDADE: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA DIDÁTICA SIGNIFICATIVA

Renato Weber Bastos Lourenço

Orientadora:

Dra. Adriana Ibaldo

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação da Universidade de Brasília – UnB, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Neste trabalho, apresentamos o resultado da aplicação de uma sequência didática para o ensino de Termodinâmica no ensino médio com ênfase ao enfrentamento da obesidade juvenil, usando com fundamento educacional a teoria da aprendizagem de David Ausubel, consubstanciada na teoria libertadora de Paulo Freire. Neste respeito, foi confeccionado o livro paradidático “A termodinâmica e o marombeiro”, de autoria própria, para nortear os assuntos abordados, que dentre outras premissas trabalha o déficit calórico, o gasto energético total, a educação alimentar e a prática de atividades física como pilares para o emagrecimento. O produto educacional foi aplicado em uma turma da terceira série do ensino médio regular, em uma escola particular no município de Luziânia-GO.

Palavras-chave: Ensino de Física. Aprendizagem Significativa. Teoria da Libertação de Paulo Freire. Termodinâmica. Termodinâmica do corpo humano. A entropia do corpo humano. Obesidade. Obesidade Juvenil.

Brasília - DF

Março – 2023

ABSTRACT

THERMODYNAMICS AND OBESITY: A PROPOSAL FOR A MEANINGFUL TEACHING SEQUENCE

Renato Weber Bastos Lourenço

Orientadora:

Professora Dra. Adriana Ibaldo

Master's dissertation submitted to the Graduate Program of the University of Brasília – UnB, in the Professional Master's Course in Physics Teaching (MNPEF), as part of the requirements for obtaining the Master's degree in Physics Teaching

In this work, we present the result of the application of a didactic sequence for teaching Thermodynamics in high school with an emphasis on tackling juvenile obesity, using David Ausubel's learning theory as an educational foundation, embodied in Paulo Freire's liberating theory. In this respect, the paradidactic book "A termodinâmica e o marombeiro" was made, of its own authorship, to guide the subjects addressed, which, among other premises, works on the caloric deficit, the total energy expenditure, food education and the practice of physical activities such as pillars for weight loss. The educational product was applied in a third grade class of regular high school, in a private school in the city of Luziânia-GO.

Keywords: Physics Teaching. Meaningful Learning. Paulo Freire's Theory of Liberation. Thermodynamics. Thermodynamics of the human body. The entropy of the human body. Obesity. Juvenile Obesity.

Brasília - DF

Março – 2023

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 EQUILÍBRIO TÉRMICO. FONTE: BRASIL ESCOLA. ACESSO EM 13/01/2023.	29
FIGURA 2- LEI ZERO DA TERMODINÂMICA (AS PAREDES ADIABÁTICAS SÃO REPRESENTADAS POR TRAÇOS OBLÍQUOS E AS DIATÉRMICAS POR LINHAS GROSSAS). FONTE: ZEMANSKY (1978).....	30
FIGURA 3 TRABALHO DE UMA FORÇA NUM DESLOCAMENTO INFINITESIMAL. FONTE: ZEMBASCKI (2008).....	34
FIGURA 4-O TRABALHO REALIZADO É CALCULADO PELA ÁREA EMBAIXO DA CURVA. FONTE: SEARS ET AT (2008).....	35
FIGURA 5- O TRABALHO REALIZADO PELO SISTEMA DURANTE UMA TRANSIÇÃO ENTRE DOIS ESTADOS DEPENDE DO CAMINHO. FONTE SEARS ET AT (2008).....	36
FIGURA 6- ESTOURO EM UMA GARRAFA DE CHAMPANHE. FONTE SEARS E ZEMANSKY (2008).....	40
FIGURA 7 MOVIMENTO ORDENADO DO CORPO SE CONVERTE EM MOVIMENTO ALEATÓRIO DAS MOLÉCULAS.....	45
FIGURA 8- EQUIVALÊNCIA ENTRE OS ENUNCIADOS.	47
FIGURA 9- EXEMPLOS DE PROCESSOS IRREVERSÍVEIS E REVERSÍVEIS. FONTE: SEARS E ZEMANSKY (2008).....	49
FIGURA 10- DIAGRAMA DE UMA MÁQUINA TÉRMICA. FONTE: SEARS E ZEMASNKY (2008)54	
FIGURA 11- CICLO DE CARNOT PARA UM GÁS IDEAL. NO DIAGRAMA PV, AS LINHAS FINAS SÃO ISOTERMAS E AS GROSSAS SÃO CURVAS ADIABÁTICAS. FONTE: SEARS E ZEMANSKY (2008).....	56
FIGURA 12 - A MOEDA DE ENERGIA ATP. FONTE VIEIRA (2003).....	60
FIGURA 13-A MOLÉCULA DE ACETIL-COA É INICIADORA DO CICLO DE KREBS. FONTE: VIEIRA (2003).....	61
FIGURA 14 CICLO DE KREBS. FONTE: VIEIRA (2003).....	62
FIGURA 15 - GLICOGÊNESE. FONTE VIERA (2003).....	67
FIGURA 16 PARTICIPAÇÃO DOS ALUNOS DURANTE AS CONVERSAS MEDIADAS.	78
FIGURA 17- REGISTRO DO PRIMEIRO ENCONTRO, NO FORMATO "MESA-REDONDA".	79
FIGURA 18- ATIVIDADE DIAGNÓSTICA.....	80
FIGURA 19- ESCORE DA ATIVIDADE DIAGNÓSTICA.....	80
FIGURA 20- CÁLCULO ANTROPOMÉTRICO (À ESQUERDA) E BIOIMPEDÂNCIA (À DIREITA)82	
FIGURA 21- 1ª ENQUETE SOBRE A ABRANGÊNCIA DA TERMODINÂMICA.....	83
FIGURA 22- 2ª ENQUETE SOBRE A ABRANGÊNCIA DA TERMODINÂMICA.....	84
FIGURA 23- ATIVIDADE AVALIATIVA.....	85

FIGURA 24- ESCORE DA ATIVIDADE AVALIATIVA.....	85
FIGURA 25- RESPOSTA DE ALGUNS ALUNOS À QUESTÃO 6 DA ATIVIDADE AVALIATIVA. .	86
FIGURA 26- PERCEPÇÃO DE ALGUNS ALUNOS COM RELAÇÃO AO LIVRO "A TERMODINÂMICA E O MAROMBEIRO".	88

Lista de siglas e abreviaturas

ATP: Adenosina Trifosfato

BNCC: Base Nacional Comum Curricular.

IF: Instituto de Física.

IMC: Índice de massa corporal

GET: Gasto energético total

MNPEF: Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

OMS: Organização Mundial da Saúde.

PCN: Parâmetros Curriculares Nacionais.

PCNEM: Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio.

PE: Produto Educacional.

SI: Sistema Internacional de unidades.

UnB: Universidade de Brasília.

Sumário

LISTA DE FIGURAS	8
Lista de siglas e abreviaturas.....	10
1. INTRODUÇÃO	13
2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO ENSINO.....	17
2.1. A Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel	17
2.1.1. A estrutura cognitiva de Ausubel.	19
2.1.2. Os subsunçoes.....	20
2.1.3. O Organizadores prévios ou avançados.....	21
2.1.4. Material potencialmente significativo	22
2.1.5. O “querer aprender”	22
2.2. A teoria de aprendizagem de Paulo Freire	23
3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE FÍSICA	27
3.1. TERMODINÂMICA	27
3.1.1. Temperatura e Lei Zero da termodinâmica.....	28
3.1.2. Calor	31
3.1.2 Trabalho em uma transformação gasosa	33
3.1.3 Caminhos entre estados termodinâmicos.....	35
3.1.4. Energia Interna	37
3.1.5. A Primeira Lei da Termodinâmica.....	38
3.1.6. Casos particulares da Primeira Lei da Termodinâmica	39
3.1.7. Calores específicos molares.....	42
3.1.8. A segunda lei da Termodinâmica	44
3.1.9. Máquinas térmicas.....	54
4. O METABOLISMO DO CORPO HUMANO.....	59
5. PODER CALÓRICO DOS ALIMENTOS	64
6. REVISÃO DA LITERATURA	68
7. METODOLOGIA	72

7.1.	ELABORAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	72
7.2.	APLICAÇÃO DO PRODUTO EDUCACIONAL	73
7.2.1	Primeiro e Segundo Encontro	73
7.2.2	Terceiro Encontro	74
7.2.3	Quarto e Quinto Encontro	75
7.2.4-	Sexto Encontro	76
7.2.5-	Sétimo e Oitavo Encontro	76
7.2.6-	Nono Encontro	77
8.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	78
9.	CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	90
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	92
	Apêndice A – Atividade diagnóstica	94
	Apêndice B- atividade diagnóstica	97
	Apêndice C – Produto educacional	100

1. INTRODUÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica a obesidade como um dos maiores e mais graves problemas de saúde do mundo. Segundo o Atlas da Obesidade no Mundo¹, em 2025, mais de 2,3 bilhões de pessoas adultas ao redor do mundo estarão em sobrepeso, ou seja, com o índice de massa corporal (IMC) igual ou maior que 25, e mais de 700 milhões de pessoas alcançarão a obesidade (IMC>30).

No Brasil, estima-se que nos últimos 13 anos a obesidade aumentou 72%, saindo de 11,8% dos adultos em 2006 para 20,3% em 2019². O mais grave, nesse cenário pandêmico, é que a obesidade, pela primeira vez, tem crescido entre crianças e adolescentes. O índice de obesidade entre crianças de 5 a 9 anos já é de 12,9% (em 2019) e de 7% em adolescentes, entre 12 e 17 anos³. A OMS prevê que se nada for feito, 15,7% dos adolescentes e 22,8 das crianças de 5 a 9 anos estarão obesos em 2030.

Com efeito, os dados acima são preocupantes especialmente porque a obesidade na infância e adolescência estão intrinsecamente ligadas à persistência da obesidade na idade adulta (COLE, FLEGA E DIETZ, 2002), o que, segundo VILLAR, 2021, imbrica em uma série de consequências metabólicas que são responsáveis por diversos desfechos negativos como hipertensão, apneia do sono, síndrome do ovário policístico, diabetes, esteatose, dislipidemia, dentre outros.

Nesse diapasão, atacar o problema da obesidade desde a tenra infância é primordial para o efetivo combate a esta doença⁴, e o ambiente escolar pode ser um

¹ World Obesity Federation. Atlas of Childhood Obesity. Outubro/2019.

² Abeso. Mapa da Obesidade. Disponível em: < <https://abeso.org.br/obesidade-e-sindrome-metabolica/mapa-da-obesidade/>>. Acesso em 13/12/2022.

³ Dados do Ministério da Saúde. Atlas da Obesidade Infantil no Brasil. 2019

⁴ Center for Disease Control and Preventio (CDC). Causes of Obesity. Disponível em : < <https://www.cdc.gov/obesity/basics/causes.html#:~:text=Obesity%20is%20a%20complex%20disease,activity%20levels%2C%20and%20sleep%20routines.>>. Acesso em 13/12/2022.

verdadeiro aliado para o êxito das futuras políticas públicas para o enfrentamento da obesidade.

Nesta esteira, a inserção no currículo escolar de informações relacionadas ao metabolismo humano e ao emagrecimento podem ser muito eficazes, especialmente porque, segundo MONTEIRO (1995), a informação é a principal ferramenta de combate à doença. Apesar da obesidade estar distribuída em todas as regiões do país e nos diferentes extratos socioeconômicos da população, é proporcionalmente mais elevada entre famílias de baixa renda, o que repisa o fato de a informação ser um dos elementos mais importantes no que pertine ao efetivo combate à obesidade juvenil, uma vez que a escolha de alimentos de baixa qualidade, ultraprocessados, por vezes mais atraentes e muito mais baratos do que os alimentos de boa/ótima qualidade nutricional, promovem um sobrelevado desequilíbrio energético no indivíduo, ensejando o aumento da massa corporal e do percentual de gordura do indivíduo.

O peso e a composição corporal são o resultado do consumo de energético, por meio da alimentação, e do gasto energético, por meio das atividades desenvolvidas por um indivíduo. Com efeito, este balanço energético pode ser devidamente endereçado nas aulas de termodinâmica, disciplina que se amolda como uma luva, uma vez que trata da energia e suas transformações, além de apresentar alternativas interessantes para o aumento do gasto energético total (GET) do indivíduo, ora pela realização de trabalho mecânico, ora por meio de mecanismos de transferência de calor por radiação térmica. Nesta linha, atacam-se dois problemas com uma única solução, pois em que pese a termodinâmica ser uma das áreas da física com maior número de aplicações tecnológicas, os discentes ainda se sentem desmotivados, especialmente por não verem aplicações práticas no seu dia-a-dia, quiçá em motores à combustão interna ou em experimentos já ultrapassados.

A propósito, a percepção da utilidade do conhecimento, por parte dos alunos, é um dos grandes desafios no processo de ensino-aprendizagem de física. Segundo David Ausubel (1918-2008), o conteúdo a ser ensinado precisa ser relacionável com algum conhecimento prévio do aluno, para que faça sentido, de maneira que a aprendizagem se torne significativa. Isto fica patente quando o aluno

consegue aplicar o conhecimento novo em situações do cotidiano. Numa linha parecida, Paulo Freire propõe que o processo de ensino deve considerar as experiências/vivências do aluno, promovendo uma prática autônoma (libertadora).

Nesta perspectiva, o presente produto educacional propõe aplicar as leis da termodinâmica para estudar o processo de emagrecimento humano, de forma que a aprendizagem da termodinâmica se torne, ao mesmo tempo significativa e libertadora. Neste toar, o presente trabalho apresenta uma proposta de ensino, usando temas geradores que façam sentido para os alunos. A escolha adequada desses temas geradores ajudam o aluno na tomada de conhecimento e no interesse pelo objeto de estudo.

A produto em comento foi aplicado na terceira série do Ensino Médio, do Colégio Santa Luzia, da cidade goiana de Luziânia, em nove encontros de 50 minutos. Ao longo da aplicação do produto, foram utilizados três momentos pedagógicos distintos:

No primeiro momento lançamos as problematizações, ou seja, propusemos situações-problema relacionadas ao conteúdo a ser estudado. A partir da mediação e do estímulo do professor, os alunos passaram a expor suas opiniões sobre o tema e o professor diagnosticou os seus conhecimentos prévios.

No segundo momento, passamos a mediar os conteúdos relativos às problematizações através de alguns recursos como aula expositiva, leitura do livro “A termodinâmica e o Marombeiro”, realização de simulações virtuais e acessos a vídeos e artigos contidos nos hiperlinks.

No último momento, retomamos as situações-problema iniciais e verificamos o que os alunos conseguiram apreender através da interpretação e resolução dessas problematizações.

A presente dissertação está dividida em nove capítulos. No capítulo 2 são apresentados os fundamentos teóricos do ensino na perspectiva de David Ausubel e Paulo Freire. Nos capítulos de 3 a 5 são endereçados os fundamentos teóricos da Termodinâmica e da Bioquímica relacionadas ao processo de emagrecimento. No capítulo 6 apresentamos uma breve revisão da literatura científica

relacionada, ao passo que o capítulo 7 apresenta a metodologia aplicada na presente pesquisa. No capítulo 8 apresentamos os resultados da aplicação do produto, finalizando o presente trabalho, no capítulo 9, com as considerações finais, oportunidade em que rememoramos tudo o que foi desenvolvido durante a pesquisa.

2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DO ENSINO

O processo de aprendizagem tem se mostrado extremamente complexo. Ao longo do tempo, muitos estudiosos, das mais variadas áreas do saber, tentaram entender o mecanismo de aprendizagem, possibilitando a compreensão, ao menos rotineira deste robusto processo.

No presente capítulo, abordaremos as teorias educacionais que fundamentaram essa dissertação. Serão considerados a teoria da aprendizagem significativa de David Ausubel⁵, e os fundamentos da pedagogia libertadora de Paulo Freire.⁶

2.1. A Teoria da aprendizagem significativa de Ausubel

O processo de aprendizagem parece estar diretamente associado ao conhecimento prévio do aprendiz. Com efeito, nas palavras de Postman e Weingartner (1960, p. 62), se o indivíduo não sabe muito sua capacidade de aprender não será muito grande. Para Moreira (2005), o conhecimento prévio é, isoladamente, a variável que mais influencia a aprendizagem.

Destarte, David Ausubel propõe uma inovadora teoria cognitiva para a aprendizagem – a chamada aprendizagem significativa. Para Ausubel, aprendizagem significativa é a interação cognitiva entre o novo conhecimento e o conhecimento preexistente na estrutura cognitiva do aprendiz (Novak, 1977). Em outras palavras, o processo de aprendizagem só será significativo se a nova informação se ancorar

⁵ David Paul Ausubel, nasceu em Nova York, em 1918. Foi psicólogo da educação estadunidense. Foi professor Emérito da Universidade de Columbia, em Nova York. Médico-psiquiatra de formação, dedicou sua carreira acadêmica à psicologia da educacional.

⁶ Paulo Reglus Neves Freire, brasileiro, nasceu em Recife, em 1921. Formou-se em direito pela UFPE, mas não exerceu a profissão. Autor de inúmeras obras na área da Educação, recebeu mais de 34 títulos Doutor *Honoris Causa* de universidades da Europa e América; e recebeu diversos galardões como o prêmio da UNESCO de Educação para a Paz em 1986.

(fixar/incorporar) no conhecimento prévio que o indivíduo já possui. A esse conhecimento prévio Ausubel denominou de subsunçores, ou conceitos subsunçores.

Desta forma, Ausubel percebe que a informação é altamente organizada no cérebro, formando uma hierarquia conceitual na qual os elementos conceituais mais específicos se ligam/ancoram a elementos conceituais, os subsunçores, de modo que o processo de aprendizagem exige um conceito subsunçor da parte do aprendiz. Deste modo, a aprendizagem poderá ocorrer se o professor conseguir identificar os subsunçores que o aprendiz possui, para, a partir daí, ensinar em consonância com eles. Desta forma, pode-se dizer que a Teoria da Aprendizagem Significativa, proposta por Ausubel, é uma teoria cognitivista que propõe explicar o processo de aprendizagem que ocorre na mente humana. Segundo ela, para que ocorra a aprendizagem significativa, deverá ocorrer uma interação entre o que o estudante já conhece com o que ele irá “ancorar” em sua estrutura cognitiva (MOREIRA, 2012).

Em contraposição à aprendizagem significativa, Ausubel define a aprendizagem mecânica, na qual as novas informações têm pouca ou nenhuma relação com conceitos subsunçores do aprendiz. Neste processo, a informação é memorizada de maneira absolutamente arbitrária, literal e não significativa, de modo que tudo ou quase tudo do que foi armazenado se perderá com o tempo. Este tipo de aprendizagem, surpreendentemente, segundo Moreira (2010, p.5), ainda é muito utilizado nas escolas e tem por objetivo apenas “passar nas avaliações”, sejam eles quais forem. Paulo Freire chamou esse tipo de aprendizagem de educação bancária, porque o professor simplesmente ‘deposita’ o conhecimento na “cabeça” do aluno, sem relação alguma com o conhecimento prévio deste ou mesmo sua realidade.

Diante do já exposto e considerando que a aprendizagem mecânica deve ser preterida em busca de um processo de ensino/aprendizagem significativo, no âmbito da educação formal, Ausubel propõe o uso de organizadores prévios, ou seja, estratégias para organizar os subsunçores em virtude do que se deseja ensinar.

Nesse respeito, é fundamental que a informação a ser aprendida pelo aluno seja relacionável à sua estrutura cognitiva, de maneira não arbitrária e não literal. Ou seja, deve haver os necessários subsunçores para que a nova informação

seja apreendida. Igualmente fundamental é a disposição do aprendiz de querer relacionar (ou incorporar) à sua estrutura cognitiva, de maneira substantiva e não arbitrária, a nova informação. Em outras palavras, o aluno tem que querer aprender, caso contrário, o máximo que se conseguirá, mesmo tendo todos os pressupostos da aprendizagem significativa, é a memorização arbitrária e não literal, de forma que a aprendizagem tenderá a ser essencialmente mecânica. Desta forma, o novo conhecimento tem que ser atraente ao aluno, sob pena de comprometimento do processo ensino-aprendizagem.

De forma elucidativa, o processo de aprendizagem significativa de David Ausubel exige o reconhecimento e a compreensão dos seguintes conceitos:

2.1.1. A estrutura cognitiva de Ausubel.

No campo das acepções Ausubelianas, a estrutura cognitiva pode ser definida como construções hipotéticas que devem explicar tanto a unidade, o fechamento e a homogeneidade individual como as semelhanças e coincidências de determinados modos de comportamento.

As estruturas cognitivas são utilizadas por Ausubel para designar o conhecimento de um determinado tema e sua organização clara e firme, e estão relacionadas com o tipo de conhecimento, sua extensão e seu grau de organização (Ontoria, 2005, p. 17). Nesta esteira, pode-se dizer então que, a estrutura cognitiva prévia, ou seja, os conhecimentos prévios e sua organização hierárquica é a estrutura principal, a viga mestra, que sustenta a aprendizagem e a retenção de novos conhecimentos, formando pilares e alicerces para a edificação do conhecimento sobre um tema específico.

Moreira (2012, p.26) relaciona a clareza, a estabilidade e a organização do conhecimento prévio em um dado corpo de conhecimentos como o fator que mais influencia a aquisição significativa de novos conhecimentos, numa determinada área, em um processo interativo no qual o conhecimento novo ganha novos significados, integra-se e diferencia-se em relação ao preexistente que, ao seu turno, adquire novos significados, fica mais estável, mais rebuscado, e mais capaz de ancorar novos

conhecimentos.

Para Ontoria (2005), a estrutura cognitiva sustentada por Ausubel é o fator que decide a respeito da significação do novo material e de sua aquisição e sua retenção. As ideias novas só poderão ser apreendidas se puderem ser relacionáveis ao conhecimento anterior adquirido. Portanto, o reforço da estrutura cognitiva do aluno facilita a aquisição e a retenção dos conhecimentos novos. Se o novo material entra em forte conflito com a estrutura cognitiva existente ou não se conecta com ela, a informação não pode ser incorporada nem retida. Desta forma, o aprendiz deve refletir ativamente sobre o novo material, pensando nas conexões e semelhanças, e ajustando diferenças ou contradições com a informação existente.

David Ausubel (2003) aduz que a experiência cognitiva, bem assim a aprendizagem, são caracterizadas pelo processo de integração dos conhecimentos, no qual os conceitos novos interagem com os já existentes. Neste sentido, é de estreme importância no processo de aprendizagem que o aprendiz manifeste a disposição para relacionar de forma substantiva a nova informação (conhecimento) à sua estrutura cognitiva, o que enseja numa adequação, por parte do docente, para que a nova informação seja atraente, possibilitando um “querer relacionar” por parte do aluno.

2.1.2. Os subsunçores⁷

Os subsunçores referidos por Ausubel representam os conhecimentos prévios especificamente relevantes para a aprendizagem de outros conhecimentos, são as “âncoras” da nova informação. Nesta vereda, tomando emprestado a definição de José Moreira (2012 a, p. 28), os subsunçores podem ser proposições, modelos mentais, construtos pessoais, concepções, ideias, invariantes operatórios,

⁷ Subsunçores – a palavra “subsunçor” não existe em português; trata-se de uma tentativa de aporuguesar a palavra inglesa “*subsumer*”. Seria mais ou menos equivalente a inseridor, facilitador ou subordinador.

representações sociais e os conceitos preexistentes na estrutura cognitiva do aprendiz.

2.1.3. Organizadores prévios ou avançados

Segundo Moreira (2012), organizador prévio é um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração, generalidade e inclusividade em relação ao material de aprendizagem.

Ausubel (2003) recomenda do uso de organizadores prévios que sirvam de âncora para nova aprendizagem e levem ao desenvolvimento de conceitos que facilitem a aprendizagem subsequente. Organizadores prévios devem funcionar como pontes cognitivas tendo como função precípua, fazer a conexão entre o que o aprendiz sabe com que ele deve saber, com o escopo de se obter aprendizagem. Ilustrando, organizador prévio pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma música, uma leitura introdutória, uma simulação. Pode ser também uma aula que preceda um conjunto de outras aulas.

Pode-se classificar os organizadores prévios em: a) **expositivos**, quando o aluno não tem subsunçores e a informação não é conhecida. Nesse caso, o organizador deve prover uma ancoragem ideacional em termos que são familiares ao aprendiz; b) quando o novo material é relativamente familiar, o recomendado é o uso de um organizador **comparativo** que ajudará o aprendiz a integrar novos conhecimentos à estrutura cognitiva e, ao mesmo tempo, a discriminá-los de outros conhecimentos já existentes nessa estrutura que são essencialmente diferentes, mas que podem ser confundidos.

Nas palavras de Ausubel, *litteris*:

“[...] a principal função do organizador está em preencher o hiato entre aquilo que o aprendiz já conhece e o que precisa conhecer antes de poder aprender significativamente a tarefa que se defronta.” (Ausubel; Novak; Hansenian, 1980, p.144)

2.1.4. Material potencialmente significativo

O livro-texto, bem assim quaisquer materiais que tenham por objeto a aprendizagem significativa, precisam se conectar, de modo não arbitrário, não superficial e objetivo, com a estrutura cognitiva do aprendiz. Isto quer dizer que o novo material deve ser “susceptível de dar ocasião à construção de significados” (Coll, 1990, p.195).

De acordo com Ontoria (2005, p. 22), o material potencialmente significativo depende da significatividade lógica, exigindo, para isso, uma estrutura interna organizada, de tal forma que suas partes fundamentais tenham significado em si e relacionem-se entre si de modo não arbitrário. Essa potencial significatividade lógica depende não só da estrutura interna do conteúdo, mas também da maneira como este é apresentado ao aluno. Portanto, o material significativo precisa dialogar, de maneira eficaz e relevante com o conhecimento prévio do aluno

2.1.5. O “querer aprender”

Segundo Ontoria (2005, p.23), além da significatividade lógica, o material ou conteúdo de aprendizagem necessita de uma potencial significatividade psicológica, isto é, que ele possa significar algo para o aluno e o leve a tomar a decisão deliberada de relacioná-la não arbitrariamente com seus próprios conhecimentos. O material tem potencial significatividade psicológica quando pode se conectar com algum conhecimento do aluno, ou seja, com sua estrutura cognitiva. Isso explica a importância das ideias ou conhecimentos prévios do aluno no processo de aprendizagem significativa.

A razão de ser da significatividade lógica e psicológica do material, é a satisfação de outra condição básica para a aprendizagem: a **atitude favorável do aluno para aprender** significativamente, ou seja, a intenção de dar sentido ao que aprende e de relacionar, não arbitrariamente, o novo material de aprendizagem com seus conhecimentos adquiridos previamente e com os significados já construídos.

Sem a intenção do aluno em aprender, de nada adianta ensinar. É por essa razão que o material potencialmente significativo precisa estar adequado aos

reais interesses do aluno. O aluno precisa indentificar no material a utilidade e o benefício da informação apresentada. Por essa razão, é de bom alvitre a não centralização do livro-texto, pois esse procedimento engessa as possibilidade de aplicação daquele conhecimento. O ideal, segundo Moreira (2000), seria o uso rotineiro de artigos científicos, contos, poemas e tantos outros materiais que representam melhor a produção do conhecimento científico, de forma a aplicá-lo objetivamente ao caso concreto.

Além disso, é necessário também o desenvolvimento de um relacionamento professor-aluno de alta qualidade, a fim de afastar eventual dispersão por baixa afinidade.

2.2. A teoria de aprendizagem de Paulo Freire

A teoria pedagógica de Paulo Freire é considerada progressista e se amolda como uma tendência pedagógica libertadora, uma vez que tem por escopo a educação como ferramenta de transformação, permitindo a libertação do indivíduo da opressão intelectual.

Pode-se dizer que a teoria freireana se baseia em dois pilares: a autonomia e a liberdade. A autonomia para dar consciência ao educando de si e do mundo; e liberdade para libertar o aluno, oprimido, daquilo que o oprime. É nesse sentido que Paulo Freire considera a educação como uma ferramenta social de libertação.

Diante das mazelas da sociedade na qual Freire estava inserido, no Recife, ele desenvolveu um método de alfabetização libertador, que ficou conhecido como método Paulo Freire.

Embora Paulo Freire tivesse sido muito elogiado e seu método usado em muitos países da África e das Américas, o que incluiu até mesmo países desenvolvidos, no Brasil ele foi marginalizado. Em parte, porque suas proposições foram entabuladas numa época de opressão social: a ditadura militar. Lado outro, o método de Freire também foi criticado porque defendia a tomada de consciência por

parte dos educandos, a liberdade e a autonomia deles, o que se opunha diretamente aos ideais políticos do Brasil e, quiçá, do mundo.

Nesta esteira, Freire defendeu uma metodologia de alfabetização como meio de dar consciência aos analfabetos oprimidos, razão pela qual ele se pautou principalmente na classe operária. O método freireano de alfabetização foi inovador porque ao invés de utilizar o sistema tradicional de cartilhas para a alfabetização, onde o aluno aprendia letras a partir de sons e letras parecidas, o professor deveria identificar previamente o universo vocabular do aluno para, a partir daí, estabelecer conexões pertinentes, de forma que as letras e os sons a serem apreendidos fizessem parte do dia a dia do aprendiz.

No método de Paulo Freire, há uma mudança de paradigma no papel do professor no processo de aprendizagem. Enquanto na tendência liberal, o professor é o centro do conhecimento, na tendência progressista de Freire, o conhecimento prévio do aluno passou ter um papel vital no processo de aprendizagem. Essa ideia é chamada de dialogismo, pois exige um diálogo entre o professor e o aluno para que a aprendizagem seja, de fato, efetiva. A ausência desse diálogo professor-aluno poderia imbricar num tipo muito comum de educação: a educação bancária.

Com efeito, ao defender o seu método, Freire faz uma reflexão sobre a educação bancária. A educação bancária é pautada na transmissão do conhecimento, sem qualquer reflexão. O educador simplesmente faz depósitos de conhecimento na mente dos alunos, que apenas acumulam informações e as memorizam, sem reflexão. Tal ação maximiza a opressão, uma vez que tolhe criticidade dos educandos ao passo que satisfaz os interesses dos opressores, fazendo a condição de opressor o sonho do oprimido. Infelizmente, ainda hoje se observa na estrutura educacional vigente os fundamentos da educação bancária.

Paulo Freire faz uma dura crítica à aprendizagem tradicional, *litteris*:

“A memorização mecânica do perfil do objeto não é aprendizado verdadeiro do objeto ou do conteúdo. Neste caso, o aprendiz funciona muito mais como paciente da transferência do objeto ou do conteúdo do que como sujeito crítico, epistemologicamente curioso, que constrói o conhecimento do objeto ou participa de sua construção. É precisamente por causa desta

habilidade de aprender a substantividade do objeto que nos é possível reconstruir um mal aprendizado, em que o aprendiz foi puro paciente da transferência do conhecimento feito pelo educador. (Paulo Freire, 2006)

Além disso, Freire faz uma grande discussão sobre o currículo, por criticar adoção (imposição) de um currículo único e defender a liberdade de cada região do país em criar seu próprio currículo, tendo em vistas as grandes diferenças regionais em um país continental.

Com efeito, a cultura do aluno está diretamente associada à compreensão. Para o aluno, o conteúdo a ser ensinado tem que fazer sentido. Isto quer dizer, a título de exemplo, que não faz muito sentido para um aluno falar nas quatro estações do ano em lugares onde, de fato, só existem duas. Ou, ainda, usar palavras que são desconhecidas numa região, por conta das condições da própria região, como, por exemplo, usar a palavra *pulôver*, em locais como Belém do Pará, onde o clima tipicamente é quente.

Destarte, para Freire, a consciência crítica (criticidade) e a dialogicidade são condições *sine qua non* para a libertação (FREIRE, 1988). Outrossim, o diálogo deve começar na busca do conteúdo programático que deve ser concebido numa ótica do educador com o educando (MOREIRA, 2011).

Para Freire (2005) este é um momento em que se desenvolve uma investigação que define como sendo o universo temático do povo, ou mesmo, os temas geradores (compreendido por Paulo Freire como temática significativa). Nesta lógica, para ele, um ensino que valorize a investigação dialógica, a partir da apreensão dos temas geradores, poderá despertar a tomada de consciência dos estudantes em torno destes temas. Freire (2005) diz que os temas geradores são:

“ temas de caráter universal, contido na unidade epocal mais ampla, que abarca toda uma gama de unidades e subunidades, continentais, regionais, nacionais etc., diversificadas entre si (...)” (ibid., p.109).

Nesta vereda, Paulo Freire defende, para um ensino dialógico, o uso de temas geradores, construídos horizontalmente com os alunos. A escolha dos temas geradores deve estar intrinsecamente ligada à realidade social e regional do aluno, para que faça sentido para este e se torne, de fato, uma prática libertadora.

Na hipótese do ensino de física, numa visão freireana, o professor, juntamente com os alunos, escolhe um tema gerador que norteará determinado conteúdo. Ressalte-se que a escolha dos temas geradores se inicia com a investigação, oportunidade em que se faz um levantamento dos possíveis temas geradores, com base em critérios regionais e culturais, que se relacionem com a realidade do aluno; a seguir, ocorre a tematização, momento em que novos temas geradores relacionáveis podem surgir; e o processo se encerra com a problematização, onde o aluno se conscientiza e aquele conceito se torna um objeto de luta, de liberdade, por parte dos aprendizes.

Para ilustrar, o ensino de energia poderia ser facilitado com temas geradores que sejam objeto de interesse dos alunos. Nesse caso, o professor, juntamente com os alunos, levantaria possível temas geradores, que podem variar de acordo com a cultura e outros fatores. Por exemplo, considere que a região em comento possua uma usina hidrelétrica, um lago para essa finalidade, ou até a escassez de energia. Nesse caso, processo de geração e beneficiamento da energia seriam interessantes para estes alunos. No entanto, esses mesmos temas geradores não fariam sentido para alunos que moram em grandes metrópoles, distantes de fontes geradoras de energia elétrica.

Como se observa, a escolha correta e pertinente escolha dos temas geradores é de fundamental importância no processo de aprendizagem libertadora. Nesse trabalho, os temas geradores propostos fazem muito sentido para os aprendizes, especialmente porque a obesidade é um problema mundial que aflige todas as classes sociais, todas as etnias e precisa ser combatida por todos.

3. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE FÍSICA

3.1. TERMODINÂMICA

Embora a etimologia da palavra termodinâmica (*termo+dinâmica*) esteja relacionada com o movimento de uma certa quantidade imponderável (calor), é de se observar que a termodinâmica, ao estudar sistemas e processos termodinâmicos, apresenta uma analogia interessante com sistemas mecânicos: os sistemas termodinâmicos podem ser estudados a partir de variações de pressão, volume, temperatura, ter a condição de equilíbrio definida, e ainda, encontrar funções que descrevam a energia para estes sistemas de forma análoga à que a energia potencial faz em mecânica (Moore, 1962). A termodinâmica trata das trocas de energia entre sistemas macroscópicos que ocorrem por meio de trabalho ou calor, e que eventualmente podem levar a mudanças de estado e de fase. Por ter sua origem no século XIX, a termodinâmica não faz referência a nenhum modelo microscópico para a matéria, por isto é considerada fenomenológica, ou seja, apoia-se diretamente em resultados experimentais de fenomenologia.

A análise de um fenômeno qualquer na física exige, *a priori*, a separação da região estudada de sua vizinhança. A porção de matéria destacada para o estudo, é denominada *sistema*. Noutra giro, tudo que existe do lado externo ao sistema e que o influencia diretamente é chamado de *vizinhança*. Após a definição do sistema, é necessário descrevê-lo em termos de certas quantidades que serão imprescindíveis para a discussão do seu comportamento e de sua interação com a vizinhança. Nesse sentido, existem dois pontos de vista distintos a serem adotados: o macroscópico e o microscópico.

O ponto de vista macroscópico é aquele que analisa as quantidades que podem ser medidas diretamente em laboratório, como a pressão, o volume e a temperatura. Segundo Zemansky (Zemansky, 1978), a descrição macroscópica de um

sistema envolve a especificação de umas *poucas propriedades fundamentais mensuráveis*.

Por outro lado, existem quantidades que não podem ser diretamente medidas ou percebidas por nossos sentidos. Essas quantidades microscópicas pressupõem a existência de moléculas, de movimento molecular e suas interações.

Para Herbert Callen (1985), a termodinâmica clássica é definida como a teoria que descreve as relações fundamentais entre as grandezas termodinâmicas macroscópicas, como temperatura, energia, entropia e pressão, que caracterizam o comportamento de sistemas grandes o suficiente para serem tratados de maneira contínua, sem a necessidade de se levar em conta as propriedades microscópicas das partículas que os compõem. Desta forma, o escopo da termodinâmica clássica, está limitado ao estudo de sistemas macroscópicos em equilíbrio termodinâmico e de suas transformações reversíveis e irreversíveis. A termodinâmica clássica não considera as propriedades microscópicas das partículas que compõem o sistema, mas sim se concentra nas relações entre as grandezas termodinâmicas macroscópicas que descrevem seu comportamento. Essas quantidades são definidas como coordenadas termodinâmicas. Tais coordenadas servem para determinar a energia interna do sistema.

Desta forma, é função da termodinâmica encontrar as relações gerais entre as coordenadas termodinâmicas, de modo que estas obedeçam às leis fundamentais da termodinâmica, que serão apresentadas a seguir.

3.1.1. Temperatura e Lei Zero da termodinâmica

Quando colocamos em contato diatérmico dois objetos a temperaturas distintas, observamos, simultaneamente e ao longo do tempo, uma diminuição na temperatura do objeto de temperatura mais elevada e um aumento na temperatura do objeto que apresentava temperatura mais baixa. Após um certo período de tempo, o sistema estará numa temperatura intermediária. Por exemplo, utilizando um exemplo corriqueiro do cotidiano, ao misturarmos leite “frio” numa xícara de café “quente”, em

pouco tempo a mistura estará numa temperatura uniforme. Algo parecido acontece quando deixamos sobre uma mesa uma xícara de café a temperatura elevada: depois de um certo tempo, o café, a xícara e o ambiente estarão todos à mesma temperatura.

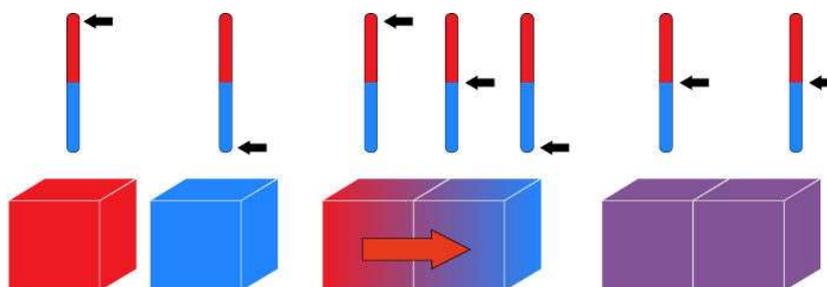


Figura 1 equilíbrio térmico. Fonte: Brasil escola. Acesso em 13/01/2023.

É verdade que os tempos dos eventos acima são bem diferentes, afinal, ao misturarmos café, que está a uma temperatura mais elevada que o leite, dito “frio”, em pouquíssimo tempo a temperatura se estabilizará, ao passo que uma xícara de café pode levar alguns minutos até atingir a temperatura ambiente; no entanto, os exemplos acima reforçam o fato de que existe uma tendência intrínseca na matéria de que energia flua de sistemas com temperatura mais elevadas para aqueles com temperaturas mais baixas.

Macroscopicamente, usando um termômetro, observamos que quando um objeto transfere energia, sua temperatura tende a diminuir, ao passo que quando um sistema recebe energia sua temperatura tende a aumentar, de modo que quando as temperaturas dos objetos em contato ficam iguais, dizemos que o equilíbrio térmico foi alcançado. Esta é a ideia transmitida na lei zero da termodinâmica. Segundo Halliday, Resnick e Walker (2007, p. 184), se dois corpos A e B estão separadamente em equilíbrio térmico com um terceiro corpo C, conseqüentemente A e B estão em equilíbrio térmico entre si.

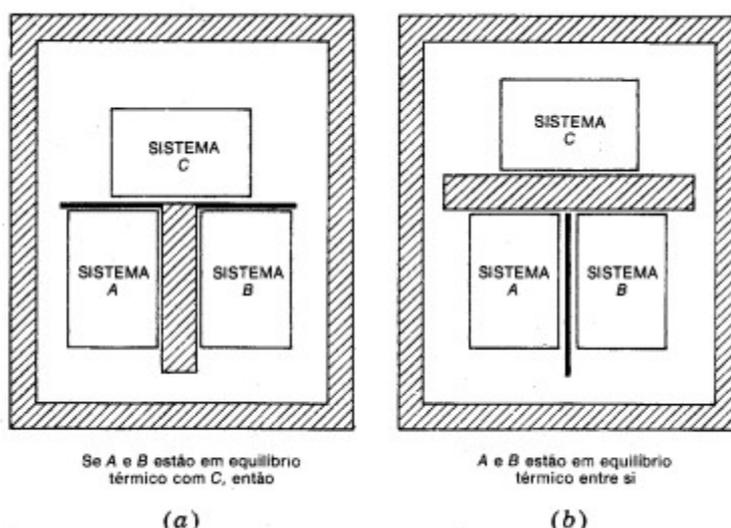


Figura 2- Lei zero da termodinâmica (as paredes adiabáticas são representadas por traços oblíquos e as diatérmicas por linhas grossas). Fonte: Zemansky (1978)

Desta forma, se considerarmos o corpo C como um termômetro, podemos dizer que o equilíbrio térmico ocorre quando dois ou mais objetos alcançam a mesma temperatura. E mais, podemos, macroscopicamente, definir a temperatura como a grandeza que está diretamente relacionada com o equilíbrio térmico. Em outras palavras, em termos operacionais, temperatura é a quantidade que se mede com um termômetro. Por sua vez, entende-se por termômetro, um sistema macroscópico que tem propriedades macroscópicas que variam com a temperatura.

De acordo com Callen (1985), a temperatura é medida em uma escala definida por algum processo físico, como a expansão térmica de um líquido, que é utilizado como um termômetro. A temperatura, portanto, é uma grandeza termodinâmica fundamental que pode ser usada para descrever o comportamento de sistemas termodinâmicos em equilíbrio térmico. Um fenômeno comumente associado à variação de temperatura é a dilatação térmica, de forma que a temperatura pode ser vista como uma propriedade mecânica, sendo definida em termos da dilatação a pressão constante. A dilatação térmica é a mudança nas dimensões de um sistema físico associado à mudança de sua temperatura. Desta forma, a temperatura é a propriedade que permite dizer se dois ou mais sistema estão ou não em equilíbrio

térmico. Quando dois ou mais sistemas estão em equilíbrio térmico, ambos apresentam mesma temperatura.

Em termos microscópicos, o aumento da temperatura é entendido consequência do aumento da energia cinética das partículas, ocasionando um maior afastamento mútuo entre as partículas, o que enseja um novo ponto de equilíbrio em razão da ação de forças intermoleculares que mantêm essas partículas unidas em um corpo. Esse afastamento provoca o aumento do volume do corpo, a chamada expansão térmica. Quando ocorre a diminuição da temperatura de um corpo, conseqüentemente há uma diminuição da agitação das moléculas e, ocorre uma aproximação delas, ocasionando uma diminuição de seu volume, a chamada contração térmica. O fenômeno natural da dilatação térmica nos permite definir a temperatura, em termos microscópicos, como a quantidade que mede o grau de agitação das partículas de um corpo (CARNEVALLE, 2018a, p. 207; VILLAS BÔAS; DOCA; BISCUOLA, 2016a, p. 11). Esta visão da temperatura amplamente retratada nos livros do ensino básico como “*grau de agitação molecular*” é introdutória para os alunos e se deve ao fato de que muitos dos problemas e sistemas termodinâmicos estudados são compreendidos a partir da interação dos átomos e moléculas que compõem os sistemas termodinâmicos, que por sua vez estão relacionadas à mecânica de moléculas, objeto de estudo da mecânica estatística; no entanto, é importante ressaltar que esta definição não descreve de forma satisfatória a temperatura para todos os sistemas.

3.1.2. Calor

Com asseverado, o escopo da termodinâmica é analisar a relação entre dois tipos básicos de transferência de energia: a térmica (calor) e a mecânica (trabalho), em um sistema termodinâmico, originado pela interação entre um sistema físico diatérmico com a sua vizinhança.

Com efeito, entendemos por sistema termodinâmico, uma região específica do universo que está sendo estudada na área da termodinâmica. Geralmente, é definido como uma região física que é separada do resto do universo

por uma fronteira ou parede, através da qual pode ocorrer transferência de energia e/ou matéria com o meio ambiente. Os sistemas termodinâmicos são frequentemente caracterizados por suas propriedades termodinâmicas, como temperatura, pressão, volume, energia e entropia. Eles podem ser classificados como abertos, fechados ou isolados, dependendo do tipo e da quantidade de transferência de massa e energia que ocorre através de suas fronteiras. Como cedição, uma das formas de transferência de energia de um sistema é o calor.

O conceito do calor, que hoje nos parece intuitivo, até o início do século XIX era diferente, pois os fenômenos hoje associados à transferência de energia térmica eram explicados pela área da física conhecida como *calorimetria*, que dentre outras coisas postulava a existência, em cada corpo, de uma substância ou matéria denominada *calórico*. Nesse sentido, acreditava-se que a temperatura de um corpo estava relacionada com a quantidade de *calórico* que um corpo deveria possuir, ou seja corpos quentes deveriam ter mais *calórico* do que corpos frios. E mais, acreditava-se que a razão de dois corpos de temperaturas diferentes, em contato, mudarem suas temperaturas estava associada a uma troca de fluidos e que corpos mais frios “atraiam” o calor dos corpos quentes.

Essa ideia apresentava muitas contradições, pois em que pese ser suficiente para explicar alguns fenômenos, fracassa na explicação da maioria dos outros fenômenos, especialmente porque essa ficta substância (calor) deveria ser capaz de penetrar nos mais diversos materiais, ser atraído pela matéria, além de ser indestrutível e não possuir massa – um verdadeiro malabarismo conceitual.

A hipótese do calor como uma substância só perdeu força após os experimentos de Lord Kelvin, que resultaram na escala absoluta para a temperatura, baseada na teoria cinética dos gases, e na explicação de J.J.Thompson, no final do século XVIII, que reelaborou o conceito de calor não como substância, mas como resultado do movimento das partículas microscópicas que compõe o material.

Embora hoje saibamos que o calor não é uma substância material, não conseguimos fugir da ideia de que algo é transferido de um corpo para outro quando em contato íntimo, especialmente se os corpos estiverem com temperaturas

diferentes. Por isso, adotamos para o calor o conceito de Zemansky (1978, p. 68 e 69), *litteris*:

“(...)aquilo que é transferido entre um sistema e seu meio exterior em virtude somente de uma diferença de temperatura.”

Em outras palavras, podemos dizer que calor é a energia em trânsito que flui de uma parte de um sistema para outra, ou de um sistema para outro, em virtude de tão-somente de uma diferença de temperatura (Zemansky, 2008).

3.1.2 Trabalho em uma transformação gasosa

Como cediço, a grandeza trabalho (**w**) mede a transferência de energia sobre um sistema em razão da atuação de uma força que provoca deslocamento. Podemos definir o trabalho como o produto escalar entre uma força e o deslocamento provocado pela força e pode ser descrito pela integral abaixo:

$$\mathbf{w} = \int \vec{\mathbf{F}} \cdot d\mathbf{S}. \quad (3.1)$$

Para ilustrar, considere uma certa quantidade de gás confinado em um cilindro equipado com êmbolo móvel, cuja seção transversal tenha área A e que o sistema exerça sobre o gás uma pressão P , conforme figura:

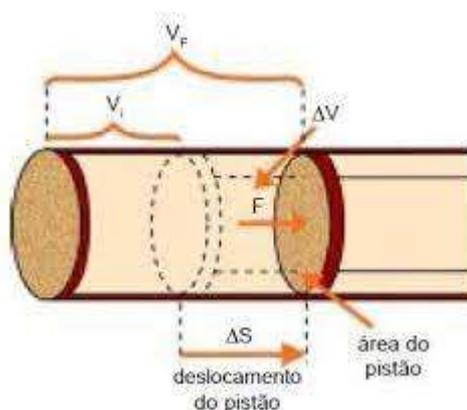


Figura 3 trabalho de uma força num deslocamento infinitesimal. Fonte: Zembascki (2008)

Verifica-se que a força que o sistema exerce sobre o êmbolo é dada por $F = P \cdot A$. Com o deslocamento infinitesimal dS do pistão, o êmbolo realiza um trabalho dW em razão da força atuante, de modo que:

$$dW = F \cdot dS = P \cdot A \cdot dx. \quad (3.2)$$

sendo $A \cdot dx = dV$ (variação infinitesimal do volume), temos que:

$$dW = P \cdot dV. \quad (3.3)$$

Integrando ambos os membros entre os limites de V_i e V_f , obtemos:

$$\int_{V_i}^{V_f} P \cdot dV. \quad (3.4)$$

Se a pressão for constante, o trabalho pode ser calculado com a fórmula simplificada:

$$W = P \cdot \Delta V. \quad (3.5)$$

No entanto, é quase certo que haverá variação na pressão durante a variação do volume do gás. Repare que o trabalho pode ser realizado independentemente da variação da pressão. Nesses casos, necessário encontrar a função da pressão em relação ao volume, o que pode ser obtido a partir da análise gráfica nos diagramas $P \times V$. Perceba que o cálculo da área abaixo da curva entre os limites V_i e V_f é numericamente igual a trabalho realizado pelo/sobre o gás.

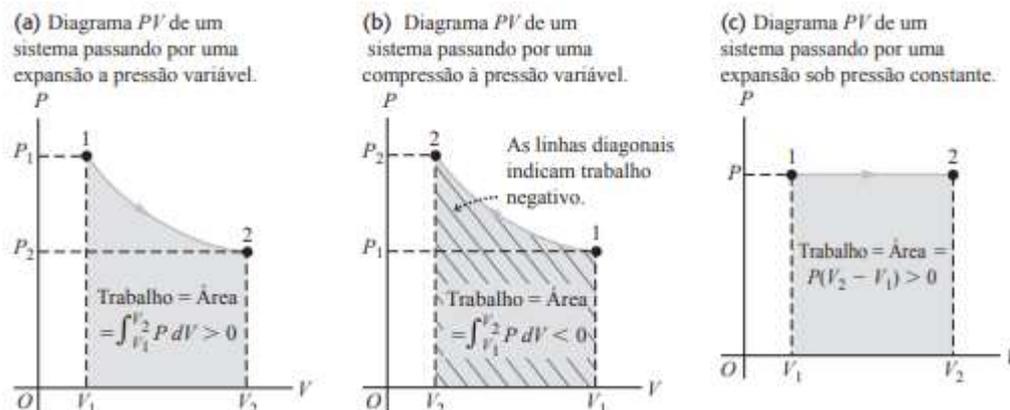


Figura 4-O trabalho realizado é calculado pela área embaixo da curva. Fonte: Sears et al (2008)

A figura acima revela que o trabalho de um gás depende da variação do volume, podendo ser positivo ou negativo. Depreende-se, portanto, que se o gás não variar o volume o trabalho será nulo.

Podemos estabelecer a seguinte convenção de sinais no estudo de trabalho do gás:

- a) Se $V_2 > V_1 \rightarrow \Delta V > 0 \rightarrow W > 0$ (expansão)
- b) Se $V_2 < V_1 \rightarrow \Delta V < 0 \rightarrow W < 0$ (compressão)
- c) Se $V_2 = V_1 \rightarrow \Delta V = 0 \rightarrow W = 0$ (transformação isocórica)

3.1.3 Caminhos entre estados termodinâmicos

Quando um processo termodinâmico envolver variação de volume, o sistema realizará trabalho sobre a vizinhança. Nesse caso, também pode ocorrer transferência de calor se houver uma diferença de temperatura entre o sistema e a vizinhança.

Em que pese, por definição, o trabalho de uma força conservativa independa do caminho, ou do percurso, em sistemas termodinâmicos, quando há

mudança de um estado termodinâmico inicial para outro final, vários estados termodinâmicos intermediários são possíveis. Chamamos esses estados intermediários de **caminhos**. Essa distinção entre o trabalho mecânico e o trabalho termodinâmico se dá em razão da possibilidade da conversão do calor em trabalho, que será melhor explanada mais adiante e demonstra que o trabalho termodinâmico é uma função de estado, mas não é uma função de processo.

A figura 7, abaixo, representa a mudança do estado termodinâmico 1 para o estado termodinâmico 2. Repare que as figuras 7a, 7b, 7c e 7d retratam a mesma mudança por caminhos diferentes. Obviamente o trabalho em cada série também será diferente.

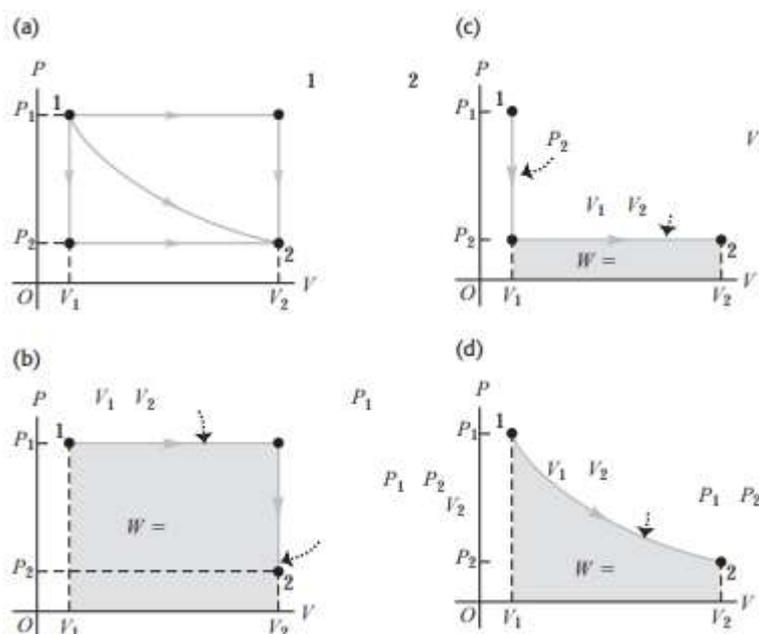


Figura 5- O trabalho realizado pelo sistema durante uma transição entre dois estados depende do caminho. Fonte Sears et al (2008)

Como assevera Sears et.al (2008 p. 255), *litteris*:

“(...)Concluimos que o trabalho realizado pelo sistema depende não somente dos estados inicial e final, mas também dos estados intermediários, ou seja, depende do caminho (integral de linha).”

$$w = \oint_{s_1}^{s_2} \vec{F} \cdot \vec{ds} = \int_{s_1}^{s_2} (F_x dx + F_y dy + F_z dz). \quad (3.6)$$

Outra consequência da dependência dos caminhos para o trabalho de um gás pode ser ilustrada com o cálculo do trabalho consistente numa sequência de transformações seguindo-se um ciclo fechado, tal como no caminho $1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$. Nesse caso, em que pese o estado final ser o mesmo do inicial, o trabalho total não será zero. Na verdade, o trabalho será obtido pelo cálculo da área embaixo da curva fechada e será positivo.

3.1.4. Energia Interna

Um dos conceitos mais importantes da termodinâmica é o da energia interna. Considerando que a matéria é constituída de átomos e moléculas e que estas possuem energia potencial e cinética, preliminarmente, podemos dizer que a energia interna é a soma de todas as energias cinéticas de todas as partículas mais a soma de todas as energias potenciais decorrentes das interações entre as partículas do sistema. Um sistema macroscópico pode ser visto como um conjunto de núcleos e elétrons, dos átomos que o compõe, interagindo entre si e no qual a conservação de energia se aplica, e a energia termodinâmica do sistema sendo uma manifestação macroscópica desta conservação (Callen, 1985). Obviamente, a energia interna não comporta o somatório das energias potenciais entre o sistema e a vizinhança, por isso o nome energia interna.

Quando um gás se transforma, no sentido termodinâmico, sua energia interna varia de um valor inicial U_1 para um valor final U_2 , assim podemos definir a variação da energia interna como sendo:

$$\Delta U = U_2 - U_1. \quad (3.7)$$

Para um gás ideal, considerando que as únicas interações das moléculas seja as de colisão elástica, a energia interna atrela-se exclusivamente à energia cinética de translação, vibração e rotação das partículas, além das energias

potenciais, em outras palavras, segundo o princípio da equipartição da energia, a energia cinética de translação em um dado eixo é variável exclusiva da temperatura.

$$U = \frac{1}{2} K_b T = \frac{mv_x^2}{2} = \frac{mv_y^2}{2} = \frac{mv_z^2}{2}. \quad (3.8)$$

Considerando o movimento tridimensional, a soma da energia cinética equivalente a cada eixo será:

$$U = \frac{3}{2} nk_b T = \frac{3}{2} nRT, \quad (3.9)$$

onde: k_b é a constante de Boltzman ($k = 1,381 \times 10^{-23}$ J/mol.K; N é o número de moléculas; n é o número de mols do gás ideal; R a constante dos gases ideais e T a temperatura absoluta.

Logo, a variação da energia interna do gás ideal para um número de mols constante será:

$$\Delta U = \frac{3}{2} nk_b \Delta T = \frac{3}{2} nR \Delta T. \quad (3.10)$$

3.1.5. A Primeira Lei da Termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica é uma consequência do princípio da conservação da energia que tem por axioma a ideia de que a energia se conserva, não podendo ser criada tampouco destruída. A relação entre calor e trabalho, que pavimentou o caminho para o estabelecimento de uma função energia termodinâmica para um sistema teve início com as observações da relação entre calor e trabalho mecânico feitas por Rumford ao final do século XVIII. No entanto, foi com os trabalhos de Rudolf Mayer em 1842 e James P. Joule na década de 1840 que deram forte impulso: Mayer foi o primeiro a relacionar a energia mecânica com a energia térmica, mas de maneira informal. Joule realizou uma série de experimentos para investigar as relações entre trabalho e calor, via aquecimento elétrico, compressão de gases, pás girando em tanques contendo água ou mercúrio e líquidos forçados em tubos finos (Callen, 1985). Porém, foi H. von Helmholtz quem forneceu o formalismo necessário, estabelecendo que a lei da conservação da energia é uma lei universal e definindo a

energia interna de um sistema como uma função de estado cuja variação estava correlacionada ao trabalho e ao calor envolvidos em processos termodinâmicos.

Por energia térmica, Callen (1985) definiu como a forma de energia associada às propriedades termodinâmicas de um sistema que determinam sua capacidade de trocar calor com outros sistemas. Observamos isso quando fornecemos calor a um sistema impedido de realizar trabalho. O resultado será um aumento da temperatura, ou seja, um aumento da sua energia interna. Ou quando um sistema realiza um trabalho w de expansão contra sua vizinhança, sem nenhum calor entrar no sistema. O resultado será uma diminuição da temperatura e da energia interna do sistema.

Agora, quando ocorre uma transferência de calor juntamente com a realização de trabalho, a variação de energia interna será dada pela seguinte equação:

$$\Delta U = Q - W. \quad (\text{primeira lei da termodinâmica}) \quad (3.11)$$

Como se verifica, as únicas formas de se alterar a energia interna de um sistema são através dos processos de calor e trabalho. Além do mais, o calor trocado e o trabalho dependem do caminho ao longo das transformações termodinâmicas, no entanto, a variação da energia interna independe do caminho, dependendo, exclusivamente, do estado inicial e final. Isso ocorre porque o trabalho e o calor não são propriedades do sistema, mas sim do processo pelo qual o sistema passa, no entanto, a energia interna é uma função do estado.

Não é demais ressaltar que a primeira lei da termodinâmica tem validade em todos os sistemas físicos, não apenas nos sistemas gasosos. A propósito, a termodinâmica é a única área da física que tem validade em todos os sistemas, da escala micro- à macroscópica.

3.1.6. Casos particulares da Primeira Lei da Termodinâmica

Transformação adiabática: é aquela no qual não ocorre transferência de calor entre o sistema e a vizinhança, logo $Q=0$. Pode-se impedir a transferência de calor revestindo o sistema com paredes adiabáticas, ou termicamente isolantes.

Pela primeira Lei, verifica-se que, num processo adiabático:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = 0 - W \rightarrow \Delta U = -W. \quad (3.12)$$

O sinal negativo na equação (3.11) indica que se o sistema se expande, realiza trabalho positivo sobre a vizinhança, diminuindo a energia interna do sistema, uma vez que não há compensação devida ao calor. Se o sistema se contrai, a vizinhança realiza trabalho negativo sobre o sistema, fazendo aumentar sua energia interna.

A fase de compressão em motor a combustão interna é uma boa aproximação de um processo adiabático, isto porque o processo é tão rápido que quase não dá tempo para trocas de calor, de modo que a temperatura da mistura do ar e combustível sobe à medida que é comprimida pelo cilindro.

Outro exemplo está ilustrado na figura 6. Quando uma rolha estoura em uma garrafa de champanhe, os gases pressurizados dentro da garrafa se expandem para o ar externo com tanta velocidade que não há tempo para trocas de calor com o meio ambiente, logo a expansão é adiabática.



*Figura 6- estouro em uma garrafa de champanhe.
Fonte Sears e Zemansky (2008)*

Transformação isovolumétrica ou isocórica: como diz o nome, é um processo que ocorre sob volume constante. Destarte, o trabalho depende da variação de volume, portanto, numa transformação isovolumétrica o trabalho é nulo, $w=0$, logo, pela 1ª Lei, temos que:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = Q - 0 \rightarrow \Delta U = Q. \quad (3.13)$$

Em um processo isovolumétrico, toda energia adicionada sob forma de calor permanece no interior do sistema, contribuindo para o aumento da energia interna.

O aquecimento de certo gás em um recipiente cujo volume é mantido constante é exemplo de processo isocórico. (Repare que existem alguns tipos de trabalho que não envolvem variação de volume. Por exemplo, podemos realizar trabalho sobre um fluido agitando-o. Em alguns livros, o termo 'isocórico' é usado para designar um processo em que nenhum tipo de trabalho foi realizado.)

Transformação isotérmica: é um processo à temperatura constante. Para que um processo seja isotérmico, é necessário que a transferência de calor entre o sistema e a vizinhança seja suficientemente lento, a fim de possibilitar a manutenção do equilíbrio térmico.

Geralmente, nenhuma das grandezas de estado, ΔU , Q ou W é igual a zero num processo isotérmico, no entanto, em alguns casos raros, como o que ocorre com os gases ideais, a energia interna depende apenas da temperatura, independentemente da pressão e do volume, o que enseja numa variação de energia interna nula quando o processo é mantido à temperatura constante.

Com $\Delta U = 0$, a primeira lei ficará:

$$\Delta U = Q - W \rightarrow 0 = Q - W \rightarrow W = Q. \quad (3.14)$$

Transformação isobárica: numa transformação isobárica a pressão é constante. Em que pese nenhuma das variáveis ΔU , Q ou W ser igual a zero, é relativamente fácil calcular o trabalho realizado, uma vez que se no diagrama $P \times V$ teremos uma função constante, logo:

$$w = P(V_2 - V_1), \quad (3.15)$$

$$\Delta U = Q - W \rightarrow \Delta U = Q - P(V_2 - V_1). \quad (3.16)$$

3.1.7. Calores específicos molares

O calor específico de um sólido ou líquido é uma constante que representa a quantidade de calor necessária para variar em 1 K a temperatura de uma unidade de massa de uma substância.

Ocorre que o calor específico de uma substância depende do processo de fornecimento de calor para a substância. Para um gás, por exemplo, é mais conveniente medir o seu calor específico em um recipiente, cujo volume não se altere. Esse calor específico é denominado calor específico a volume constante, designado por c_v .

Considerando η mols de um gás ideal, submetido a uma pressão P e a uma temperatura T , inseridos no interior de um recipiente com volume constante V . Ao fornecer uma quantidade infinitesimal de calor dQ a esse gás e elevar lentamente a temperatura do ambiente para $T + dT$, observamos a pressão aumentar para $p + dp$ no estado termodinâmico final do gás. Para esse tipo de experimento, tem-se que o calor específico molar a volume constante (c_v) se relaciona com o calor fornecido ao sistema pela relação:

$$dQ = \eta \cdot c_v \cdot dT. \quad (3.17)$$

Substituindo a equação 3.16 na equação 3.10, em termos infinitesimais, temos que:

$$dU = \eta c_v dT - dW. \quad (3.18)$$

Por óbvio, $dW = 0$, uma vez que durante o processo o volume foi mantido constante, logo:

$$dU = \eta \cdot C_v \cdot dT \rightarrow C_v = \frac{1}{\eta} \frac{dU}{dT} \text{ (capacidade calorífica molar a volume constante).} \quad (3.19)$$

E mais, como vimos, para um gás ideal, a variação da energia interna para um gás monoatômico é dada pela equação $dU = \frac{3}{2} \cdot \eta \cdot R \cdot dT$, tem-se que:

$$C_v = \frac{3}{2} \cdot R \rightarrow C_v = \mathbf{12,5 \text{ J mol} \cdot \text{K}}. \quad (3.20)$$

A energia interna para um gás ideal qualquer, pode assim ser reformulada:

$$U = \eta \cdot C_v \cdot T. \quad (3.21)$$

Considerando agora um processo isobárico, em que o mesmo gás, confinado num cilindro com êmbolo móvel, mantém a mesma variação de temperatura dT . O sistema é mantido em contato térmico com um corpo mais quente. À medida que o calor flui para dentro do sistema, ele se expande à pressão constante, realizando trabalho. Temos aqui a definição de capacidade calorífica molar à pressão constante (C_p .)

Repare que:

$$dQ = \eta C_p dT. \quad (3.22)$$

O trabalho realizado pelo gás é dado pela equação (3.5). Podemos também expressar dW em termos da variação de temperatura dT , usando a equação de estado do gás ideal, $PV = nRT$. Como a pressão P é constante, a variação de volume V é proporcional à variação de T :

$$dW = P dV = nR dT. \quad (3.23)$$

Substituindo a equação (3.22) na equação (3.10), obtemos:

$$\eta C_p dT = dU + nR dT. \quad (3.24)$$

Para um gás ideal, a variação da energia interna depende exclusivamente da temperatura, independentemente do tipo de processo, então podemos usar a mesma relação obtida para a capacidade calorífica a volume constante, equação (3.16):

$$\eta \cdot C_v \cdot dT = \eta \cdot C_p \cdot dT - \eta \cdot R \cdot dT. \quad (3.25)$$

Dividindo toda a expressão (3.22) por $\eta \cdot dT$, temos que:

$$C_p = C_v + R, \quad (3.26)$$

Que é a relação entre os calores específicos molares de um gás ideal. Dado que $C_v = \frac{3}{2}R$, então:

$$C_p = \frac{5}{2}R. \quad (3.27)$$

Chamamos de coeficiente de Poisson (γ) a razão entre as capacidades caloríficas molares a pressão e volume constante:

$$\gamma = \frac{C_p}{C_v} \quad (3.28)$$

$$\gamma = \frac{\frac{5}{2}R}{\frac{3}{2}R} \rightarrow \gamma = \frac{5}{3} \rightarrow \gamma = 1,67 \quad (3.29)$$

3.1.8. A segunda lei da Termodinâmica

Enquanto a primeira lei da termodinâmica se ocupa da conservação da energia, aduzindo que a energia pode produzir calor e realizar trabalho, a segunda lei, que pode ser enunciada de diferentes formas, trata da espontaneidade dos fenômenos naturais e dos limites da primeira Lei, qual seja, a eficiência máxima de um sistema termodinâmico ante a impossibilidade de rendimento integral. No limite, a segunda lei se refere à tendência que o universo apresenta para uma desordem

crescente: em todos os processos naturais, a entropia (desordem) do universo aumenta (Nelson e Cox, 2002).

Originalmente, a segunda lei da termodinâmica foi consequência do estudo da eficiência de uma máquina térmica, no sentido do seu aperfeiçoamento, uma vez que tais dispositivos aproveitavam muito mal a energia disponibilizada.

Um dos resultados desses estudos, o enunciado de Kelvin-Planck, é a base qualitativa da formulação da segunda lei da termodinâmica:

“É impossível para qualquer sistema passar por um processo no qual absorve calor de um reservatório a uma dada temperatura e converte o calor completamente em trabalho mecânico de modo que o sistema termine em um estado idêntico ao inicial.”
[Sears e Zemansky, p. 286. 2008].

Veja um exemplo que pode ser empregado no ensino básico para introduzir o tema: imagine um corpo em movimento com velocidade constante, atingindo o repouso sobre uma superfície, após ser freado pelo atrito do corpo com o solo, conforme ilustrado na fig. 7. Nesse caso, o movimento organizado do corpo é integralmente convertido em movimento aleatório das moléculas que compõem o corpo e a superfície, o que pode ser verificado aferindo-se a temperatura do sistema. Como é impossível controlar o movimento individual de cada molécula do sistema, é impossível converter completamente esse movimento aleatório outra vez em movimento organizado, impossibilitando o retorno do corpo naturalmente à velocidade inicial. Podemos apenas converter uma parte do movimento aleatório, e isso é justamente o que uma máquina térmica faz.

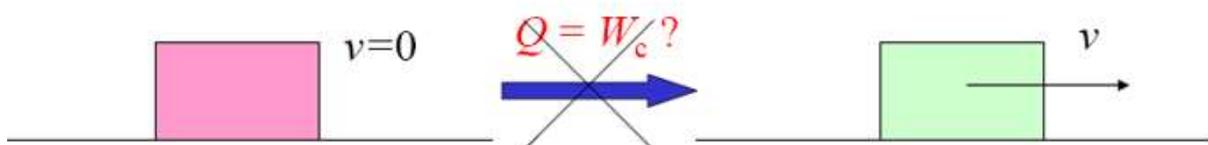


Figura 7 movimento organizado do corpo se converte em movimento aleatório das moléculas

Como se depreende, a base qualitativa da segunda lei da termodinâmica repousa na diferença entre a natureza da energia interna e a energia mecânica macroscópica.

Como assevera Sears et al (2008), *litteris*:

“(...) segunda lei, portanto, não é deduzida a partir da primeira lei; sustenta-se por si própria como uma lei independente na natureza. A primeira lei proíbe a criação ou a destruição da energia; a segunda lei limita a disponibilidade da energia e os modos de conversão e de uso da energia.”

Repare que o enunciado de Kelvin-Planck não proíbe a transformação completa de calor em energia mecânica, muito pelo contrário, numa transformação isotérmica de um gás ideal, por exemplo, o calor é integralmente convertido em trabalho, mas o estado final do sistema não é o mesmo que o estado inicial, pois haverá variação de pressão. No caso de uma máquina térmica, é necessário que os sistemas operem em ciclos, razão pela qual a transformação completa de calor em trabalho não será o único efeito.

Nesta esteira, o enunciado de Clausius é ainda mais direto em impor limites à Primeira lei. Segundo Sears *et al* (Sears *et al* 2008), *litteris*:

“(...)É impossível a realização de qualquer processo que tenha como única etapa a transferência de calor de um corpo frio para um corpo quente.” [Sears e Zemansky, p. 287. 2008]

Este é o enunciado do refrigerador da segunda lei da termodinâmica, pois trata da impossibilidade, natural, do calor fluir de uma fonte fria para uma fonte quente, no entanto tem tudo a ver com o enunciado da máquina térmica de Kelvin.

Por exemplo, se fosse possível construir um refrigerador sem realizar trabalho, violando a Lei de Clausius, poderíamos usá-lo em conjunto com uma máquina térmica, bombeando o calor rejeitado pela máquina e fazendo-o retornar ao reservatório quente para ser usado novamente, como exibido na fig. 8. No entanto, esta máquina também violaria a Lei de Kelvin-Planck, pois seu efeito único seria a conversão de calor em trabalho.

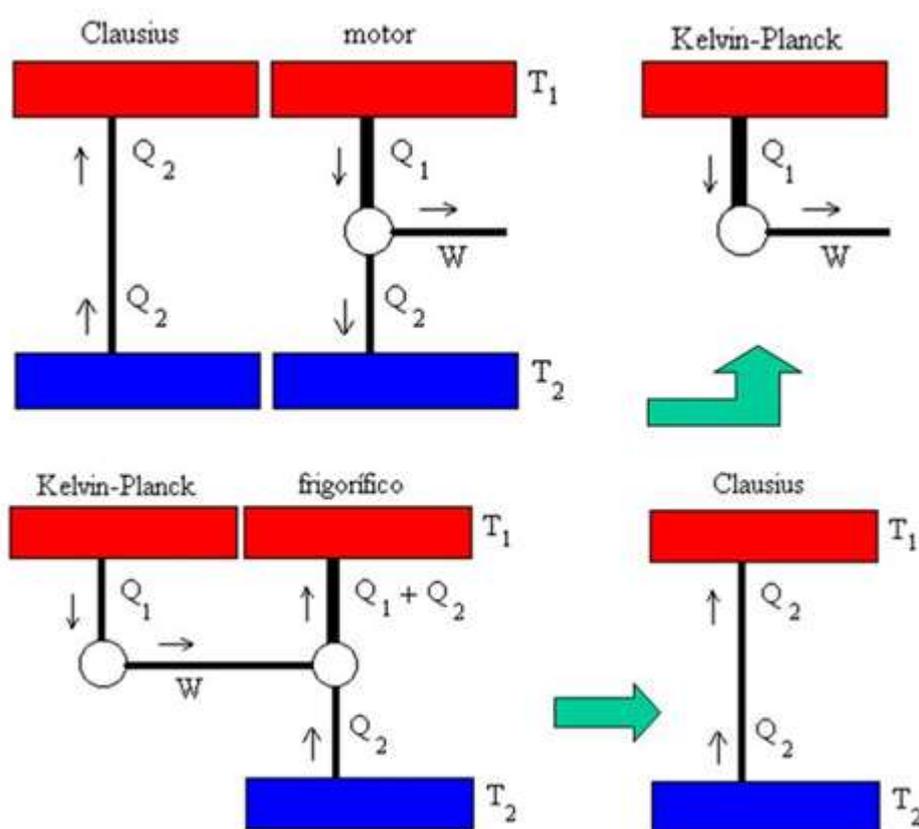


Figura 8- equivalência entre os enunciados.

Ressalte-se que o enunciado de Clausius não implica na impossibilidade de transferir calor de um corpo mais frio para um corpo mais quente, isto pode acontecer, a exemplo da expansão isotérmica de um gás ideal, à temperatura T_1 , seguida de uma compressão adiabática até atingir a temperatura T_2 . Nesse caso, o trabalho total será zero e calor fluiria do frio para o quente.

Nesse escorço, qualitativamente, o axioma da segunda lei da

termodinâmica se traduz na impossibilidade de construção de máquinas térmicas cujo rendimento seja de 100%.

No entanto, os estudos do engenheiro francês Sadi Carnot, em 1824, e pouco mais tarde da contribuição de Rudolf Clausius, além de estabelecerem os limites fundamentais para uma máquina térmica e a energia mínima a ser fornecida a uma máquina térmica, inaugurou, também, uma forma quantitativa de se enunciar a segunda lei da termodinâmica: a entropia.

Para definirmos a entropia, primeiro precisamos diferenciar processos reversíveis de processos irreversíveis. Considera-se reversível o processo que pode devolver um sistema ao seu estado inicial sem alterar o estado da vizinhança. Por outro lado, o processo é irreversível quando não for possível a reversão sem causar alterações no estado da vizinhança. Observa-se que a desordem sempre aumenta em processo irreversíveis, ao passo que se mantém constante em processos reversíveis.

Na natureza, todos os processos termodinâmicos são irreversíveis, isto porque os processos naturais sempre ocorrem em um determinado sentido, não ocorrendo, naturalmente, no sentido contrário. Por exemplo: uma pedra ao ser abandonada não retorna espontaneamente à sua posição inicial; ao misturar duas tintas de cores distintas e miscíveis, elas não retornarão às suas cores iniciais espontaneamente sem a ação de um procedimento externo de separação; uma taça de cristal ao cair no chão quebra e seus pedaços nunca se organizarão sozinhos voltando ao seu formato original; uma folha de papel ao ser queimada jamais retorna espontaneamente ao seu formato inicial. Esses são apenas alguns exemplos de processos irreversíveis existentes na natureza.

A segunda lei determina qual é o sentido preferencial dos processos, no entanto, é possível imaginar uma classe de processos idealizados que poderiam ser reversíveis. Processos reversíveis, ideais, são quase-estáticos, ou seja, estão sempre muito próximos do equilíbrio termodinâmico com a vizinhança.

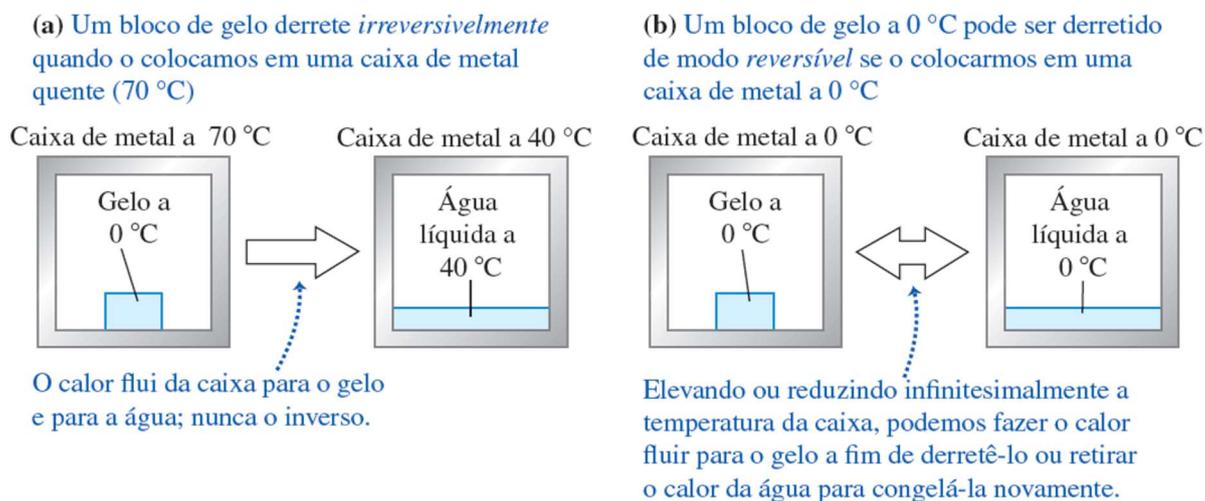


Figura 9- exemplos de processos irreversíveis e reversíveis. Fonte: Sears e Zemansky (2008)

Com efeito, em processos reversíveis, qualquer mudança de estado que eventualmente ocorra pode ser revertida: o fluxo de calor entre dois corpos com temperaturas muito próximas cujas capacidades caloríficas sejam elevadas pode ser invertido, variando-se apenas suavemente uma ou outra temperatura.

Em que pese a segunda lei da termodinâmica ser *sui generis* no sentido de que foi formulada em termos da afirmação da impossibilidade e não em termos quantitativos, como acontece normalmente com as demais leis da física, a entropia nos permite quantificá-la.

A Entropia pode ser definida macroscopicamente como uma medida da dispersão de energia em um sistema. Em outras palavras, quanto mais energia estiver dispersa e menos organizada, maior será a Entropia. Essa definição pode ser entendida sem a necessidade de recorrer a conceitos de moléculas e átomos, inexistentes no contexto da termodinâmica clássica. Por exemplo, imagine um gás ideal confinado em um recipiente com uma divisória. Se a divisória for removida, o gás

se expandirá por todo o recipiente, aumentando a dispersão de energia e, portanto, a entropia do sistema. Este exemplo ilustra que a entropia é a medida que quantifica a desordem de um sistema. No exemplo em tela, como a energia interna de do gás ideal depende exclusivamente da temperatura, a energia interna também será constante. Assim, pela primeira lei da termodinâmica, o trabalho dW realizado pelo gás será igual ao calor dQ dispensado ao gás:

$$dQ = dW = PdV = \frac{nRT}{V} dV \rightarrow \frac{dV}{V} = \frac{dQ}{nRT}. \quad (3.30)$$

Microscopicamente, observa-se que as moléculas do gás, após a expansão, ficaram mais desordenadas, isto porque passaram a se mover em um volume maior e suas posições, conseqüentemente, ficaram mais aleatórias. Assim, a variação relativa de volume dV/V (equação 3.30) constitui uma eficiente maneira de se estimar a desordem do sistema e é diretamente proporcional à grandeza dQ/T . Se denominarmos a grandeza dQ/T de variação infinitesimal da entropia, ou da desordem de um sistema, teremos:

$$dS = \frac{dQ}{T}, \quad (3.31)$$

onde dS representa a variação infinitesimal da entropia (desordem) ao longo de um processo também infinitesimal, reversível, dQ se refere ao calor infinitesimal associado ao processo termodinâmico e T representa a temperatura absoluta.

Para Halliday, Resnick e Walker (2007, p.249), a variação de entropia pode ser definida de duas formas equivalentes: 1) em termos de temperatura do sistema e da energia que o sistema ganha ou perde na forma de calor (equação 3.31), e 2) contando as diferentes formas de distribuir os átomos ou moléculas que compõem o sistema (multiplicidade).

Em termos da temperatura absoluta e da energia trocada no sistema, podemos obter uma formulação mais simples da equação 3.29, imaginando um sistema em que uma quantidade total de calor Q é fornecida durante um processo isotérmico reversível a uma temperatura absoluta T . Neste caso, a variação total de entropia $\Delta S = S_2 - S_1$ será igual a:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \frac{Q}{T} \text{ (processo isotérmico reversível)}. \quad (3.32)$$

Como se verifica, a unidade da entropia é uma unidade de energia dividida por unidade de temperatura. No Sistema internacional será o J/K.

Como se depreende da equação (3.32), a razão Q/T está intrinsecamente relacionada ao aumento da desordem. Experimentalmente, verifica-se uma relação direta entre a temperatura e o movimento aleatório das moléculas. Como conclui Sears e Zemansky (2008), se uma substância está inicialmente fria, com movimento molecular pequeno, o fornecimento do calor Q produz um aumento fracionário substancial no movimento e no estado aleatório das moléculas. Se, no entanto, a substância já está quente, a mesma quantidade de calor fornecido produz um aumento relativamente menor no já elevado movimento molecular existente. Portanto, o quociente Q/T caracteriza de modo apropriado o crescimento da desordem quando o calor flui para o interior de um sistema.

Para generalizar a definição de variação de entropia, de modo a incluir qualquer processo reversível que conduza o sistema de um estado para outro, independente de ele ser ou não isotérmico, basta somar todas as quantidades infinitesimais de calor dQ fornecidas ao sistema de temperatura absoluta T . Podemos fazer isto por integrar a equação 3. 32:

$$\Delta S = \int_1^2 \frac{dQ}{T}. \quad (3.33)$$

Como a entropia mede a desordem de um dado sistema, ela depende apenas do estado presente do sistema, e não do que ocorreu no passado. Assim, a variação de entropia $\Delta S = S_2 - S_1$, não depende do caminho e é sempre a mesma em todos os processos possíveis entre o estado 1 e o estado 2.

O raciocínio usado acima, no entanto, não pode ser aplicado aos processos irreversíveis, mas existe meios de se calcular a entropia nestes processos. Por exemplo, pode-se imaginar um caminho ligando o estado final ao estado inicial, e que seja constituído totalmente por processos reversíveis. Assim, calculamos a variação total de entropia nesse caminho imaginário. Não é o caminho real, mas o resultado deve ser o mesmo que seria obtido no caminho real e resulta numa quantidade sempre positiva, indicando um aumento de desordem. Assim, verifica-se

que a entropia do sistema ou aumenta (processos irreversíveis) ou se mantém constante (processos reversíveis), mas nunca diminui. Logo, é correto afirmar que:

$$\Delta S \geq 0 \quad (3.34)$$

Outro raciocínio que pode ser usado para se quantificar a variação da entropia envolve contar as formas de distribuir os átomos ou moléculas. Para isso, precisaremos desenvolver os conceitos de macroestados, microestados em multiplicidade. Esses conceitos podem ser exemplificados a partir do fenômeno matemático do lançamento de moedas: Imagine que uma pessoa disponha de três moedas diferentes, sendo uma de 5 centavos; outra de 10 centavos e a terceira de 50 centavos e, num dado momento, jogue cara ou coroa com essas três moedas, observando como que elas caem sobre uma mesa. Pode existir as seguintes possibilidades diferentes de as moedas caírem sobre a mesa: 1) as três moedas caírem com a face cara (c); 2) duas das moedas apresentarem cara (c) e a outra coroa (C) (pode ocorrer de três maneiras diferentes); 3) uma das moedas apresentar cara (c) e as outras duas apresentarem coroa (C), (pode ocorrer de três maneiras diferentes); 4) as três moedas apresentarem coroa (C).

Nesse hipotético exemplo, existem oito possibilidades de resultados, e cada uma dessas possibilidades será denominada de microestado possível para o sistema formado pelas três moedas. O microestado é o estado no qual se sabe que face cada moeda apresenta para o alto. Dentre os oito microestados possíveis, existe um grupo em que um microestado apresenta as três faces cara; outro grupo em que três microestados apresentam duas faces cara para cima; outro grupo no qual três microestados apresentam uma face cara para cima, e um grupo em que um microestado não apresenta nenhuma das moedas com face cara para cima. Na mecânica estatística, todos os microestados são igualmente prováveis (equiprováveis), ou seja, têm a mesma probabilidade de ocorrência, e o conjunto desses microestados denomina-se macroestados possíveis para o sistema.

O número de microestados que resultam no mesmo macroestado é denominado de **multiplicidade (Ω)**. Por exemplo, o macroestado que tem duas faces caras para cima tem multiplicidade 3 pois existem três microestados distintos

associados ao mesmo macroestado. Quanto maior a multiplicidade, maior a probabilidade de esse macroestado aparecer, ou seja, são mais prováveis. Sendo Ω a multiplicidade de um macroestado e n a quantidade de caras que determina um macroestado, então, no exemplo analisado, $\Omega(n)$ será:

$$\Omega(3) = 1; \Omega(2) = 3; \Omega(1) = 3 \text{ e } \Omega(0) = 1,$$

Em que a multiplicidade total Ω é o número de microestados formados nas condições descritas. Observe que a probabilidade de ocorrência de um macroestado qualquer é a razão entre o número de microestados associados ao macroestado e o número total de microestados.

Logo,

$$P_n = \frac{\Omega_n}{\Omega} \text{ (probabilidade de ocorrência de um microestado)}. \quad (3.35)$$

Assim, a entropia de S de um estado macroscópico pode ser calculada pela equação da entropia de Boltzmann dada por:

$$S = K \cdot \ln(\Omega), \quad (3.36)$$

onde S é a entropia, Ω é a multiplicidade do macroestado e k é a constante de Boltzmann ($k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$).

Em um sistema termodinâmico, o que interessa é a variação de entropia e não a entropia absoluta, isto porque a entropia também é uma função de estado termodinâmico que depende apenas do estado atual do sistema e não da forma como ele chegou a esse estado. Assim, um sistema que sofre um processo termodinâmico, partindo de um macroestado 1 com Ω_1 microestados possíveis para um macroestado 2 com Ω_2 microestados possíveis, a variação de entropia pode ser calculada por:

$$\begin{aligned} \Delta S = S_2 - S_1 &= K \cdot \ln \Omega_2 - K \cdot \ln \Omega_1 \rightarrow K \cdot (\ln \Omega_2 - \ln \Omega_1), \\ \Delta S &= K \cdot \ln\left(\frac{\Omega_2}{\Omega_1}\right) \end{aligned} \quad (3.37)$$

3.1.9. Máquinas térmicas

Chamamos de máquinas térmicas qualquer dispositivo que transforme parcialmente o calor em trabalho, por meio de transformações cíclicas. Para que essas transformações ocorram, é forçoso que a máquina opere entre dois reservatórios térmicos: sendo o primeiro quente, com temperatura T_H e o segundo frio, à temperatura T_C . Como o calor líquido transformado em trabalho nunca é igual ao calor bruto extraído do reservatório quente, haverá uma parcela considerável de calor rejeitada para o reservatório frio. Vejamos:

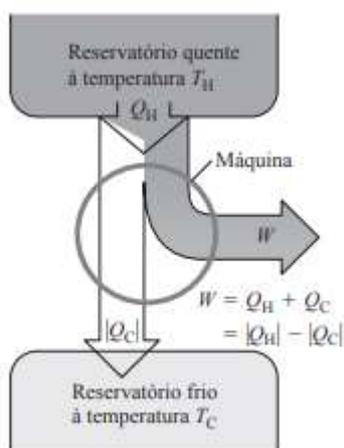


Figura 10- diagrama de uma máquina térmica.
Fonte: Sears e Zemansky (2008)

Em uma transformação cíclica, a energia interna inicial é igual a energia interna final, o que nos diz que a variação da energia é zero. Aplicando à primeira Lei da termodinâmica, temos que parte do calor recebido pela máquina ao longo de um ciclo é vertido em trabalho realizado por ela.

Durante um ciclo, uma máquina térmica recebe um calor Q_H da fonte quente e rejeita um calor Q_C para a fonte fria. Assim todo calor absorvido ao longo do ciclo é: $Q = Q_H + Q_C \rightarrow Q = |Q_H| - |Q_C|$.

Logo, essa é igual a quantidade de trabalho realizado pela máquina, qual seja:

$$W = |Q_H| - |Q_C|. \quad (3.38)$$

Já a eficiência de uma máquina térmica tem a ver com o percentual de calor proveniente do reservatório quente que a máquina consegue converter em trabalho. Ou seja, a eficiência é a razão entre o trabalho realizado pela máquina e o calor absorvido da fonte quente:

$$\epsilon = \frac{w}{Q_H} \cdot 100\% = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \cdot 100\%. \quad (3.39)$$

Como já discutimos, nenhuma máquina terá rendimento de 100%, caso contrário violaria a segunda lei da termodinâmica. Mas é possível mensurar o máximo rendimento que uma máquina pode alcançar?

Na tentativa melhorar a eficiência das máquinas térmicas já construídas, o engenheiro militar, Sadi Carnot, em 1824, teorizou uma máquina hipotética que poderia fornecer eficiência máxima, nos estritos limites da segunda lei da termodinâmica.

Para Carnot, a eficiência de um motor de calor apenas poderia ser obtido por meio um processo reversível, e a eficiência dependeria exclusivamente das temperaturas dos reservatórios quente e frio do motor.

O ciclo dessa máquina ideal é denominado de ciclo de Carnot e é constituído de quatro transformações reversíveis, sendo duas isotérmicas e duas adiabáticas. O diagrama exibido na figura 11 representa o esquema do ciclo da máquina de Carnot:

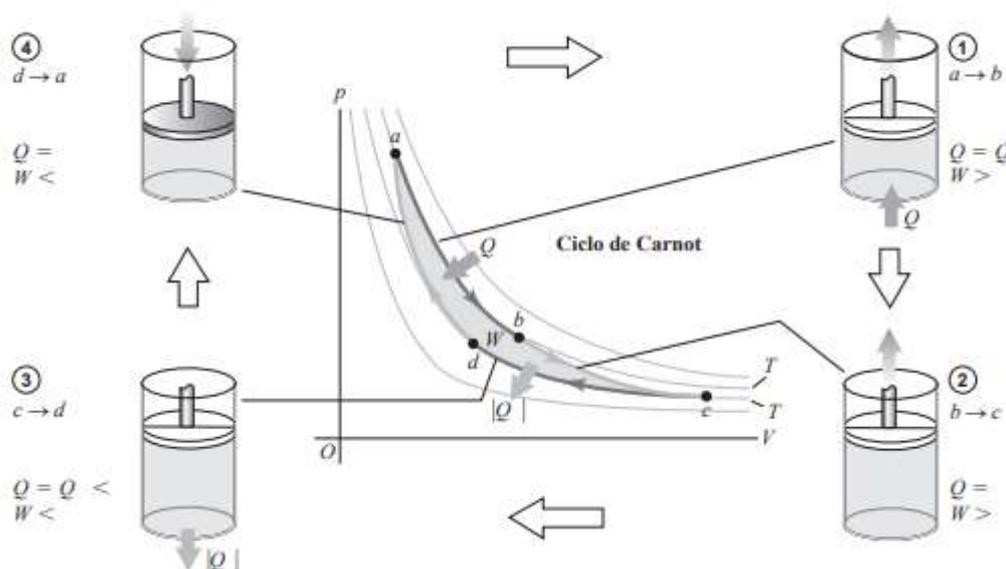


Figura 11- ciclo de carnot para um gás ideal. No diagrama PV, as linhas finas são isotermas e as grossas são curvas adiabáticas. Fonte: Sears e Zemansky (2008)

Verifica-se as seguintes etapas para o ciclo de Carnot:

- 1- O gás se expande isotermicamente (T_H), absorvendo um calor Q_H (expansão de a para b no gráfico 11);
- 2- O gás se expande adiabaticamente, diminuindo a temperatura para T_C (expansão de b para c);
- 3- O gás é comprimido isotermicamente, mantendo T_C e liberando calor Q_C (compressão de c para d);
- 4- O gás é comprimido adiabaticamente, voltando à temperatura inicial T_H (compressão de d para a).

Podemos calcular o rendimento da máquina de Carnot por calcular a área da região destacada no gráfico da figura 11, com o resultado, usamos a equação (3.39) para calcular a eficiência do ciclo de Carnot. O trabalho pode ser assim calculado:

$$W_{AB} = \eta \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \frac{V_B}{V_A} = Q_H \cdot \quad (3.40)$$

Da mesma forma:

$$W_{CD} = -\eta \cdot R \cdot T_C \cdot \ln \frac{V_D}{V_C} = Q_C. \quad (3.41)$$

Dividindo Q_C/Q_h , temos:

$$\frac{Q_C}{Q_h} = \frac{-\eta \cdot R \cdot T_C \cdot \ln \frac{V_D}{V_C}}{\eta \cdot R \cdot T_H \cdot \ln \frac{V_B}{V_A}} \rightarrow \frac{Q_C}{Q_h} = -\frac{T_C}{T_H} \cdot \frac{\ln \frac{V_D}{V_C}}{\ln \frac{V_B}{V_A}}. \quad (3.42)$$

Lembrando que em uma transformação adiabática, o volume e a temperatura podem ser relacionados pela expressão: $T \cdot V^{\gamma-1} = \text{constante}$, assim nas transformações adiabáticas da figura 11, temos que:

$$T_H \cdot V_B^{\gamma-1} = T_C \cdot V_C^{\gamma-1} \text{ e } T_H \cdot V_A^{\gamma-1} = T_C \cdot V_D^{\gamma-1}. \quad (3.43)$$

Resolvendo a expressão (3.34), temos que:

$$\frac{V_B^{\gamma-1}}{V_C^{\gamma-1}} = \frac{V_A^{\gamma-1}}{V_D^{\gamma-1}}. \quad (3.44)$$

Tirando a raiz ($\gamma - 1$), temos que:

$$\frac{Q_C}{Q_H} = \frac{T_C}{T_H}, \quad (3.45)$$

de modo que o rendimento máximo teórico para a máquina de Carnot será, a partir da equação (3.30):

$$\epsilon = \frac{w}{Q_H} \cdot 100\% = 1 - \frac{Q_C}{Q_H} \rightarrow \epsilon = 1 - \frac{T_C}{T_H} \text{ (Eficiência da máquina de Carnot)}. \quad (3.46)$$

Por outro lado, também podemos encontrar a mesma equação (3.37) usando os argumentos da variação da entropia. Isto porque, pensando na máquina de Carnot como sendo ideal, podemos imaginar que as únicas variações de entropia admitidas serão aquelas relacionadas ao próprio fluxo de calor na expansão e na compressão isotérmicas. Desta forma, admitindo o processo reversível, temos que:

$$\Delta S = 0$$

$$\Delta S_{\text{global}} = \Delta S_{\text{H}} - \Delta S_{\text{C}},$$

$$\Delta S_{\text{H}} = \Delta S_{\text{C}}. \quad (3.47)$$

Lembrando que $\Delta S = \frac{Q}{T}$ teremos:

$$\frac{Q_{\text{H}}}{T_{\text{H}}} = \frac{Q_{\text{C}}}{T_{\text{C}}} \rightarrow \frac{Q_{\text{C}}}{Q_{\text{H}}} = \frac{T_{\text{C}}}{T_{\text{H}}}. \quad (3.48)$$

4. O METABOLISMO DO CORPO HUMANO

Os processos de transformação energética realizadas pelo corpo humano são extremamente complexos e demandam a descrição de múltiplos subsistemas que operam juntos e articulados e que resultam na obtenção de energia útil necessária para a manutenção da vida e a realização de atividades físicas.

A esses processos que objetivam a disponibilização de energia para o corpo humano denomina-se metabolismo. Em linhas gerais, o metabolismo celular é o conjunto de reações que ocorrem no ambiente celular com o objetivo de sintetizar biomoléculas com o escopo de gerar energia. Segundo Nelson e Cox (2002), *litteris*:

“O metabolismo é uma atividade celular altamente coordenada na qual diversos sistemas multienzimáticos (via metabólica) atuam conjuntamente visando a quatro funções: 1) obter energia química, seja por captação de energia solar, seja por degradação de nutrientes ricos em energia obtidos do meio ambiente; 2) converter as moléculas dos nutrientes em moléculas com características próprias de cada célula, inclusive os precursores das macromoléculas; 3) formar macromoléculas (...) e 4) sintetizar e degradar biomoléculas necessárias a funções celulares especializadas (...)” [Lehninger Princípios de Bioquímica (2002), pág. 379]

O metabolismo de síntese, ou reconstrução, de biomoléculas é conhecido como anabolismo, enquanto o processo de degradação de moléculas para a obtenção de energia denomina-se catabolismo.

O anabolismo ocorre quando a célula dispõe de energia e, para retê-la, sintetiza moléculas menores, que servirão de estoque de energia. No catabolismo, o processo é inverso, o organismo degradará moléculas, com o escopo de liberar parte da energia potencial armazenada. Independente do processo, é necessário a presença dos substratos essenciais ao metabolismo.

O grupo de substratos que possui função primordial para o metabolismo são os compostos energéticos (carboidratos, lipídios e proteínas) que são degradados convertendo a energia das ligações químicas em energia térmica.

Entretanto, a liberação térmica não acontece de forma indiscriminada, pois poderia haver uma verdadeira incineração do meio celular caso cada molécula energética liberasse toda sua energia potencial, oriunda das ligações químicas, para o meio. Neste momento, entra em ação moléculas especializadas em captar esta energia térmica para liberá-la mais facilmente em etapas posteriores. A energia liberada no catabolismo presente na intimidade das ligações químicas é transferida para uma única molécula que passa a funcionar como uma moeda energética: a adenosina-tri-fosfato, ou ATP.

O ATP é formado a partir da adição de uma molécula de fosfato inorgânico ($\text{Pi} = \text{HPO}_4^-$) a uma molécula de ADP (adenosina difosfato) em um processo endergônico, ou seja, com a formação de uma molécula que retirou calor do sistema reacional para poder ser sintetizada. (Vieira, 2003).

Este processo armazena uma energia potencial de aproximadamente 7,3 kcal/mol e é facilmente revertido (a ligação química é quebrada) na presença de enzimas especializadas (ATPases), liberando a energia armazenada para o sistema reacional, num processo exergônico.

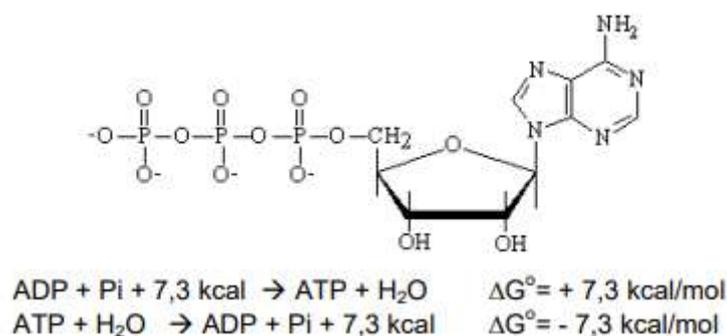


Figura 12 - A moeda de energia ATP. Fonte Vieira (2003)

Em que pese não ser o ATP o único a fornecer calor para reações endotérmicas, há uma preferência do organismo humano em usar essa moeda única energética para os processos energéticos celulares.

Não se pode olvidar que o ATP não é considerado uma molécula eficiente como reserva energética, isto porque as moléculas de fosfato podem ser facilmente arrancadas, sendo, portanto, utilizadas predominantemente em reações que necessitem de liberações rápidas de energia.

Como assevera MOTTA (2005), as melhores moléculas de armazenamento real de energia são o amido, glicogênio e triglicerídeos que podem liberar a principal molécula precursora da síntese do ATP, a acetil-CoA (Figura 13). Esta molécula é responsável por iniciar o principal grupo de reações bioquímicas que desencadearão a síntese de ATP: o Ciclo de Krebs, com a cadeia respiratória acoplada

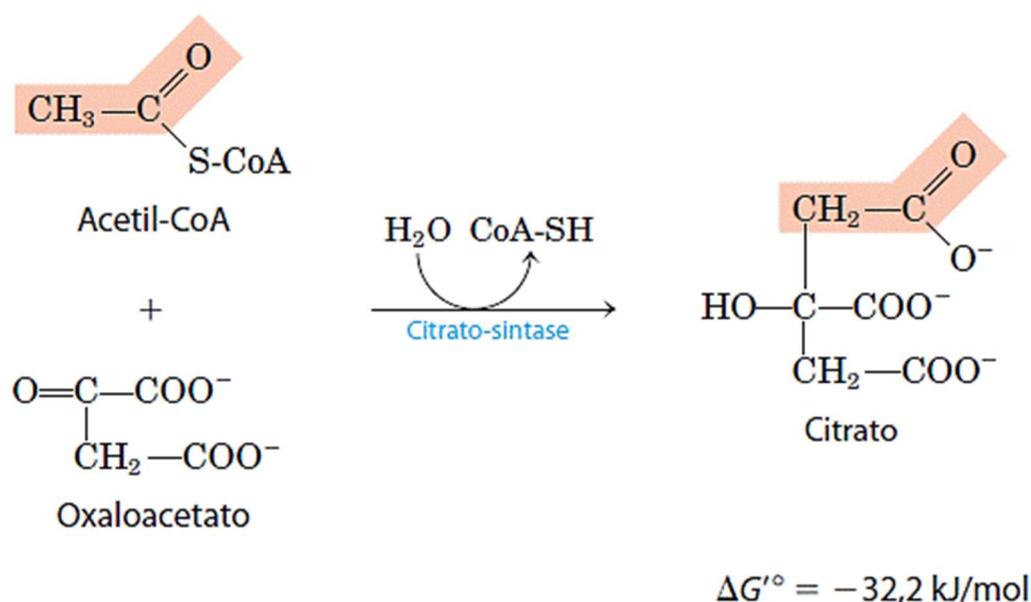


Figura 13-A molécula de acetil-CoA é iniciadora do ciclo de Krebs. Fonte: Vieira (2003)

O acetil-CoA pode ser obtido de variadas maneiras, mas o metabolismo dos carboidratos constitui a principal via, sendo a glicose o principal representante. A degradação da glicose acontece em três etapas.

Primeiro, a glicose passa por um processo anaeróbico de dez etapas, chamado de glicólise, na qual a glicose é quebrada em duas moléculas de piruvato, gerando um pequeno saldo de duas “moedas” de ATP.

Em seguida, com a β -oxidação de ácidos graxos, o piruvato é convertido em Acetil-CoA, iniciando o ciclo de Krebs (figura 14), que opera em oito etapas distintas, cada uma catalisada por um enzima diferente que, ao final, produz mais duas “moedas” energéticas de ATP, além de liberarem gás carbônico e os compostos NADH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo) e $FADH_2$ (flavina-adenina dinucleotídeo).

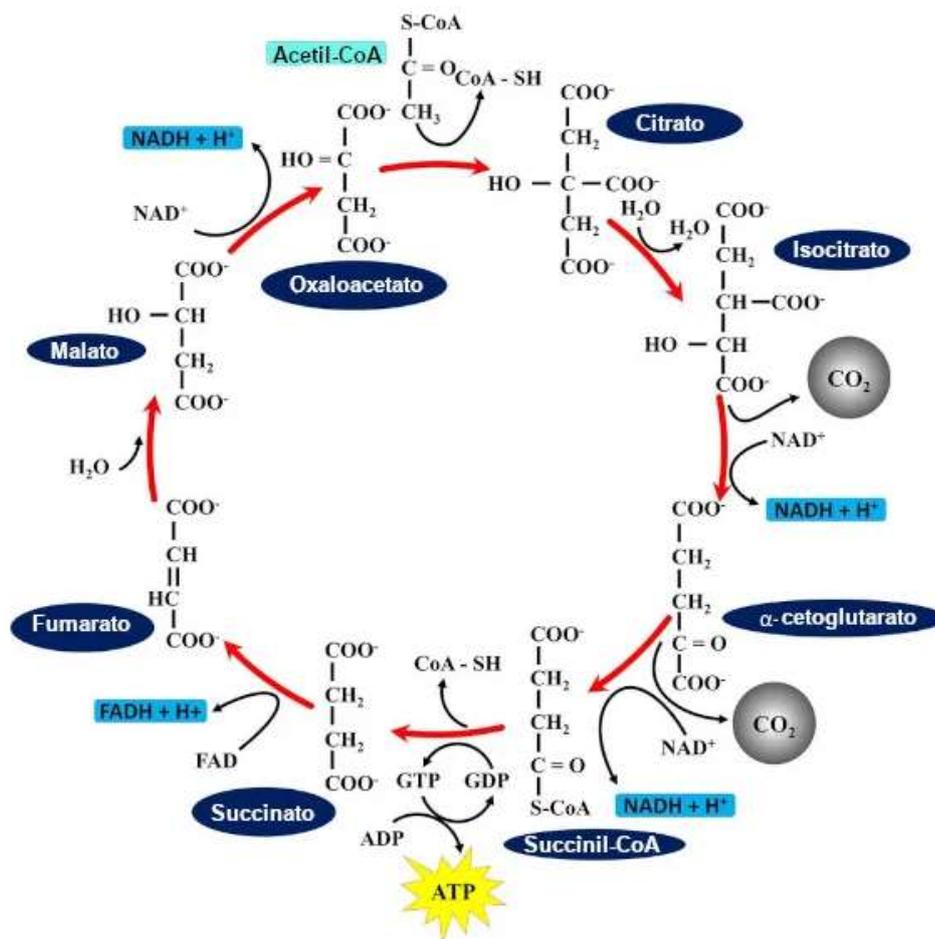


Figura 14 ciclo de krebs. Fonte: Vieira (2003)

Na terceira e última etapa do processo, a chamada Fosforilação oxidativa, elétrons presentes no NADH e no FADH₂ são transportados até o oxigênio por uma proteína chamada de Citocromos. Durante esse processo, os elétrons convertem energia cinética em calor, que é utilizado na síntese da água. Assim, o produto dessa terceira etapa é a formação de água e a liberação de mais 28 ATP. Ou seja, ao longo de todo processo de respiração celular, cada molécula de glicose pode gerar até 32 “moedas” de ATP.

Uma vez obtidas as moléculas de ATP, a partir do metabolismo celular, a extração de parte da energia armazenada na molécula poderá ocorrer com a liberação de um fosfato, num processo de hidrólise da molécula de ATP em ADP (difosfato de Adenosina). Desta forma, cada mol de ATP convertido em ADP (cerca de 507 gramas) pode liberar cerca de 7,3 kcal, ou 14,39 cal/g. Assim, considerando que cada grama de glicose pode gerar até 277 gramas de ATP, após as sucessivas reações químicas, obtemos a quantidade 4 kcal/g de carboidrato.

O ATP não é a única molécula capaz de receber e liberar energia térmica para as reações bioquímicas. A condição primordial para uma molécula ser considerada "altamente" energética é ter a capacidade de transferir grupamentos químicos durante reações bioquímicas, liberando a energia para o meio (reação exergônica). Este processo possibilita que os substratos da reação absorvam esta energia para a geração dos produtos (reação endergônica), com acoplamento entre esses dois tipos de reação. A tabela 1 relaciona as principais moléculas energéticas e os grupos químicos transferidos durante o processo exergônico ou catabólico.

Tabela 1 Moléculas energéticas que participam de processo bioquímicos

MOLÉCULA ENERGÉTICA	GRUPO DE TRANSFERÊNCIA	EXEMPLO DE REAÇÕES QUE PARTICIPAM
ATP (adenosina tri--fosfato) UTP (uridina-tri-fosfato) GTP (guanosina-tri-fosfato) Creatinina-fosfato	fosforil (Pi = fosfato inorgânico)	glicólise, cadeia respiratória, ciclo de Krebs, síntese da creatina
NADH (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) NADPH (NAD-fosfato) FADH ₂ (flavina-adenina-dinucleotídeo)	elétrons, hidrogênio	síntese do ácido láctico, cadeia respiratória, ciclo de Krebs
Acetil-Coenzima A (acetil-CoA)	grupo acil (cadeia carbonada)	ciclo de Krebs, β-oxidação, síntese de aminoácidos e lipídios
Biotina	CO ₂	ciclo de Krebs
Tetra-hidro-folato (THC)	carbono simples	síntese de aminoácidos
Tiamina-pirifosfato (TPP)	aldeído	ciclo de Krebs, síntese de acetil-CoA
S-adenosilmetionina (adoMET)	metil	síntese e degradação de aminoácidos
Uridina-bi-fosfato-glicose	glicose	síntese do amido e glicogênio

5. PODER CALÓRICO DOS ALIMENTOS

Em condições normais, a energia absorvida por via alimentar deve ser igual a energia gasta, diariamente, por um indivíduo, o que confere um equilíbrio energético relacionado a um balanço calórico alimentar, ou seja, uma quantidade tal de alimentos das três classes (energéticos, plásticos e reguladores) que proporcionem quantidades suficientes para as atividades metabólicas básicas do organismo sem deficiências ou excessos de energia significativos. Os alimentos energéticos fornecem a energia necessária para o corpo funcionar adequadamente. Eles incluem carboidratos, gorduras e proteínas. Os alimentos plásticos são responsáveis pela construção e reparação dos tecidos corporais. Eles incluem proteínas e minerais. Por fim, os alimentos reguladores são responsáveis por manter o equilíbrio químico do corpo. Eles incluem vitaminas, minerais e fibras.

Segundo Vieira (2003), o gasto energético de um indivíduo pode ser medido colocando-se o indivíduo em uma câmara isolada onde sejam medidos perdas

de calor e produtos excretados (metabólitos) em relação à alimentação e o consumo de oxigênio, onde um litro de O₂ consumido equivale a 4,83 kcal de energia gasta.

Os carboidratos são a principal fonte energética do nosso corpo, fornecendo cerca de 4,2 kcal/g ao final do processo metabólico. Não se sabe, ao certo, porque o nosso corpo dá preferência à utilização dos carboidratos como principal fonte energética. De acordo com Vieira (2003), uma possível explicação tem ligação com a evolução dos seres vivos: o fato dos carboidratos terem sido os compostos fotossintetizados por plantas que formam a base da cadeia alimentar. Ao realizarem a fotossíntese há conversão da energia eletromagnética proveniente da luz solar em energia química concentrada.

No entanto, os lipídios, embora mais energéticos (cerca de 9 kcal/g), são as fontes secundárias de energia do corpo humano. Os lipídios são compostos primários de reserva energética e seu acúmulo em excesso indica o abuso de calorias na alimentação de um indivíduo. Enquanto os carboidratos fornecem energia imediata e suas conseqüentes reservas de glicogênio duram, no máximo, 24 horas, a partir do jejum absoluto, as reservas de lipídio podem fornecer energia ao corpo por vários dias.

Fornecendo cerca de 4,2 kcal/g, as proteínas são utilizadas somente de forma terciária para a produção de energia porém, possuem inúmeras funções biológicas que as fazem essenciais na alimentação, apesar de serem “desmontadas” em aminoácidos na digestão e sintetizadas, no fígado, em todas as proteínas plasmáticas. Portanto, a utilização de proteínas no metabolismo energético indica um certo desperdício de um substrato tão diferenciado em uma função básica como a produção de energia. Isto só se observa quando há extrema carência energética na ausência de glicose ou lipídios disponíveis para o metabolismo energético ou quando há intensa atividade física.

É por isso que alimentos altamente proteicos são mais indicados (mas não são os únicos) numa dieta para a perda de peso, porque seus aminoácidos além de servirem como fonte de energia, também funcionam como matéria-prima para a síntese de proteínas do organismo. Além do mais, estes alimentos costumam ter digestão mais lenta, levando-se mais tempo e energia para a obtenção de ATP.

É importante também salientar que os músculos têm sistemas diferentes para gerar ATP. Estes sistemas trabalham juntos e em etapas. Logo, diferentes tipos de exercício físicos utilizam diferentes sistemas.

A obtenção de ATP pelos músculos ocorre por meio de três sistemas bioquímicos distintos: 1- sistema fosfagênio (ATP-PC); 2- sistema anaeróbio láctico (Glicólise anaeróbia) e sistema aeróbio (Respiração aeróbica).

No sistema ATP-PC, uma célula muscular possui determinada quantidade de ATP que pode ser usada imediatamente, mas isto é suficiente para durar apenas cerca de três segundos. Para reconstituir rapidamente os níveis de ATP, as células musculares contêm um composto de fosfato altamente energético, chamado de fosfocreatina. O fosfato é extraído da fosfocreatina através da atuação da enzima creatina fosfoquinase, e é transferido para o ADP para produzir novamente a nossa “moeda” de ATP. A célula transforma ATP em ADP e, rapidamente, o fosfato transforma o ADP de novo em ATP. Esse sistema do fosfato pode suprir as necessidades energéticas dos músculos em atividade, mas apenas por 8 ou 11 segundos.

No sistema anaeróbio láctico, os músculos usam suas reservas de um tipo de carboidrato complexo, formado de moléculas de glicose, chamado de glicogênio. A célula quebra o glicogênio em glicose que é usada para produção de “moedas” de ATP na ausência de oxigênio, gerando como subproduto o ácido láctico ou lactato. Daí, o lactato pode servir de substrato na síntese de glicose por meio de um processo denominado gliconeogênese (síntese de glicose a partir de substâncias novas), que pode fornecer energia por até 3 minutos de atividade física.

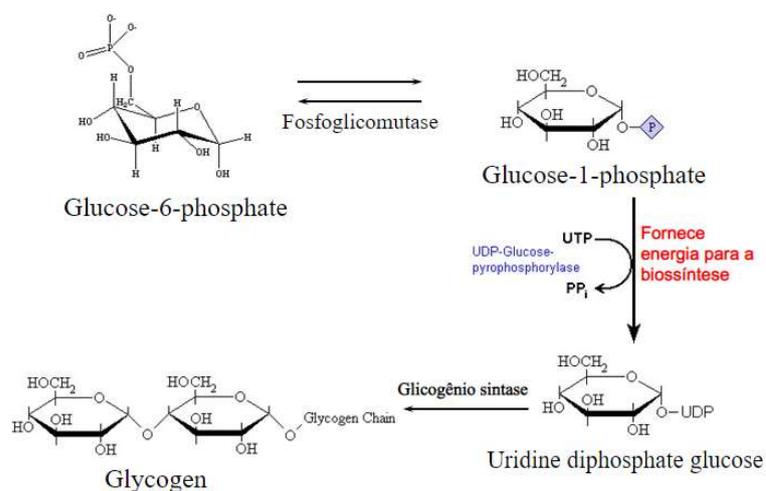


Figura 15 - glicogênese. Fonte Viera (2003)

Além disso, entrará em ação o sistema aeróbico, que já mencionado anteriormente, pela via oxidativa, o ATP é formado na mitocôndria na presença de oxigênio a partir da oxidação de carboidratos, lipídios e proteínas provenientes do próprio músculo ou da corrente sanguínea e os produtos gerados são ATP, CO₂, H₂O, radicais livres e calor.

O sistema oxidativo produz ATP em ritmo mais lento, mas pode continuar o fornecimento por muitas horas, contanto que o suprimento de combustível esteja presente.

6. REVISÃO DA LITERATURA

O presente capítulo apresenta uma revisão de produções acadêmicas correlatas ao tema proposto nesta dissertação, visando ampliar os horizontes do que já foi produzido, fundamentar debates e direcionar os esforços nas experiências positivas de pesquisadores que investigaram a mesma problemática. Foram usadas as seguintes plataformas de pesquisa: Portal de Periódicos da Capes; Scielo Brasil; PUBMED, DOAJ.ORG e a plataforma de produções do MNPEF. Para todas as plataformas de pesquisa foram usados filtros relacionados com periódicos de Ensino de Física ou Ciências; obesidade e emagrecimento.

Pensando nas problemáticas apresentadas na dissertação, foram selecionados artigos que se relacionavam com o ensino de Termodinâmica e com o combate à obesidade. Nas linhas que se seguem, trazemos um breve resumo dos artigos selecionados:

- Atualmente, a metodologia para ensinar física no Ensino Médio ainda está fortemente ligada ao modelo instituído na educação básica no período colonial. Essa metodologia com o uso de livros didáticos (massivamente matemático e abstrato), quadro e giz, resulta em uma aprendizagem pouco significativa e tediosa comparada ao método de ensino de Ausubel. Nesse contexto, a dissertação **Construindo um balão de ar quente: Uma sequência didática para a aprendizagem significativa dos conceitos de termologia** (Silva, Francisco Leonardo Lopes, 2021), o autor propõe a elaboração de um produto educacional em forma de livro eletrônico, com uma oficina de construção de balões de ar quente. Estes são utilizados como organizador prévio para a ancoragem dos conceitos no assunto e possibilita ofertar atividades práticas, motivar e engajar os alunos para as aulas de Física.
- Na dissertação **O ensino da termodinâmica sob a perspectiva ciência, tecnologia e sociedade (CTS) e da interdisciplinaridade dela decorrente** (Vieira, Wagner da Costa, 2020), o autor aduz que a contextualização e a interdisciplinaridade dos conteúdos ensinados, com um enfoque social e um ensino voltado à cidadania, pode produzir mudanças na vida dos alunos,

contrapondo-se ao modelo tradicional que ocorre na maior parte das escolas brasileiras.

- No artigo **O ensino classificatório do metabolismo humano** (Maurício R.M.P. Luz e Andrea T. Da Poian, 2005), os autores acreditam que uma compreensão integrada dos processos de produção de energia (ou ATP) pelas diferentes células e tecidos seja de extrema relevância tanto no ensino fundamental (EF) quanto no ensino médio (EM), especialmente quando se deseja ensinar temas como dietas para emagrecimento, o exercício físico e o uso de hormônios anabolizantes.
- A obesidade infantil é um grave problema de saúde pública. A obesidade infantil e o sobrepeso estão associados ao aparecimento de transtorno de déficit de coordenação e podem causar prejuízo no desempenho motor. No artigo ***Effects of Overweight/Obesity on Motor Performance in Children: A Systematic Review*** (Barros WMA, da Silva KG, Silva RKP, Souza APDS, da Silva ABJ, Silva MRM, Fernandes MSS, de Souza SL, Souza VON), os autores Pesquisaram bancos de dados online como o Medline PubMed Institute, Web of Science, ScienceDirect, SCOPUS e PsycINFO até 20 de dezembro de 2020. No geral, foram analisados 33 estudos. A revisão demonstrou que crianças com maior percentual de gordura corporal apresentaram menores níveis de atividade física moderada a vigorosa, bem como níveis reduzidos de coordenação motora grossa, conforme demonstrado por testes de desempenho neuromuscular. Esses resultados corroboraram a hipótese de que o sobrepeso e a obesidade em crianças aumentam potencialmente a persistência da obesidade em adolescentes.
- A obesidade infanto-juvenil é atualmente um problema de saúde pública mundial e vem aumentando de forma alarmante na população brasileira, mostrando sua relevância em termos de saúde pública. No artigo **Prevalência de Sobrepeso e Obesidade em Crianças e Adolescentes na Faixa Etária de 2 a 19 Anos no Brasil** (Janaina R. Niehues,¹ Ana Inês Gonzales,^{1,2} Robson R. Lemos,¹ Poliana Penasso Bezerra,¹ e Patrícia Haas), os autores concluíram que a maior prevalência de sobrepeso foi

encontrada nas regiões sul (25,7%) e norte (28,8%) do país, e obesidade nas regiões sudeste (15,4%) e sul (10,4%). Os autores concluíram que as prevalências de sobrepeso e obesidade diminuíram à medida que ocorreu aumento da faixa etária, e que entre os pré-escolares restou evidenciado a prevalência de sobrepeso semelhante, independente das condições socioeconômicas. Com efeito, foi possível verificar uma prevalência da obesidade maior entre escolares de boas condições socioeconômicas e adolescentes de baixa condição socioeconômica.

- No artigo **Obesidade na adolescência e seus principais fatores determinantes** (Enes, Carla Cristina; Slater, Beltzabeth, 2010), as autoras levantaram os principais fatores ambientais diretamente relacionáveis ao sobrepeso e à obesidade em adolescentes, fundamentando-se em uma revisão crítica sobre assunto. As autoras concluíram que as variáveis relacionadas ao padrão alimentar e às atividades físicas devem ser priorizadas nas intervenções voltadas à prevenção da obesidade entre adolescentes.
- No artigo **Prevalência de sobrepeso e obesidade em crianças e adolescentes brasileiros: uma revisão sistemática** (Pelegri, Andreia; Bim, Mateus Augusto; Sousa, Fernanda Ulsula de; Kilim, Karoline Sisnandes da Silva e Pinto, André de Araújo, 2021), os autores observaram que a prevalência de sobrepeso em crianças e adolescentes brasileiros variou de 8,8% a 22,2% (meninos: 6,2% a 21%; meninas: 6,9% a 27,6%); e a obesidade variou de 3,8% a 24% (meninos: 2,4% a 28,9%; meninas: 1,6% a 19,4%). Aduziram, ainda, que os fatores socioeconômicos (sexo, cor da pele, nível econômico, região, escolaridade da mãe, morar em casa alugada e sem acesso à internet), hereditários/genéticos (histórico familiar de dislipidemia e excesso de peso e genótipo rs9939609) e comportamentais (atividade física, tempo de tela, hábitos alimentares, peso corporal percebido, vulnerabilidade à saúde, presença de resultado próximo a casa, bebida alcoólica, consumo de cigarro) estiveram de algum modo associados ao desfecho. Os autores concluíram que as prevalências de sobrepeso e obesidade entre crianças e adolescentes brasileiros são preocupantes e a maioria dos fatores associados aos desfechos

está sujeita a mudanças a partir da adoção de um estilo de vida saudável.

7. METODOLOGIA

7.1. Elaboração do Produto Educacional

A sequência educacional proposta neste trabalho foi estruturada em nove aulas que tratam de temas como balanço energético, dietas alimentares e emagrecimento, conectadas aos conceitos apresentados na termodinâmica no Ensino Médio (veja o apêndice C, pág. 96).

A perspectiva apresentada nessa sequência didática está focada no modelo de aprendizagem baseada no processamento da informação, encontrada nos trabalhos de Ausubel, envolvendo os processos mentais das estruturas cognitivas, bem assim nas ideias de Paulo Freire sobre a autonomia. Nesse diapasão, foram propostas situações-problema que sugerem a aplicação da termodinâmica em situação do cotidiano, com o objetivo de dar autonomia tanto no processo de aprendizagem quanto no processo de emagrecimento e prevenção de obesidade, não se olvidando da necessidade de acompanhamento médico-nutricional durante todo o eventual processo de emagrecimento.

Dentro do viés educacional contemporâneo, é importante que a aprendizagem seja realmente significativa e que educação se afaste do padrão ainda hoje vigente, qual seja, a ‘educação bancária’ de Paulo Freire. Nessa seara, é importante que a formação do aluno, antes de tudo, permita a sua integração com a sociedade; permitindo, ao aluno, a transformação do conhecimento científico em tecnologia útil e bem-estar social.

Nessa esteira, foi elaborado o livro paradidático “A termodinâmica e o Marombeiro”, que apresenta uma proposta de utilizar os conceitos da termodinâmica nas aulas de física, visando a discussão e o combate da obesidade infantil, de forma lúdica, com fulcro nos famosos “temas geradores” de Paulo Freire. Essa proposta, possibilita um maior engajamento do aprendiz no processo de aprendizagem, conferindo-lhe real autonomia e protagonismo.

Foram propostas situações-problema para cada aula e com nível de complexidade crescente com o intuito de resgatar conhecimentos prévios que se

relacionasse com o novo conhecimento e funcionasse como organizador prévio num primeiro instante. Posteriormente, este organizador prévio possibilita a diferenciação progressiva dos conceitos na estrutura cognitiva do estudante, servindo de degrau para a próxima situação-problema promovendo, assim, uma reconciliação integradora entre o que se sabia com o novo conhecimento.

As avaliações de aprendizagem foram pautadas ao longo das aulas, nas atividades dialógicas mediadas pelo professor em enquetes rápidas e numa avaliação individual final que permitisse refletir a aprendizagem do aluno.

7.2. Aplicação do Produto Educacional

A aplicação do seguinte produto educacional ocorreu no colégio Santa Luzia, localizado no município de Luziânia-GO, com alunos da terceira série do ensino médio regular, no turno matutino. A turma escolhida é composta de 32 alunos matriculados, na faixa etária de 17 e 18 anos, que se encontravam em processo revisional para as provas do ENEM de 2022.

É importante ressaltar que o presente produto educacional foi elaborado para ser aplicado após o ensino das leis da termodinâmica. Nessa esteira, os alunos precisam estar familiarizados com os conceitos de termodinâmica, a fim de compreenderem os termos e as ideias apresentadas.

7.2.1 Primeiro e Segundo Encontro

O primeiro e o segundo encontro da aplicação da sequência didática ocorreram em sala de aula convencional, com a presença de todos os alunos matriculados na terceira série do ensino médio regular.

Inicialmente, após uma breve roteirização sobre a aplicação do presente produto educacional, momento em que foram apresentados o objetivo e o cronograma de aplicação do produto, o método de avaliação e como poderiam acessar ao livro digital, foi aplicado o questionário diagnóstico (apêndice A, pág. 90), a fim de se levantar os principais subsunçores físicos adquiridos, com o escopo de se obter, a

partir daí uma aprendizagem realmente significativa. Os subsunçores relacionados ao calor, trabalho e energia estavam presentes na maioria dos alunos.

Na sequência, os alunos foram organizados em um semicírculo, no formato mesa-redonda, objetivando-se extrair dos discentes suas visões críticas acerca da obesidade e de possíveis políticas públicas para o enfrentamento desta pandemia. Foi exposto, via Datashow, o painel da ONU para a obesidade, momento em que foram realizadas ponderações sobre o mapa da obesidade no Brasil, disponível no link: <https://abeso.org.br/obesidade-e-sindrome-metabolica/mapa-da-obesidade/>.

Em seguida, foi apresentado a situação-problema 1, com o seguinte tema gerador: **“Como o estudo da termodinâmica pode ajudar a resolver o problema da obesidade?”**. Os discentes foram deixados livres para se manifestarem, tendo o professor o papel de mediador.

Por fim, foi distribuído, via aplicativo *whatsapp*, a versão digitalizada do livro *“A termodinâmica e Marombeiro”* e os alunos foram orientados a lerem, para a próxima aula, a integralidade do texto ou, pelo menos, as páginas de 1 a 29 do livro-texto.

7.2.2 Terceiro Encontro

O terceiro encontro da aplicação da sequência didática também ocorreu em sala de aula convencional, com a presença de todos os alunos, e se iniciou com a proposição da situação-problema 2: **Como o nosso corpo consegue energia?**

Novamente, os alunos foram organizados em semicírculo, a fim de viabilizar uma conversa mediada sobre o processamento de energia pelo corpo humano.

Após ouvir algumas respostas à situação-problema 2, foi exibido o vídeo acostado na plataforma *Youtube*, sob o link: <https://www.youtube.com/watch?v=w1MHARNDt40>. O referido vídeo reproduz uma

experiência do calorímetro, que tem por objetivo avaliar a quantidade de energia disponibilizada por alguns alimentos.

Na parte final da aula, com base nos argumentos apresentados no livro “*A termodinâmica e o Marombeiro*”, os alunos foram orientados a calcular o próprio metabolismo basal, usando a fórmula de bolso, apresentada no livro-texto. Em seguida, foram questionados sobre a importância do conhecimento desse dado no processo de emagrecimento.

Para o quarto e quinto encontros, os alunos foram orientados a lerem as páginas de 30 a 55 do livro-texto, além de trazerem uma fita métrica para a tomada de medidas antropométricas.

7.2.3 Quarto e Quinto Encontro

No quarto e quinto encontro, as aulas se iniciaram com a apresentação da situação-problema 3: **“Como encontrar a minha composição corporal e desenvolver o meu déficit calórico?”**

Estabelecido o esquema “mesa-redonda”, os discentes foram estimulados a dizer como poderiam encontrar a composição corporal deles usando argumentos físicos (densidade, eletromagnetismo, etc.). Foram questionados também acerca das implicações da entropia no corpo humano e como poderiam usar essas implicações a favor do processo de emagrecimento.

Durante a mediação acima, foram expostas as equações da página 42 do livro *A termodinâmica e o Marombeiro*, momento em que os alunos foram estimulados a calcular a própria composição corporal, usando fita métrica e calculadora.

Os alunos ainda foram estimulados a refletir sobre as equações do rendimento de uma máquina, que foram expostas no quadro branco, no contexto do corpo humano.

Por fim, com base na equação da página 52, os alunos foram questionados acerca do gasto calórico de algumas atividades físicas e a importância da prática regular de atividades físicas aeróbicas no processo de emagrecimento e bem-estar físico e emocional.

Usando a equação do rendimento de uma máquina, os alunos foram estimulados a calcular a energia que o corpo precisa para executar algumas atividades físicas aeróbicas e anaeróbicas, com o escopo de se obter o gasto energético total (GET).

Os alunos foram orientados a ler restante do livro-texto para as próximas aulas.

7.2.4- Sexto Encontro

No sexto encontro, as aulas se iniciaram com a apresentação da situação-problema 4: “Afinal, a gente emagrece no frio? **Como potencializar o emagrecimento com o controle térmico do ambiente?**”

Antes da formação do semicírculo para viabilizar a conversa mediada, foi feito um breve resumo sobre a lei de Stephan-Boltzmann e como essa lei poderia ser usada para o cálculo do gasto energético total e para a criação de um déficit calórico.

Logo após, foi iniciado a mediação sobre como potencializar o emagrecimento usando o controle térmico do ambiente e a eventual eficácia dos famosos termogênicos.

Por fim, os alunos foram estimulados a se posicionar acerca de atividades físicas em piscinas frias. Qual é o risco da hipotermia? Existem benefícios em praticar atividades em piscinas frias?

7.2.5- Sétimo e Oitavo Encontro

O sétimo e o oitavo encontro da aplicação da sequência didática ocorreu em sala de aula convencional, com a presença de todos os alunos matriculados na terceira série do ensino médio regular. Os alunos, inicialmente, foram orientados a analisar criticamente o filme: “*Las Leyes de la Termodinámica*”, que propõe uma eventual aplicação das leis da termodinâmica no amor.

Em seguida, foi proposta uma análise crítica acerca do **charlatanismo científico**. Foi necessário o apoio de outro professor para a concessão de alguns minutos para o encerramento da discussão proposta.

7.2.6- Nono Encontro

No nono e último encontro, os alunos foram estimulados a responder o questionário avaliativo (apêndice B, pág. 93).

8. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando os resultados obtidos com a aplicação deste produto educacional, observa-se elementos subjetivos que sugerem um aumento de aprendizagem, especialmente quando analisamos os índices de participação e interesse nas aulas durante a aplicação do produto, especialmente nos momentos de discussão mediada.

O gráfico 1, abaixo, destaca o grau de participação dos alunos da terceira série, com 33 alunos matriculados e frequentes, durante a formação da mesa-redonda, durante o processo de conversa mediada. Este levantamento foi obtido a partir das participações individuais nas discussões de sala. Qualquer fala individual dos alunos nas discussões de sala representa a participação positiva. Caso o aluno não tenha contribuído verbalmente, sua participação foi registrada como negativa.

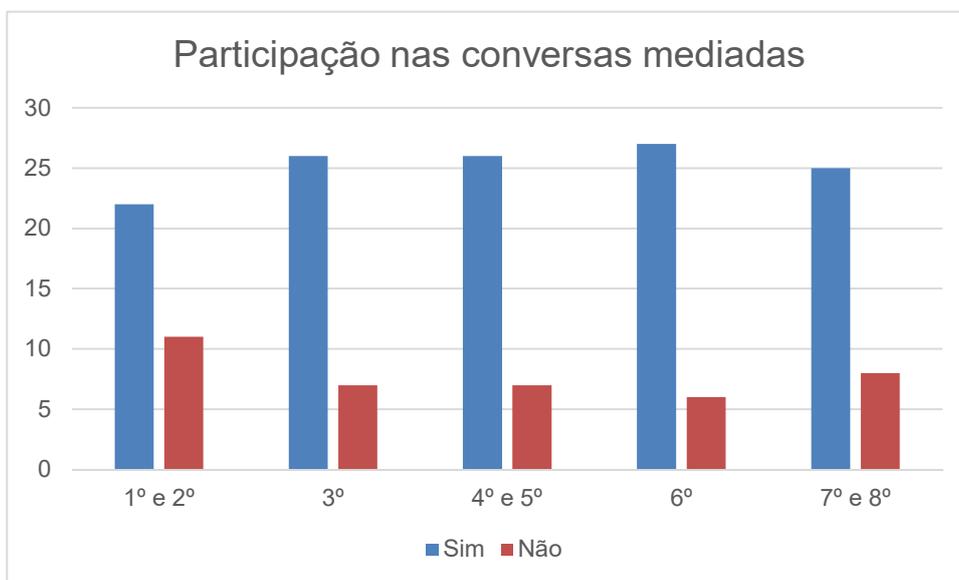


Figura 16 participação dos alunos durante as conversas mediadas.

Verifica-se, pelo gráfico da figura 15, que o índice de participação durante as atividades de conversa mediada manteve-se elevado, havendo, inclusive, atingindo seu ápice no sexto encontro. O resultado acima surpreende, especialmente considerando o histórico da mesma turma em outros momentos didáticos ao longo do

ano letivo.

Imediatamente após a abertura da sequência didática, foi possível perceber que o tema do livro paradidático chamou muito a atenção dos alunos, que ficaram ansiosos para trazer à baila seus posicionamentos sobre a obesidade e o emagrecimento. A propósito, os temas geradores escolhidos durante a execução deste produto convergiram com os assuntos de interesse dos mesmos, o que, por si só, ensejou um elevado engajamento na proposta apresentada e, sem dúvida, é um dos elementos necessários à aprendizagem significativa.



Figura 17- registro do primeiro encontro, no formato "mesa-redonda".

Registro, inclusive, que durante a primeira mediação, sob a situação-problema 1, um aluno, ao se manifestar, aos prantos, relacionou sua dificuldade em emagrecer às crescentes pressões do dia-a-dia e ao *bullying* que frequentemente sofre por estar em sobrepeso.

A aplicação do questionário diagnóstico (apêndice A) permitiu o levantamento dos principais subsunçores em física. Por ser uma turma de terceiro ano do ensino médio, era de se esperar que conceitos como temperatura, calor, energia, entropia já estivessem bem fixados no substrato cognitivo dos discente (questões 1, 2, 3 e 5 do apêndice A), mas não foi isso que a pesquisa revelou. Vejamos:

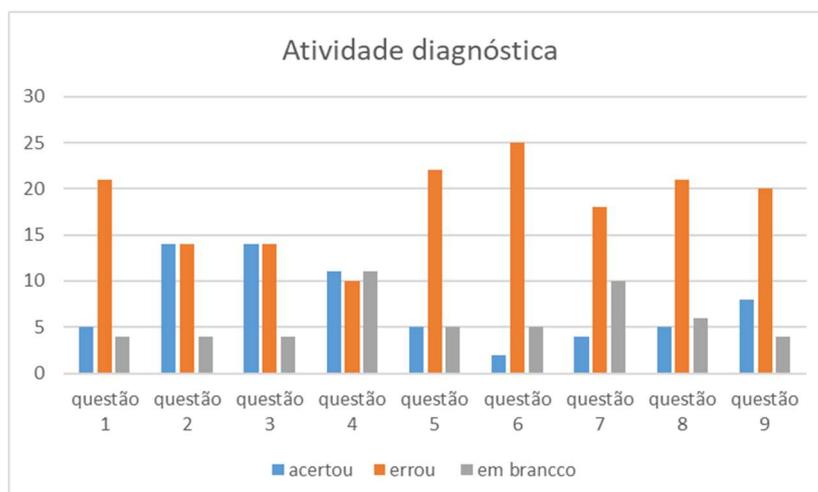


Figura 18- atividade diagnóstica



Figura 19- escore da atividade diagnóstica

Verifica-se, pelos resultados acima, que os conceitos de energia e sua conservação ainda não estavam bem definidos no repertório da turma e o conceito de entropia (questão 2 e 3) foi corretamente apontado por menos da metade da Turma.

As questões 4 e 6 são inconclusivas, pois tratam do mesmo tópico (máquinas térmicas), mas apresentam resultados muito discrepantes. Aparentemente, o conceito de entropia e segunda lei da termodinâmica não estão claros no substrato cognitivo da turma. Em que pese a aparente confusão de conceitos, operacionalmente, a maioria da turma conseguiu realizar o cálculo do

rendimento de uma máquina térmica.

O escore da atividade diagnóstica, figura 18, foi obtido tomando-se o percentual total de acertos (número de acertos/ número de questões), o percentual total de erros (número de erros/número de questões) e o percentual total de questões deixadas em branco (número de questões em branco/número total de questões).

Em que pese o resultado ter surpreendido, por se tratar de uma turma no ciclo final do ensino médio, na iminência de prestar o ENEM, uma possível explicação seja o lapso temporal entre a apresentação inicial desses conteúdos (2º ano do Ensino Médio) e o momento da aplicação do produto (final do 3º ano – novembro de 2022), revelando, assim, que não houve, de fato, aprendizagem significativa (perene) da termodinâmica durante o curso regular do segundo ano do Ensino Médio. Em casos assim, é profícuo uma breve revisão (recuperação) dos conceitos necessário antes da aplicação do presente produto.

Da análise do questionário diagnóstico, também foi constatado um grande desconhecimento pelos discentes do processo de emagrecimento. Os alunos não conheciam claramente os conceitos de metabolismo basal, gasto energético total, déficit calórico e não conseguiam relacionar esses conceitos com o emagrecimento. (questões: 7, 8 e 9, apêndice A, pág. 90).

O terceiro encontro se iniciou com um tema gerador de real interesse, que promoveu um grande engajamento durante a mesa-redonda. Foi possível perceber, pela reação dos alunos, que o experimento do calorímetro exibido em vídeo foi muito esclarecedor e auxiliou os alunos a entender a diferença energética dos principais grupos alimentares.

O ponto alto do terceiro encontro foi a atividade prática do cálculo do metabolismo basal e gasto energético. A participação massiva dos alunos evidenciou o elevado grau de interesse no tema gerador, elemento fundamental para a aprendizagem.

No primeiro momento dos encontros quatro e cinco, os alunos foram estimulados a pensar nos efeitos da entropia no corpo humano. Verificamos que, em

que pese a complexidade e a abstração da grandeza entropia, aplicá-la ao corpo humano deu significado a este importante construto físico. Foi possível medir a participação dos alunos quando sugerimos aplicações da segunda lei da termodinâmica no processamento da energia pelo corpo humano.

No segundo momento do 4º e 5º encontro, os alunos foram instigados a propor maneiras físicas de se calcular a composição corporal. Muitos alunos conseguiram relacionar fenômenos hidrostáticos com o cálculo efetivo da composição corporal. Mais uma vez, notamos que o ponto alto destes encontros foram os cálculos antropométricos. Foi interessante comparar os resultados obtidos pelos alunos com os fornecidos por uma balança de bioimpedância. Os alunos acharam os resultados compatíveis com os informados pela balança. No entanto, alguns resultados foram bem divergentes, oportunidade em que foi levantado uma questão secundária sobre o motivo da divergência. No final, houve consenso de que os métodos de avaliação corporal são distintos e independentes e que o desejável é usar apenas um método para fins de acompanhamento.



Figura 20- cálculo antropométrico (à esquerda) e bioimpedância (à direita)

O primeiro momento do sexto encontro se iniciou com uma revisão sobre a lei da radiação de Stefan-Boltzmann. Em seguida, os alunos foram estimulados a raciocinar sobre a influência da temperatura do meio ambiente (vizinhança) no gasto calórico. Notamos que as respostas convergiram para indicar que a temperatura da vizinhança faz diferença na estimativa do gasto calórico total.

Tentamos, também, relacionar o aumento do consumo energético pelo corpo humano com o uso de termogênicos e também com o aumento das atividades físicas. Nesse momento, os alunos começaram a propor estratégias variadas para a potencialização do déficit calórico.

Nos encontros 7º e 8º os alunos participaram ativamente sobre a situação-problema 5. O gráfico abaixo (figura 20) ilustra a opinião dos alunos acerca do tema gerador:



Figura 21- 1ª enquete sobre a abrangência da termodinâmica.

No segundo momento dos encontros 7º e 8º, os alunos assistiram ao filme: “*Las Lays da Termodinâmica*”. Durante a exibição do filme, constatou-se que os alunos estavam concatenando as ideias propostas no filme com as discussões anteriores. Em alguns momentos da exibição, pequenas intervenções foram necessárias para organizar as ideias e evitar a dispersão.

No terceiro momento dos encontros 7º e 8º, uma mesa-redonda foi iniciada acerca dos limites do conhecimento científico. Após a conversa mediada, veja

a opinião dos alunos sobre a mesma pergunta da situação-problema 5:



Figura 22- 2ª enquete sobre a abrangência da termodinâmica.

O resultado acima (figura 21) indica que a exibição do filme e a conversa mediada apenas fortaleceu o convencimento dos alunos de que as emoções podem ser explicadas pelas leis da termodinâmica. Embora o resultado acima seja surpreendente, muitos alunos argumentaram sobre os possíveis efeitos da física quântica na compreensão das emoções, o que mostra que os alunos são altamente influenciados pelo que se divulga nas mídias e redes sociais. De fato, é necessário forte combate por parte dos docentes, a fim de ajudar os alunos a identificarem o charlatanismo científico, tão difundidos atualmente.

No derradeiro encontro, foi aplicado o questionário avaliativo (apêndice B, pág. 93), com o escopo de medir o nível de aprendizagem após a aplicação da sequência didática:

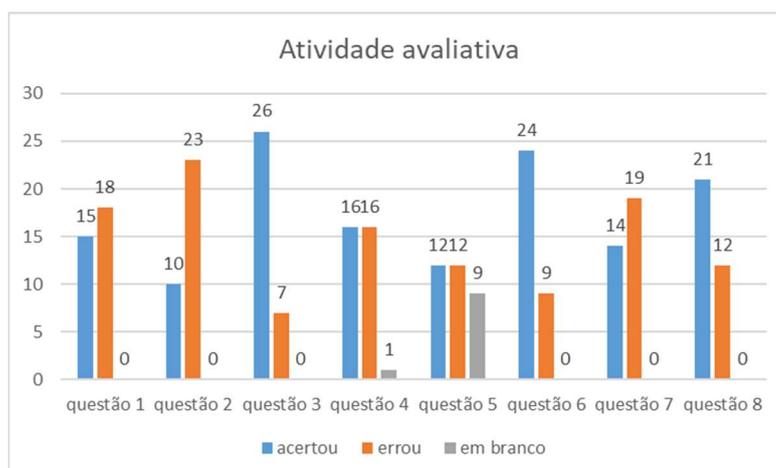


Figura 23- atividade avaliativa



Figura 24- score da atividade avaliativa

O score da atividade avaliativa, figura 23, foi obtido tomando-se o percentual total de acertos (número de acertos/ número de questões), o percentual total de erros (número de erros/número de questões) e o percentual total de questões deixadas em branco (número de questões em branco/número total de questões).

Os dados acima nos permitem concluir que a aplicação do produto foi um sucesso. Comparando os escores da atividade diagnóstica (figura 18), com a atividade avaliativa (figura 23), verifica-se, no geral, um aumento de 28 pontos percentuais após a aplicação do produto. É possível também inferir que o nível de

interesse dos alunos aumentou. Na avaliação diagnóstica, 18% das questões foram deixadas em branco, sem qualquer tentativa de resposta. Na avaliação avaliativa, o índice de questões em branco foi apenas de 4%. Estes resultados sugerem que um aumento de aprendizagem, e também um aumento de interesse e interação da turma com o tema abordado, fato que foi percebido durante toda a execução do produto.

Quando analisamos as respostas às questões do questionário avaliativo, (figura 24), percebemos quais foram os indicadores mais beneficiados pelo produto aplicado. As questões 1, 4, 5 e 6 (apêndice B, pág. 93) estão intrinsecamente relacionadas ao emagrecimento. Nessas questões, no geral, a turma conseguiu identificar os principais fatores que influenciam no processo de emagrecimento. Os dados nos permitem dizer que mais da metade dos alunos conseguiram relacionar a termodinâmica com o processo de emagrecimento. As respostas à questão 6 indicam exatamente isso. Dos 33 alunos avaliados, 24 conseguiram dar uma resposta física ao processo de emagrecimento. Vejamos algumas dessas respostas:

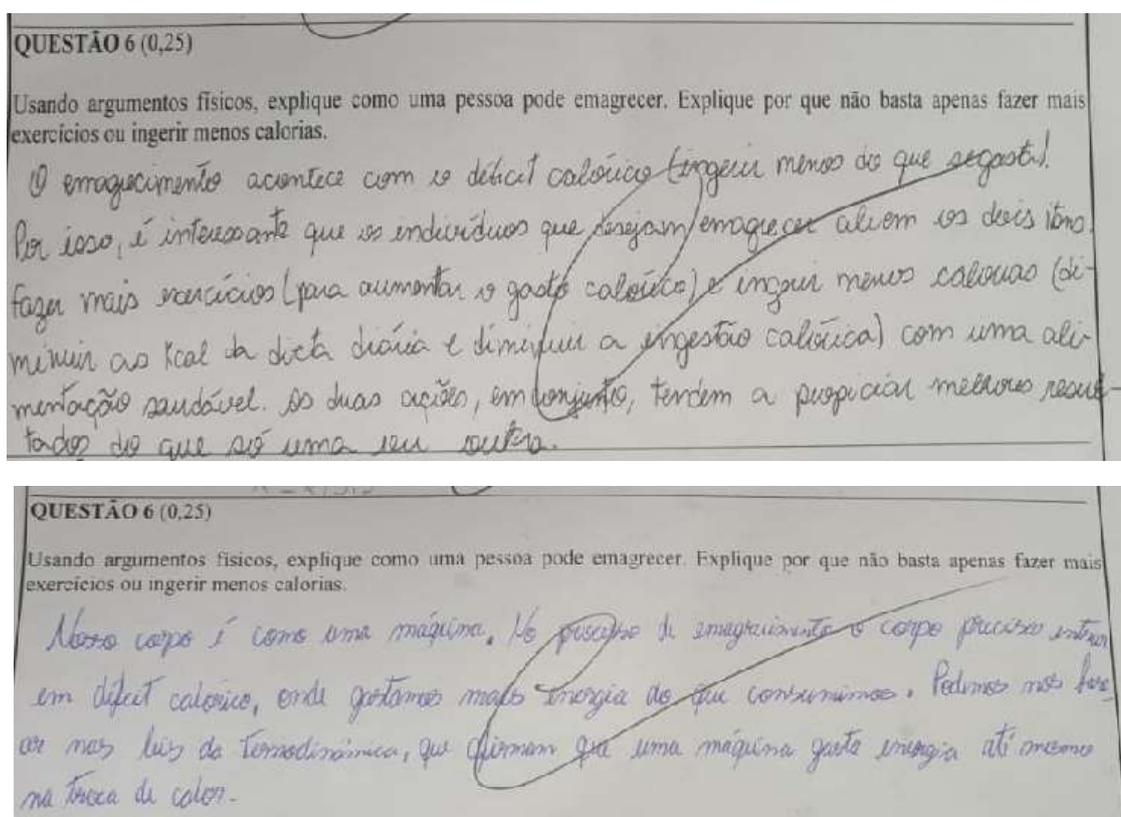


Figura 25- resposta de alguns alunos à questão 6 da atividade avaliativa.

As questões 3, 7 e 8 são de termodinâmica em *stricto* (apêndice B, pág.

93). Verifica-se que os conceitos básicos das leis da termodinâmica foram apreendidos pela turma, o que não se verificava antes da aplicação do produto, relevando, assim, a possibilidade real de o presente produto educacional ser útil para incrementar o aprendizado de termodinâmica.

Com relação às questões 2 e 4 da atividade avaliativa (apêndice B, pág. 93), surpreendentemente, verificamos uma estabilidade, com tendência de queda, no nível de percepção prática dos conceitos de física apresentados. Essas questões tratam da aplicação direta das leis da termodinâmica no processo de emagrecimento. Esperava-se que após a aplicação do produto, a maioria dos alunos conseguissem aplicar a equação do rendimento de uma máquina térmica para calcular a energia total dispensada pelo corpo para a realização de atividades físicas, mas o que se observou foi que apenas 14 alunos conseguiram relacionar esses conceitos corretamente. Acreditamos que seja necessário dedicar mais tempo, dando exemplos práticos, para que os alunos consigam, de fato, concatenar essas ideias, com o escopo de calcular o gasto energético total do corpo humano.

A questão bônus da atividade avaliativa, perguntou aos alunos se na visão deles o livro “a termodinâmica e o marombeiro” seria útil para o combate à obesidade. Vejamos algumas respostas:

QUESTÃO BÔNUS

O que você achou da leitura do livro: "A Termodinâmica e o Marombeiro"? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

Achei o livro, pois possui informações relevantes sobre o corpo humano, como calcular seu gasto energético. O livro te ajuda a entender o funcionamento dessa máquina tão complexa que é o nosso corpo. De uma forma bem didática, o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil, porque explica a teoria e a prática dos leis da termodinâmica, a conservação e a teoria de energia necessária e o gasto calórico ideal.

QUESTÃO BÔNUS

O que você achou da leitura do livro: "A Termodinâmica e o Marombeiro"? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

O índice de obesidade no mundo tem sido um fator preocupante e desafiador. O livro em questão mostra de forma fática e objetiva, com base em afirmações físicas, como nós podemos combater esse embrião. Dessa forma, o livro pode adquirir alguma importância quanto à conscientização acerca de medidas que, de fato, combatem o sobrepeso.

QUESTÃO BÔNUS

O que você achou da leitura do livro: "A Termodinâmica e o Marombeiro"? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

Gestei bastante do livro, entendi coisas que não entravam na minha cabeça desde o começo do Ensino médio, me senti lá dentro e calculei meu metabolismo basal através do livro e das suas aulas sobre. Comecei a me interessar mais sobre essas coisas. Acho que pode ser útil no enfrentamento da obesidade infantil, porque os números são preocupantes e as pessoas não têm ideia disso, quando vemos e se emergem como obesos vão querer mudar.

QUESTÃO BÔNUS

O que você achou da leitura do livro: "A Termodinâmica e o Marombeiro"? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

Achei a leitura do livro incrível. Esse livro pode ser bastante útil para combater a obesidade infantil, pois ele retrata uma história real, juntando a física e a vida pessoal de forma genial.

Figura 26- percepção de alguns alunos com relação ao livro "A termodinâmica e o marombeiro".

Como se depreende das respostas acima, a turma considerou útil a leitura do livro “a termodinâmica e o marombeiro”, especialmente como forma de enfrentamento à obesidade. Com efeito, o livro paradidático tem potencial para influenciar o leitor, pois possui leitura atraente e motivadora.

As repostas apresentadas acima reforçam, também, o potencial do tema abordado no presente produto educacional para a promoção de uma aprendizagem significativa de termodinâmica. O tema proposto gera, por si só, uma real motivação para a aprendizagem, o que restou evidenciado durante toda a aplicação do produto. Verificamos o interesse e o comprometimento dos alunos durante toda a execução do produto, especialmente nos momentos de discussão livre.

9. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

O resultado deste trabalho de pesquisa revela o potencial do presente produto educacional na promoção de uma aprendizagem significativa das leis da termodinâmica.

A proposta de nosso trabalho foi a elaboração de um objeto de aprendizagem que relacionasse a termodinâmica ao corpo humano, atacando simultaneamente dois problemas: a obesidade e o desinteresse na aprendizagem de termodinâmica. Como se mostrou, na presente pesquisa, o ensino da termodinâmica pode ser uma aliada no combate à obesidade juvenil, por propor estratégias científicas que poderão ensejar numa conscientização social acerca da obesidade e na possibilidade de seu enfrentamento.

Ao logo da aplicação do produto educacional, verificamos um engajamento, por parte dos alunos participantes, jamais vistos anteriormente ao longo do ano de 2022. Desde o primeiro encontro, os índices de participação surpreenderam, havendo momentos em que a intervenção do professor se limitava a controlar o grande fluxo de posicionamentos.

De fato, é de estreme importância o enfrentamento à obesidade, uma vez que um percentual cada vez maior de jovens deixa a barreira da normalidade para se tornarem sobrepesos e obesos, e a informação científica é um instrumento útil para uma conscientização construtiva acerca do problema.

O livro paradidático, “a termodinâmica e o marombeiro” atinge seu objetivo por trazer informações científicas de forma leve e atraente, trazendo uma aplicação tecnológica para a termodinâmica, resultando numa aprendizagem significativa.

O resultado obtido com aplicação do produto comprova a eficácia do presente produto educacional para a promoção da termodinâmica, para a iniciação científica e para o enfrentamento da obesidade juvenil. Embora o produto tenha sido aplicado numa turma relativamente pequena, acredita-se que o potencial motivador do livro paradidático, por si só, indica a possibilidade de sucesso se aplicado em

escala maior.

Infere-se, ainda, que o livro paradidático tem potencial para ser incluído no currículo escolar brasileiro, como estratégia de enfrentamento à obesidade. No entanto, novos estudos poderão indicar com mais precisão essas e outras questões relacionadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, D. N. (1989). **Psicologia educativa**. México: Trilhas.
- AUSUBEL, D. P. (2003). **Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva. Revisão científica de victor duarte teodoro**. Tradução de Lígia Teopisto. Lisboa: Paralelo Editora, LTD.
- AUSUBEL, D. P., & HANSESIAN, H. (1980). **Psicologia Educacional**. Tradução: Eva Nick, 2 ed. Rio de Janeiro: Interamericana.
- BELLER, M. (2001). **Quantum dialogue: the making of revolution**. Chicago: University Of Chicago.
- CALLEN, Hebert B. (1985), **Thermodynamics and na introduction to thermostatics**, 2ª. Ed. Pennsylvania: University of Pennsylvania, John Wiley and Sons.
- COLE TJ, Bellizzi MC, FLEGAL KM, DIETZ WH (2002). **Establishing a standard definition for child overweight and obesity worldwide: international survey**. BMJ. 2002 May 6;320(7244):1240–3
- FREIRE, P. (1984). **Pedagogia do oprimido**. 13ª. Ed. Rio de Janeiro: Paz e Terra, _____, **Pedagogia do oprimido**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 2005.
_____, **Educação como prática da liberdade**. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 2009.
_____, **Pedagogia da autonomia: saberes necessários a prática docente**. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
_____, **Extensão ou comunicação?**. São Paulo: Paz e Terra, 2006.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termologia**. v. 2, 8ª ed. Rio de Janeiro: TLC. 2007.
- MONTEIRO C.A, MONDINI L., MEDEIROS A.L, POPKIN B.M. **The nutrition transition in Brazil**. *Eur J Clin Nutr* 1995; 49:105-13.
- MOORE, W.J. (1962) **Physical Chemistry**. Londres: Longmanns Green and Co, 884p.
- MOREIRA, M. A. (2000). **Aprendizagem Significativa Crítica. III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa (pp. 33-45)**. Lisboa: Peniche.
- MOREIRA, M. A. (2010). **Aprendizagem Significativa Crítica**. Rio Grande do Sul. UFRGS.
- MOREIRA, M. A. (2012). **Aprendizagem significativa, campos conceituais e pedagogia da autonomia: implicações para o ensino**. *Aprendizagem Significativa em Revista*, 44-65.

- MOREIRA, M. A. (2018). **Teorias de Aprendizagem**. São Paulo: E.P.U.
- MOREIRA, M. A. (s/d). **Unidade de Ensino Potencialmente Significativa (UEPS)**.
Fonte: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/UEPSport.pdf>
- Nelson, D. L.; C., Michael M. (2002). **Lehninger Princípios de Bioquímica**; traduzido por Arnaldo Antonio Simões e Wilson Roberto Navega. 3ª Ed. São Paulo.
- NOVAK, J. G. (1988). **Aprendiendo a aprender**. Barcelona: Martínez Roca.
- ONTORIA, A. (2005). **Mapas Conceituais - Uma técnica para aprender**. São Paulo: Edições Loyola.
- PCN. (2000). **Em Parâmetros Curriculares nacionais**. Brasília: Imprensa Nacional.
- PIOGOZZO, D., LIMA, N. W., & NASCIMENTO, M. M. (2019). **A filosofia sistêmica de Fritjof Capra: Um olhar ecológico para a Física e para o Ensino de Física**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, 36(3). doi: <http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2019v36n3p704>
- PIRES, A. S. (2008). **Evolução das ideias da Física**. São Paulo: Livraria da Física.
- POZO, J. I. (1989). **Teorías cognitivas del aprendizaje**. Madrid: Morata.
- SEARS, F.; YOUNG, H.D; FREEDMAN, R.A; ZEMANSKY, M.W (2008). **Física II: Termodinâmica e Ondas**. v.2, 10ª ed. São Paulo: Pearson.
- SILVA, D. C. M. d.(2022). **Calor como substância**; Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/calor-como-substancia.htm>>. Acesso em 12 de outubro de 2022.
- VILAR, L. (2021). **Endocrinologia Clínica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021. cap. Dislipidemia e Obesidade, p. 71-79
- World Obesity Federation. Atlas of Childhood Obesity. Outubro/2019. Disponível em: <https://www.worldobesity.org/membersarea/global-atlas-on-childhood-obesity>. Acesso em 13/12/2022.
- Ministério da Saúde. Atlas da obesidade infantil no Brasil. 2019. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/bvsms/resource/pt/biblio-1342839>>. Acesso em 13/12/2022.

Apêndice A – Atividade diagnóstica

COLÉGIO SANTA LUZIA

PROF.: RENATO WEBER BASTOS LOURENÇO

Aluno:

Série:

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

- 1- A nossa capacidade de se locomover, levantar e carregar objetos, correr, pular, etc., está diretamente relacionada com a:
 - a) Primeira Lei de Newton;
 - b) Segunda Lei de Kepler;
 - c) Primeira Lei da Termodinâmica;
 - d) Segunda Lei da Termodinâmica;
 - e) Primeira Lei de Ohm.

- 2- De acordo com os seus conhecimentos científicos, o fato de envelhecermos e morreremos está relacionada com:
 - a) O Efeito fotoelétrico;
 - b) O efeito *Compton*;
 - c) A entropia;
 - d) O efeito *mortheus*
 - e) A entalpia.

- 3- (Enem 2016) Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot (1824) demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos, entre duas fontes térmicas (uma quente e outra fria), obter 100% de rendimento. Tal limitação ocorre porque essas máquinas:
 - a) Realizam trabalho mecânico.
 - b) Produzem aumento de entropia.
 - c) Utilizam transformações adiabáticas
 - d) Contrariam a lei da conservação da energia.

- e) Funcionam com temperatura igual à da fonte quente.
- 4- Considerando o rendimento máximo do corpo humano igual a 22%, calcule a quantidade máxima de energia disponibilizada ao corpo humano, exclusivamente para produzir movimento (realizar trabalho), a partir de 100 g de carboidrato. (Considere que 1g de carboidrato libere 5 kcal).
- 5- “Os **termogênicos** são suplementos ou alimentos que causam um aumento da temperatura dentro do nosso organismo, acelerando a queima de calorias no nosso organismo.” (<https://www.espartanos.com.br/termogenico>, acesso em 3/10/22)

Usando argumentos termodinâmicos, explique a função dos complementos alimentares conhecidos como “termogênicos”.

- 6- Com base nos seus conhecimentos, por que é impossível para uma máquina térmica, operando em ciclos, o que inclui o nosso corpo, obter rendimento de 100%.
- 7- Considere um homem de 80 kg, que apresenta a seguinte composição corporal:

Massa livre de gordura = 59,2 kg

Massa gorda = 20,8 kg

Calcule:

- a) O percentual de gordura desse homem. Qual o nível de saúde dele? (saudável, acima do peso ou obeso);
- b) Considerando que o metabolismo basal do mencionado homem seja de 2.000,00 kcal/dia, calcule o déficit calórico que o homem precisa desenvolver, caso esteja acima do peso, para ficar saudável (Considere que o referido déficit seja obtido apenas com a eliminação de gorduras e que 1g de gordura possui 8 kcal);
- c) Proponha ações que o homem poderia adotar para acelerar o processo.

- 8- Na sua opinião, como o aprendizado da termodinâmica pode ajudar alguém que precisa emagrecer? Você consegue enxergar alguma solução?

- 9- Qual a importância de se conhecer o metabolismo basal (ou o gasto energético total) e a composição corporal para a elaboração de um plano para o emagrecimento ou o ganho de massa muscular?

Apêndice B- atividade diagnóstica

COLÉGIO SANTA LUZIA

PROF. RENATO WEBER

3 ANO

AVALIAÇÃO A2 3 TRIMESTRE FÍSICA II

(VALOR 2,0)

- 1- Maria é uma jovem de 75 kg, que está em sobrepeso ($IMC = 29 \text{ kg/m}^2$) e deseja emagrecer até atingir o IMC de 25 kg/m^2 . Considerando a fórmula de Bolso ($MB=24M$), o déficit calórico mínimo que Maria precisa desenvolver para perder apenas gordura é de: (Considere que 1g de gordura = 9 kcal ; $IMC = \text{massa/altura}$ (em metros) ao quadrado):
 - a) 500 kcal
 - b) 1.500 kcal
 - c) 9.900 kcal
 - d) 99.000 kcal
 - e) 100.000 kcal

- 2- Num treino de supino reto, um atleta se deita num banco horizontal, erguendo uma barra de peso variável, numa sequência definida de repetições. O exercício é ideal para a construção e manutenção dos músculos peitoral, tríceps e deltoide. Com essas considerações e supondo que o rendimento metabólico de Joana seja de 25%, a energia necessária para que Joana realize um treino de supino reto composto de 4 séries de 10 repetições, com uma carga máxima de 60 kg é de: (considere que a elevação da barra seja de 50 cm e que o corpo só gaste energia na subida da barra; $1 \text{ kcal} = 4 \text{ kJ}$; $g = 10\text{m/s}^2$)
 - a) 48 kJ
 - b) 122 kJ
 - c) 120 kcal
 - d) 48 kcal
 - e) 60 kcal

- 3- O gasto energético de João, de massa igual a 80 kg, que diariamente pratica caminhadas rápidas ($N=6$), por um intervalo de tempo de 1h30min, além de fazer ciclismo *indoor* “pesado” ($N=8$), por 45 min, também diariamente, é aproximadamente igual a:

- a) 10.500 kcal
- b) 6.870 kcal
- c) 3.120 kcal
- d) 2.540 kcal
- e) 1.640 kcal

4- Considere que João, citado no problema anterior, tenha uma dieta diária de aproximadamente 2.200 kcal, calcule o tempo mínimo para que João perca 10 kg, exclusivamente de gordura, e atinja seu objetivo: 70 kg. (Adote: 1g de gordura igual a 9 kcal)

5- Usando argumentos físicos, explique como uma pessoa pode emagrecer. Explique por que não basta apenas fazer mais exercícios ou ingerir menos calorias.

6- (UFRS-RS) A cada ciclo, uma máquina térmica extrai 45 kJ de calor da sua fonte quente e descarrega 36 kJ de calor na sua fonte fria. O rendimento máximo que essa máquina pode ter é de:

- a) 20 %
- b) 25%
- c) 75%
- d) 80%
- e) 100%

7- A termodinâmica pode ser definida como uma ciência experimental baseada em um pequeno número de princípios (leis da termodinâmica), que são generalizações feitas a partir da experiência. Sobre as leis da termodinâmica, JULGUE OS ITENS:

- a) Nenhuma máquina térmica pode apresentar um rendimento superior ao de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.
- b) A 1a lei da termodinâmica é uma afirmação do princípio geral da conservação da energia.
- c) A 2a lei da termodinâmica afirma que é indiferente transformar integralmente calor em trabalho ou trabalho em calor.
- d) Parcela da energia envolvida em um processo irreversível torna-se indisponível para a realização de trabalho.
- e) Em um processo cíclico a energia interna do sistema apresenta variação nula.

8- De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, a entropia do Universo:

- a) não pode ser criada nem destruída.
- b) acabará transformada em energia.

c) tende a aumentar com o tempo.

d) tende a diminuir com o tempo.

e) permanece sempre constante.

QUESTÃO BÔNUS: O que você achou da leitura do livro: “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

Apêndice C – Produto educacional

MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA – SBF

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UNB

INSTITUTO DE FÍSICA – IF/UnB

**A TERMODINÂMICA E A OBESIDADE: UMA PROPOSTA DE SEQUÊNCIA
DIDÁTICA PARA O ENSINO DE TERMODINÂMICA**

PRODUTO EDUCACIONAL

Sequência didática

Renato Weber Bastos Lourenço

Orientadora:

Prof^ª: Dra. Adriana Pereira Ibaldo

Brasília – DF

2022

SUMÁRIO

<u>1- PREFÁCIO</u>	103
<u>2- Metodologia</u>	105
<u>3 - Planejamento das aulas</u>	108
<u>Referências Bibliográficas</u>	117
<u>Apêndice A – Questionário de avaliação diagnóstica</u>	119
<u>Apêndice B – Questionário de Aprendizagem</u>	122
<u>Apêndice-C – A TERMODINÂMICA E O MAROMBEIRO</u>	126

1- PREFÁCIO

Caro(a) professor(a),

O presente produto educacional, parte do trabalho desenvolvido na dissertação de Renato Lourenço, foi elaborado como texto de apoio a você professor!

Cuida-se de uma sequência didática baseada na teoria de aprendizagem significativa de David Ausubel e na teoria (pedagógica) de Paulo Freire, que dentre outras premissas asseveram que no processo de aprendizagem é requisito *si nem qua non* o “querer aprender”, ou seja a vontade unilateral do aluno em apreender um determinado conteúdo.

Nesse diapasão, a presente sequência didática é baseada no livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”, de autoria própria, que aplica conceitos de termodinâmica ao metabolismo humano, discutindo estratégias para o emagrecimento. O uso da referida obra paradidática pode abrir os horizontes dos discentes a um universo até então despercebido, e gerar os subsunçores ausubelianos necessários ao aprendizado.

O principal objetivo dessa sequência didática é facilitar o aprendizado de Termodinâmica por aplicá-la no processo de ganho/perda de massa corporal, usando a ideia de “temas geradores” de Paulo Freire como estratégia facilitadora da aprendizagem. Nesta esteira, o uso de palavras como “academia”; “déficit calórico”, “metabolismo basal”, “percentual de gordura”, podem ensejar os subsunçores para o aprendizado das Leis da Termodinâmica.

Além do mais, a presente proposta pode ser aliada no combate à obesidade juvenil, reconhecidamente um dos grandes desafios do século XXI. O livro traz uma série de discussões úteis no processo de emagrecimento, em uma linguagem de fácil acesso ao discente, trazendo ao universo do aluno fatos simples que podem auxiliá-

lo na tomada de decisão que efetivamente pode contribuir para uma mudança de hábitos, que conseqüentemente poderá contribuir para uma vida mais saudável.

Noutro giro, a presente sequência didática foi pensada também para melhorar a interação professor-aluno e tornar a aprendizagem da termodinâmica acessível e interessante, além de contribuir para o “querer aprender” do aluno, uma vez que possuiu um viés motivador, numa linguagem acessível a adolescentes.

O livro “A termodinâmica e o Marombeiro” descreve as aventuras de um jovem estudante que encontra na termodinâmica uma possibilidade de alcançar seu objetivo corpóreo, qual seja o emagrecimento.

O livro é dividido em treze capítulos que tratam da bioquímica do processamento da energia pelo corpo humano; do metabolismo basal; da composição corporal; do déficit/superávit calórico; aplicando a termodinâmica aos exercícios físicos mais comuns, tudo com o fulcro no desenvolvimento do déficit calórico e no desenvolvimento de uma estratégia nutricional personalizada.

A obra é resultado de pesquisa na literatura médica e contém informações científicas, que de fato, estão associadas ao emagrecimento, no entanto, é de bom alvitre reforçar que a obra “*A Termodinâmica e o Marombeiro*” não é um manual de emagrecimento, nem apresenta ideias precisas sobre o tema. O foco deste produto educacional é utilizar os conceitos de balanço energético e composição corporal aplicados ao corpo humano discutido à luz dos conceitos de termodinâmica. Cabe ressaltar que planos alimentares que visam a alteração da composição corporal são do escopo da nutrição/nutrologia. Por isso, é muito importante que o professor, ao usar a referida obra, deixe claro que se trata de uma ficção e que deve ser encarada como uma analogia às Leis da Termodinâmica.

2- METODOLOGIA

Um dos grandes desafios enfrentados por professores da educação básica, especialmente os das ciências “duras”, envolve a conversão de um conhecimento teórico palpável e calculável em uma ação reflexiva crítica que convirja na formação de um cidadão plenamente capaz de interagir com a natureza e com a sociedade, emitindo opiniões e avaliando informações.

Nesse diapasão, o que é ensinado e o que deve ser aprendido precisa fazer sentido para o estudante e fazer parte da sua realidade, do momento histórico no qual ele está inserido e dos problemas e angústias que ele enfrenta. O docente, neste contexto, realiza o árduo papel de unir esses dois universos: o conhecimento com o contexto social do aluno.

A perspectiva apresentada nessa sequência didática está abalizada no modelo de aprendizagem baseada no processamento da informação, encontrada nos trabalhos de Ausubel envolvendo os processos mentais e as estruturas cognitivas, bem assim nas ideias libertadoras de Paulo Freire.

De acordo com a teoria da aprendizagem significativa de Ausubel, a aprendizagem significativa se caracteriza pela interação entre o novo conhecimento e o conhecimento prévio. A formação e o desenvolvimento da estrutura cognitiva, ou seja, do conteúdo total e organizado de ideias de um indivíduo, depende do modo como o estudante percebe os aspectos do mundo físico e social. Nesta vereda, além dos fatores sociais, econômicos e culturais, as motivações do aluno dependem da estrutura cognitiva desenvolvida e a mudança de motivação implica uma mudança de estrutura cognitiva. Sendo assim, aprender envolve uma mudança nas estruturas

cognitivas existentes ou a compreensão interna da situação e seu significado. No cenário atual, deseja-se que a aprendizagem envolva a gênese de um novo conceito interiorizado, envolva novas estruturas mentais e em resultado, novas atitudes com os quais o estudante possa analisar e solucionar problemas.

Com efeito, a teoria freireana se baseia em dois pilares: A autonomia e a liberdade. A autonomia para dar consciência ao educando de si e do mundo; e liberdade para libertar o aluno, oprimido, daquilo que o oprime. Freire condena uma prática educacional brasileira, difundida até os dias atuais: a educação bancária, que consiste na prática pelos docentes de “depósitos” de conhecimentos, sem possibilidade de retórica pelos alunos, mitigando-se, com isso, a criticidade. A educação bancária traz em si o não exercício do pensamento crítico, uma vez que tem como fundamento o acúmulo de conteúdo, mas sem, necessariamente, ter compromisso com a análise crítica dos conceitos e do mundo a nossa volta.

É nesse sentido que Paulo Freire considera a educação como uma ferramenta social de libertação, associado à construção de uma visão política e social, que consiste em respeitar os saberes das classes populares.

Nesta senda, Paulo Freire defende a educação problematizadora, enfatizando o uso de **temas geradores**, construído horizontalmente com os alunos. A escolha dos temas geradores deve estar intrinsecamente ligada à realidade social e regional do aluno, para que faça sentido para este e se torne, de fato, uma prática transformadora.

Noutro giro, dentro de uma óptica educacional libertadora, é importante que a aprendizagem significativa seja também crítica. Quer dizer, na sociedade contemporânea não basta adquirir novos conhecimentos de maneira significativa, é preciso adquiri-los criticamente.

Ao mesmo tempo em que é preciso viver nessa sociedade, integrar-se a ela, é necessário também ser crítico dela, distanciar-se dela e de seus conhecimentos quando ela está perdendo rumo e saber filtrar os discursos, inclusive de autoridades, que propagam informações falsas e fora de contexto nas mídias sociais. Para alcançar objetivos aqui pretendidos, essa sequência didática de ensino observa os seguintes princípios, MOREIRA (2000;2006, 2011):

- 1- Perguntas ao invés de respostas prontas.
- 2- Diversidade de materiais de ensino; (abandono do manual único);
- 3- Aprendizagem pelo erro; (desmitificação do erro, o qual pode ser uma oportunidade de aprendizado);
- 4- Aluno como perceptor representador; (o aluno representa tudo o que percebe);
- 5- Consciência semântica; (o significado está nas pessoas, não nas palavras);
- 6- Evolução do conhecimento; (conhecimento humano é incerto, evolutivo);
- 7- Conhecimento como linguagem (tudo que chamamos de conhecimento é linguagem);
- 8- Diversidade como estratégia (abandono do quadro-de-giz).

Nesse condão, a presente sequência foi estruturada em nove aulas que relacionam conceitos vistos em termodinâmica como o balanço energético para o corpo humano e o processo de emagrecimento. Foram propostas situações-problema para cada aula, com nível de complexidade crescente. Com o intuito de introduzir, a cada aula, conhecimentos e conceitos novos, a primeira parte desta sequência didática atua como organizador prévio. Posteriormente, a segunda parte atua como degrau para a próxima situação-problema a ser apresentada, promovendo assim uma reconciliação integradora entre o que se sabia com o novo conhecimento.

3 - PLANEJAMENTO DAS AULAS

3.1- Primeiro e Segundo encontros

3.1.1- Identificação

Modalidade:	Ensino Presencial
Nível de ensino:	Médio
Docente:	Renato Weber Bastos Lourenço
Disciplina:	Física
Conteúdo:	As Leis da Termodinâmica
Ano/Semestre:	1º/2022
Carga horária:	1 aula (50 min)

3.1.2- Situação-Problema 1

Considerando que a obesidade é um dos mais graves problemas de saúde no mundo e que as estimativas mais conservadoras da ONU dão conta de que mais de 2,3 bilhões de adultos estarão acima do peso em 2025, como o estudo da termodinâmica pode contribuir para a solução desse problema?

3.1.3 – Objetivo Principal

Contribuir para a formação de uma cultura científica efetiva que permita aos estudantes interpretar fatos, fenômenos e processos naturais e propor mudanças como sujeitos ativos.

3.1.4- Competências e habilidades a serem desenvolvidas

- Conhecer fontes de informações e formas de obter informações relevantes, sabendo interpretar notícias científicas;
- Construir e investigar situações-problema, identificar a situação física, utilizar modelos físicos, generalizar de uma situação, prever, avaliar, analisar previsões.
- Ser capaz de analisar e discutir situações sociais que envolvam aspectos científicos e / ou tecnológicos relevantes.

3.1.5 - Momentos da aula:

Inicialmente, o professor deve aplicar o questionário diagnóstico (Apêndice – A), com o escopo de se identificar os principais subsunçores relacionados aos tópicos a serem apresentados. Em seguida, sugere-se uma breve explicação sobre a aplicação do presente produto educacional, apresentando-se o cronograma de atividades e avaliações e o livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*” (Apêndice C). Uma cópia em pdf do livro deve ser encaminhada aos alunos.

No segundo momento da aula, forme um semicírculo com a turma e apresente o tema da situação-problema 1: como o estudo da termodinâmica pode contribuir para a solução do problema do sobrepeso e obesidade juvenil? A partir desse momento, inicie uma conversa mediada sobre o tema, levantando-se as possíveis causas para a obesidade.

No terceiro momento da aula, o professor deve projetar no quadro o mapa da obesidade no Brasil, utilizando a ferramenta disponível no link: abeso.org. Em seguida, discuta os percentuais de sobrepeso e obesidade nas diferentes regiões do País. O objetivo é relacionar o sobrepeso e a obesidade com fatores culturais, econômicos e sociais.

3.1.6 – Recursos utilizados

- Computadores e smartphones;
- Livro paradidático: “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”;
- Artigo de Jornal digital e sites em geral sobre a obesidade juvenil.

3.2 – Terceiro encontro

3.2.1 – Situação-problema 2

Como nosso corpo consegue energia?

3.2.2 – Objetivo Principal

Reapresentar a primeira lei da Termodinâmica e mostrar como o corpo humano transforma a energia dos alimentos em energia útil. Investigar como a escolha dos grupos alimentares pode favorecer o emagrecimento.

3.2.3- Competências e habilidades a serem desenvolvidas

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Construir e investigar situações – problema;
- Elaborar estratégias de enfrentamento das questões;
- Entender os métodos e procedimentos próprios das ciências naturais;
- Ser capaz de emitir juízos de valor em relação a situações sociais que envolvam aspectos físicos e/ou tecnológicos relevantes;
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade;

3.2.4 – Momentos da aula

No primeiro momento, o professor deve formar um semicírculo e iniciar a conversa mediada sobre a situação-problema 2. Deixe os alunos bem à vontade para expressarem suas opiniões. Direcione os alunos ao capítulo RESPIRAÇÃO do livro *A Termodinâmica e o Marombeiro* (APÊNDICE C).

No segundo momento, exiba o vídeo **experimento do calorímetro**, que retrata o cálculo experimental da energia armazenada nos alimentos (link: 1-<https://www.youtube.com/watch?v=w1MHARNDt40>.). Se for possível, execute o experimento em sala de aula, para que o aluno tenha a oportunidade de observar e ter um papel mais ativo na produção do conhecimento, podendo questionar os fatos que estão sendo observados e aprender com o erro.

No terceiro momento da aula, o professor deve proopor o cálculo do metabolismo basal de cada aluno, baseando-se no capítulo METABOLISMO BASAL do livro *A Termodinâmica e o Marombeiro*. O referido capítulo apresenta uma técnica simples para a obtenção do metabolismo basal. Reforce para o aluno que se trata de uma mera estimativa de gasto energético e que existem outras técnicas mais precisas para se obter o metabolismo basal.

3.2.5 – Recursos utilizados

- Plataforma – Youtube
- Computadores e smartphones
- Projetor de imagens
- Livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”

3.3- Quarto e Quinto encontros

3.3.1- Situação-Problema 3

Como encontrar a minha composição corporal e desenvolver o meu déficit calórico?

3.3.2 – Objetivos principais

- Aplicar a segunda lei da termodinâmica ao corpo humano.
- Apresentar as equações Antropométricas e de gasto calórico (GET);
- Estimar o rendimento do corpo humano, modelando como uma máquina térmica
- Calcular a energia demanda por algumas atividades físicas.

3.3.3 – Competências e habilidades a serem desenvolvidas

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Construir e investigar situações – problema;
- Entender os métodos e procedimentos próprios das ciências naturais;
- Sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação – problema;
- Identificar, representar e aplicar conhecimentos científicos;
- Expressar-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.

3.3.4 – Momentos da aula

O professor deve iniciar o primeiro momento da aula no esquema “mesa redonda”, com uma conversa mediada sobre a situação-problema 3. O professor deve estimular os alunos a sugerirem experimentos que possibilitem a obtenção da composição corporal, especialmente do percentual de gordura do corpo humano. Após, o professor deve direcionar a atenção dos alunos para o capítulo A COMPOSIÇÃO CORPORAL, do livro *A termodinâmica e o Marombeiro*, momento em que deve demonstrar como os alunos podem medir a própria composição corporal, usando uma fita métrica e a fórmula de Siri, descrita nas páginas 42 do livro *A termodinâmica e o Marombeiro*. Deve ficar claro ao aluno que a composição corporal leva em consideração a densidade do corpo humano e que o resultado encontrado não reflete com exatidão a composição corporal, tratando-se apenas de uma estimativa. Caso seja possível, o professor poderá comparar os resultados obtidos com os resultados de uma balança de bioimpedância.

No segundo momento da aula, o professor pode direcionar a conversa mediada para as implicações da entropia para o corpo humano. Nesse respeito, o professor pode exibir a equação do rendimento de uma máquina térmica e fazer ponderações sobre como essa equação poderia ser usada, por analogia, ao corpo humano.

No terceiro momento da aula, o professor deve apresentar a equação do gasto energético total (GET), de Harrys-Benedict (capítulo O DÉFICT CALÓRICO, do livro *A termodinâmica e o Marombeiro*), e sugerir que os alunos calculem o seu próprio gasto calórico total. Após, o professor deve explicar o que é déficit calórico e estimular

os alunos a estabelecerem um déficit calórico com atividades físicas e alimentação.

3.3.5 – Recursos utilizados

- Quadro e pincel
- Computadores e smartphones
- Livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”
- Fita métrica
- Balança de Bioimpedâncias (se possível)

3.4- Sexto encontro

3.4.1 – Situação-Problema 4

Afinal, a gente emagrece no frio? Como potencializar o emagrecimento com o controle térmico do ambiente?

3.4.2 – Objetivos principais

- Aplicar a lei zero da termodinâmica ao corpo humano.
- Aplicar a lei de Stefan-Boltzaman ao corpo humano, estimando a potência irradiada pelo corpo humano em vários cenários.

3.4.3 – Competências e habilidades a serem desenvolvidas

- Ler e interpretar textos de interesse científico e tecnológico;
- Construir e investigar situações – problema;

- Entender os métodos e procedimentos próprios das ciências naturais;
- Sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação – problema;
- Identificar, representar e aplicar conhecimentos científicos;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.

3.4.4 – Momentos da aula

No primeiro momento da aula, o professor deve iniciar a conversa mediada apresentando a situação-problema 4. Deixe os alunos se expressarem livremente. Para estimular a participação, o professor pode sugerir o problema da hipotermia e o risco de morte associado.

No segundo momento da aula, o professor deve relembrar a lei Zero da Termodinâmica e os conceitos de radiação térmica. O objetivo é aplicar a lei de Stefan Boltzman ao corpo humano.

No terceiro momento, o professor deve estimular os alunos a se manifestar sobre os possíveis benefícios de manter um controle térmico em ambientes de academia, ginástica e piscinas. O professor deve direcionar a atenção dos alunos ao capítulo A TRANSPIRAÇÃO do livro *A termodinâmica e o Marombeiro*.

3.4.5 – Recursos utilizados

- Quadro e pincel
- Computadores e smartphones
- Livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”

3.5- Sétimo e oitavo encontro

3.5.1 –Situação-Problema 5

Se todas as áreas do conhecimento obedecem às leis da termodinâmica, pergunta-se: É possível analisar as emoções do ponto de vista da termodinâmica?

3.5.2 – Objetivo principal:

- Analisar criticamente o filme: “*Las Leyes de la Termodinámica*” e reconhecer o limite entre o conhecimento científico e o misticismo comercial.

3.5.3 – Competências e habilidades a serem desenvolvidas

- Ler e interpretar obras de interesse científico e tecnológico;
- Construir e investigar situações – problema;
- Entender os métodos e procedimentos próprios das ciências naturais;
- Sistematizar informações relevantes para a compreensão da situação – problema;
- Identificar, representar e aplicar conhecimentos científicos;
- Exprimir-se oralmente com correção e clareza, usando a terminologia correta;
- Compreender as ciências como construções humanas, entendendo como elas se desenvolvem por acumulação, continuidade ou ruptura de paradigmas, relacionando o desenvolvimento científico com a transformação da sociedade.

3.5.4 – Momentos da aula

No primeiro momento da aula, o professor deve iniciar a conversa mediada apresentando o tema da situação-problema 5.

No segundo momento, exiba o filme “*Las Layes de la Termodinámica*”.

No terceiro momento da aula, inicie uma mesa redonda sobre os limites do conhecimento científico e o charlatanismo científico. Reformule a pergunta da situação-problema 5 e verifique se os alunos foram influenciados pelo conteúdo exibido. Procure demonstrar como se desenvolve o charlatanismo científico e quais são os perigos associados à propaganda pseudocientífica.

3.5.5 – Recursos utilizados

- Computadores e smartphones
- Livro “*A Termodinâmica e o Marombeiro*”
- Filme “*Las Layes de la Termodinámica*”

3.6. – Nono encontro

3.6.1 – Atividade avaliativa

Com o objetivo de aferir a aprendizagem e a eficácia da aplicação do presente produto educacional, o professor deve solicitar que o aluno responda ao questionário avaliativo (APÊNDICE B). Sugere-se que a avaliação de aprendizagem seja realmente um elemento oficial de avaliação, para que o aluno se comprometa durante todo o processo.

Ademais, o professor também pode avaliar a participação individual dos alunos durante as sessões de conversa mediada, atribuindo-se uma pontuação a cada participação individual. É importante ressaltar que nem todos os alunos se sente à vontade para se expressar, por isso o professor deve avaliar qualitativamente a participação individual dos discentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABESO. Mapa da obesidade, 2019. Disponível em: <<https://abeso.org.br/obesidade-e-sindrome-metabolica/mapa-da-obesidade/>>. Acesso em 20/01/2023.

AUSUBEL, D. P. (1963). The psychology of meaningful verbal learning. New York: Grune & Stratton.

AUSUBEL, D. P. (1968). Educational psychology: a cognitive view. New York, Holt, Rinehart, and Winston. 685 p.

AUSUBEL, D.P. (2000). The acquisition and retention of knowledge: a cognitive view. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers. 210 p.

AUSUBEL, D. P. ; NOVAK, J.D. e HANESIAN, H. (1980). Psicologia educacional. Rio de Janeiro, Interamericana. Tradução ao português, de Eva Nick et al., da segunda edição de Educational psychology: a cognitive view. 623p.

BLAND, J. M.; ALTMAN, D.G (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. Lancet, London, v.1, n.8476, p.307-10.

FREIRE, Paulo (2011). Educação como prática da liberdade. São Paulo: Paz e Terra.

FREIRE, Paulo. Pedagogia do oprimido. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1987.

FREIRE, Paulo. Pedagogia da autonomia: saberes necessários para a prática educativa. Rio de Janeiro: Paz e Terra, 1998.

HARRIS, J.A., BENEDICT, F.G.A. Biometric Study of Human Basal Metabolism. PNAS Physiology 1918; 4: 370-373.

HARRIS., J.A., BENEDICT, F.G. A Biometric Study of Basal Metabolism in Man. Boston: Carnegie Institution of Washington, 1919.

HEYWARD, Vivian H.; STOLARCZYK, Lisa M. AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL APLICADA. Ed. Manole, São Paulo – 2000.

MOREIRA, M.A. (2000). Aprendizagem significativa crítica. Atas do III Encontro Internacional sobre Aprendizagem Significativa, Lisboa (Peniche).

MOREIRA, M. A. (2011). Aprendizagem Significativa: a teoria e textos complementares. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2011

MOREIRA, M. A. e MASSINI, E. F. S. Aprendizagem significativa: a teoria de David

Ausubel. 2.ed. São Paulo: Centauro, 2006.

OSTERMANN, Fernanda; MOREIRA, Marco Antonio. Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio”. *Investigações em ensino de ciências*, v. 5, n. 1, p. 23-48, 2000.

POSTMAN, Neil; WEINGARTNER, Charles. *Teaching as a subversive activity*. New York: Dell Publishing Co, 1969. 219p.

SILVA, Marcelo Mariano da, CARVALHO, Raquel Santos Marques de, Freitas, Marcelo Baptista de (2019). Bioimpedância para avaliação da composição corporal: uma proposta didático-experimental para estudantes da área da saúde. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, nº 2.

SIRI, WILLIAM E. (1956) *Body Composition From Fluid Spaces and Density: Analysis of Methods*. Berkeley, California. UCRL-3349. 1956.

APÊNDICE A — QUESTIONÁRIO DE AVALIAÇÃO
DIAGNÓSTICA

COLÉGIO SANTA LUZIA

PROF.: RENATO WEBER BASTOS LOURENÇO

Aluno:

Série:

AVALIAÇÃO DIAGNÓSTICA

10- A nossa capacidade de se locomover, levantar e carregar objetos, correr, pular, etc., está diretamente associada com a:

- f) Primeira Lei de Newton;
- g) Segunda Lei de Kepler;
- h) Primeira Lei da Termodinâmica;
- i) Segunda Lei da Termodinâmica;
- j) Primeira Lei de Ohm.

11- De acordo com os seus conhecimentos científicos, o fato de envelhecermos e morreremos está relacionada com:

- f) O Efeito fotoelétrico;
- g) O efeito *Compton*;
- h) A entropia;

- i) O efeito *mortheus*
- j) A entalpia.

12- (Enem 2016) Até 1824 acreditava-se que as máquinas térmicas, cujos exemplos são as máquinas a vapor e os atuais motores a combustão, poderiam ter um funcionamento ideal. Sadi Carnot demonstrou a impossibilidade de uma máquina térmica, funcionando em ciclos entre duas fontes térmicas (um quente e outra fria), obter 100% de rendimento.

Tal limitação ocorre porque essas máquinas:

- f) Realizam trabalho mecânico.
- g) Produzem aumento de entropia.
- h) Utilizam transformações adiabáticas
- i) Contrariam a lei da conservação da energia.
- j) Funcionam com temperatura igual à da fonte quente.

13- Considerando o rendimento máximo do corpo humano igual a 22%, calcule a quantidade máxima de energia disponibilizada ao corpo humano, exclusivamente para produzir movimento (realizar trabalho), a partir de 100 g de carboidrato. (Considere 1g de carboidrato possua 5 kcal).

14- “Os **termogênicos** são suplementos ou alimentos que causam um aumento da temperatura dentro do nosso organismo, acelerando a queima de calorias no nosso organismo.” (<https://www.espartanos.com.br/termogenico>, acesso em 3/10/22)

Usando argumentos termodinâmicos, explique a função dos complementos alimentares conhecidos como “termogênicos”.

15- Com base nos seus conhecimentos, por que é impossível para uma máquina térmica, operando em ciclos, o que inclui o nosso corpo, obter rendimento de 100%?

16- Considere um homem de 80 kg, que apresenta a seguinte composição corporal:

Massa livre de gordura = 59,2 kg

Massa gorda = 20,8 kg

Calcule:

- d) O percentual de gordura desse homem. Qual o nível de saúde dele, de acordo com a Abeso? (saudável, acima do peso ou obeso);
- e) Considerando que o metabolismo basal do mencionado homem seja de 2.000,00 kcal/dia, calcule o déficit calórico que o homem precisa desenvolver, caso esteja acima do peso, para ficar saudável (Considere que o referido déficit seja obtido apenas com a eliminação de gorduras e que 1g de gordura possui 9 kcal);
- f) Proponha ações que o homem poderia adotar para acelerar o processo.

- 17- Na sua opinião, como o aprendizado da termodinâmica pode ajudar alguém que deseja emagrecer? Você consegue enxergar alguma solução?
- 18- Qual a importância de se conhecer o metabolismo basal e a composição corporal para a elaboração de um plano para o emagrecimento ou o ganho de massa muscular?

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO DE APRENDIZAGEM

COLÉGIO SANTA LUZIA

PROF.: RENATO WEBER BASTOS LOURENÇO

Aluno:

Série:

- 9- Maria é uma jovem de 75 kg, que está em sobrepeso ($IMC = 29 \text{ kg/m}^2$) e deseja emagrecer até atingir o IMC de 25 kg/m^2 . Considerando a fórmula de Harrys-Benedict ($MB=24M$), o déficit calórico mínimo que Maria precisa desenvolver para perder

apenas gordura é de: (Considere que 1g de gordura = 9 kcal; IMC = massa/altura (em metros) ao quadrado):

- f) 500 kcal
- g) 1.500 kcal
- h) 9.900 kcal
- i) 99.000 kcal
- j) 100.000 kcal

10- Num treino de supino reto, um atleta se deita num banco horizontal, erguendo uma barra de peso variável, numa sequência definida de repetições. O exercício é ideal para a construção e manutenção dos músculos peitoral, tríceps e deltoide. Com essas considerações e supondo que o rendimento metabólico de Joana seja de 25%, a energia necessária para que Joana realize um treino de supino reto composto de 4 séries de 10 repetições, com uma carga máxima de 60 kg é de: (considere que a elevação da barra seja de 50 cm e que o corpo só gaste energia na subida da barra; 1 kcal = 4 kJ; $g = 10\text{m/s}^2$)

- f) 48 kJ
- g) 122 kJ
- h) 120 kcal
- i) 48 kcal
- j) 60 kcal

11- O gasto energético de João, de massa igual a 80 kg, que diariamente pratica caminhadas rápidas (N=6), por um intervalo de tempo de 1h30min, além de fazer ciclismo *indoor* "pesado" (N=8), por 45 min, também diariamente, é aproximadamente igual a: (considere "N" o índice de atividade física de Harrys-Benedict)

- f) 10.500 kcal

- g) 6.870 kcal
- h) 3.120 kcal
- i) 2.540 kcal
- j) 1.640 kcal

12- Considere que João, citado no problema anterior, tenha uma dieta diária de aproximadamente 2.200 kcal, calcule o tempo mínimo para que João perca 10 kg, exclusivamente de gordura, e atinja seu objetivo: 70 kg. (Adote: 1g de gordura igual a 9 kcal)

13- Usando argumentos físicos, explique como uma pessoa pode emagrecer. Explique por que não basta apenas fazer mais exercícios ou ingerir menos calorias.

14- (UFRGS) A cada ciclo, uma máquina térmica extrai 45 kJ de calor da sua fonte quente e descarrega 36 kJ de calor na sua fonte fria. O rendimento máximo que essa máquina pode ter é de:

- f) 20 %
- g) 25%
- h) 75%
- i) 80%
- j) 100%

15- A termodinâmica pode ser definida como uma ciência experimental baseada em um pequeno número de princípios (leis da termodinâmica), que são generalizações feitas a partir da experiência. Sobre as leis da termodinâmica, JULGUE OS ITENS:

- a) Nenhuma máquina térmica pode apresentar um rendimento superior ao de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.
- b) A 1a lei da termodinâmica é uma afirmação do princípio geral da conservação da energia.
- c) A 2a lei da termodinâmica afirma que é indiferente transformar integralmente calor em trabalho ou trabalho em calor.

- d) Parcela da energia envolvida em um processo irreversível torna-se indisponível para a realização de trabalho.
- e) Em um processo cíclico a energia interna do sistema apresenta variação nula.

16- De acordo com a segunda lei da Termodinâmica, a entropia do Universo:

- a) não pode ser criada nem destruída.
- b) acabará transformada em energia.
- c) tende a aumentar com o tempo.
- d) tende a diminuir com o tempo.
- e) permanece sempre constante.

QUESTÃO BÔNUS: O que você achou da leitura do livro: *“A Termodinâmica e o Marombeiro”*? Você acha que o livro pode ser útil no enfrentamento da obesidade juvenil? Explique por quê.

| *Apêndice-C* – A TERMODINÂMICA E O MAROMBEIRO

RENATO WEBER BASTOS LOURENÇO

A TERMODINÂMICA E O MAROMBEIRO

VENCENDO

A

ENTROPIA

RENATO WEBER BASTOS LOURENÇO

A TERMODINÂMICA E O MAROMBEIRO
(Vencendo a Entropia)

Sumário

APRESENTAÇÃO	5
CAPÍTULO 1:.....	10
“Café com leite”	10
CAPÍTULO 2:.....	14
“A ACADEMIA’	14
CAPÍTULO 3:.....	25
“A RESPIRAÇÃO”	25
CAPÍTULO 4:.....	32
“METABOLISMO BASAL”	32
CAPÍTULO 5:.....	36
“A COMPOSIÇÃO CORPORAL”	36
CAPÍTULO 6:.....	47
“A NUTRICIONISTA”	47
CAPÍTULO 7:.....	58
“O DÉFICIT CALÓRICO”	58
CAPÍTULO 8	66
“AS MÁQUINAS NÃO-TÉRMICAS”	66
CAPÍTULO 9:.....	70
“O CORAÇÃO”	70
CAPÍTULO 10:	80
“O CÉREBRO”	80
CAPÍTULO 11:	86

“O RENDIMENTO DO CORPO HUMANO”	86
CAPÍTULO 12:	99
“A TRANSPIRAÇÃO”	99
CAPÍTULO 13:	104
“O MEU NOVO EU”	104
REFERÊNCIAS	108
APÊNDICE	112
1- Metabolismo Do Corpo Humano.....	112
2- Poder Calórico Dos Alimentos	125
Referências do Apêndice	134

A mente que se abre a uma nova ideia,
jamais voltará ao tamanho original”

Albert Einstein (1879-1955)

APRESENTAÇÃO

A Organização Mundial da Saúde (OMS) classifica a obesidade como um dos maiores e mais graves problemas de saúde do mundo. Segundo o Atlas da Obesidade, no Mundo, em 2025, mais de 2,3 bilhões de pessoas adultas estarão em sobrepeso, ou seja, com o índice de massa corporal (IMC) igual ou maior que 25, e mais de 700 milhões de pessoas alcançarão a obesidade (IMC>30).

No Brasil, estima-se que nos últimos 13 anos a obesidade aumentou 72%, saindo de 11,8% dos adultos, em 2006, para 20,3% em 2019. O mais grave, nesse cenário pandêmico, é que a obesidade, pela primeira vez, tem crescido entre crianças e adolescentes.

No Brasil, o índice de obesidade entre crianças de 5 a 9 anos passou de 12,9% (em 2019) e de 7% em adolescentes, entre 12 e 17 anos. A OMS prevê que se nada for feito, 15,7% dos adolescentes e 22,8% das crianças, de 5 a 9 anos, estarão obesas em 2030.

Com efeito, os dados acima são preocupantes, especialmente porque a obesidade na infância e adolescência estão intrinsecamente relacionadas à persistência da obesidade na fase adulta (COLE, FLEGA E DIETZ, 2002). O que, segundo VILLAR (2021), imbrica em uma série de consequências metabólicas que ensejarão resultados negativos como hipertensão, apneia do sono, síndrome do ovário policístico, diabetes, esteatose, dislipidemia, etc.

Nesse diapasão, atacar o problema da obesidade desde a tenra infância é primordial para a efetiva erradicação dessa pandemia, e o ambiente escolar pode ser um

verdadeiro aliado para o êxito das futuras políticas públicas para o enfrentamento da obesidade.

Nesta esteira, a inserção no currículo escolar de informações relacionadas ao metabolismo humano e ao emagrecimento podem ser muito eficazes, especialmente porque, segundo Monteiro et al. (1995), a informação é a principal ferramenta de combate à obesidade. Apesar de a obesidade estar distribuída em todas as regiões do país e nos diferentes extratos socioeconômicos da população, é proporcionalmente mais elevada entre as famílias de baixa renda, o que repisa o fato de a informação ser um fator decisivo no combate à obesidade juvenil.

Neste escorço, a termodinâmica se amolda como uma luva, uma vez que trata da energia e suas transformações, além de apresentar alternativas interessantes para o aumento do gasto energético

humano, ora através da realização de trabalho mecânico, ora através de mecanismos de transferência de calor.

Nesta perspectiva, a presente obra pretende aplicar as leis da termodinâmica no processo de emagrecimento humano, de forma que a aprendizagem da termodinâmica se torne significativa e *libertadora*, usando uma metáfora de Paulo Freire (1921-1997). Neste diapasão, o emagrecimento é um tema gerador formidável para o aprendizado das leis da termodinâmica. Lado outro, as ideias científicas acerca das transformações da energia e do aumento da entropia podem ser úteis ferramentas para se lidar com a obesidade.

As ideias apresentadas no presente livro, embora com embasamento científico, são apenas uma peça de ficção, devendo o leitor submetê-las ao seu médico, nutricionista ou preparador físico, que são os profissionais habilitados a

fornecer pareceres e orientações precisas sobre o processo de emagrecimento/ganho de massa muscular.

CAPÍTULO 1: “Café com leite”

Meu nome é Juninho, tenho 16 anos e sempre fui considerado “meio lento”, ou como minha mãe dizia: “lerdo”.

De certa forma, eu também me considerava assim, pois tudo o que eu fazia realmente parecia ser mais lento do que a maioria dos meninos da minha idade.

Na escola, por exemplo, eu nunca copiava o quadro dentro do tempo estabelecido. Eu demorava a entender o que a tia me dizia, e nunca conseguia comer meu lanche todo na hora do

recreio. Parece que o tempo passava diferente para mim.

O mais estranho é que eu adorava esportes, mas como eu não era “esperto”, sempre me excluía das atividades desportivas. Quando me deixavam participar, eu era o “café com leite”. Os meninos riam de mim, aliás, esse também era um dos meus apelidos “café com leite”.

Mas eu não estou aqui para falar das minhas frustrações, nem de quanto eu me sentia mal por ser excluído. Estou aqui para falar de como eu consegui dar a volta por cima, achar o meu lugar e ficar de bem comigo mesmo. Enfim, trata-se de como eu consegui vencer a entropia na minha vida.

O ano era 2019, eu estava no segundo ano do Ensino Médio e nessa época eu ainda era o “café com leite” da escola.

Eu não era considerado um bom aluno e até aquele ano não tinha me interessado por ciências exatas, pelo menos até o dia em que Aline, a menina mais linda

da escola, perguntou se eu poderia ajudá-la na prova de física. Instantaneamente, fiquei apaixonado, foi amor à primeira vista! Eu queria muito ser notado por ela. Então, resolvi aprender o conteúdo da prova, pelo menos o suficiente para impressioná-la.

O que eu não sabia era que eu iria gostar de física. Eu passei a prestar atenção nas aulas do “Físico-turista”, apelido carinhoso dado ao nosso professor “bombado” de física. Ele era uma mistura de Físico com fisiculturista. Na verdade, ele parecia mais fisiculturista do que um físico: o cara era muito musculoso!

Mas daquele dia em diante, eu passei a enxergá-lo de forma diferente: pela primeira vez as aulas de física estavam fazendo sentido para mim.

A partir daquele dia, eu passei a estudar física todos os dias e tinha um novo objetivo: me tornar exatamente igual àquele professor: na verdade, eu não queria ser um professor de física, eu só queria ser musculoso igual a ele: pensei que assim Aline poderia me dar uma chance.

Foi aí que eu perguntei:

- Professor, onde o senhor malha?

Ele respondeu com um sorriso sem graça:

“Eu tenho minha própria academia. Além de físico eu também sou graduado em Educação Física. Aparece lá algum dia. Você vai gostar!”

Nesse momento, algum engraçadinho disse:

“Juninho, se você sair agora, ano que vem ele chega lá.”

A gozação foi generalizada! Quando eu olhei para o lado, observei que até mesmo Aline estava rindo, descontroladamente...

Mas, como dizia meu pai: “o que não te destrói te faz mais forte.” Decidi, então, me matricular na Academia do Físico.

CAPÍTULO 2: “A ACADEMIA”

A academia do físico era muito diferente de uma academia normal. Na fachada da frente tinha estampado a foto do Einstein e um monte de equações esquisitas. Em frente à recepção, uma espécie de “sala de aula”, com quadro branco e carteiras chamavam a atenção.

Ao invés de ver pessoas nas esteiras, ou nos aparelhos de musculação, estavam todos sentados, prestando atenção à palestra que estava sendo ministrada.

Nesse momento, o professor olhou para mim e disse:

“Juninho, tome o seu lugar.”

Embora assombrado, eu prontamente me acomodei.

A aula já tinha começado. Isso mesmo, a aula! Não tinha ninguém treinando - não ainda.

Parece que o físico estava falando da termodinâmica. Ele falava sobre máquinas térmicas, acho que falava sobre os ciclos termodinâmicos.

Mas uma coisa me chamou a atenção: ele disse que o nosso corpo também era uma máquina térmica, e começou a fazer analogias entre os motores térmicos e o corpo humano. Eu nunca tinha pensado por esta perspectiva.

Lembro-me de como ele aplicou as leis da termodinâmica ao consumo de energia do nosso corpo. Ele disse que enquanto a primeira lei da termodinâmica trata das transformações da energia, como, por exemplo, a transformação da energia potencial química dos alimentos em

energia mecânica; a segunda lei limita a disponibilidade da energia e os modos de sua conversão e uso. Em outras palavras, a segunda lei garante que a qualidade dos sistemas energéticos sempre diminui, tornando o aproveitamento de energia cada vez mais difícil. E isso inclui o modo como nosso corpo aproveita a energia disponível.

Desta forma, nunca conseguiremos aproveitar toda a energia disponibilizada e sempre precisaremos de mais energia para compensar o acúmulo de energia inútil e descartável. Chamamos esse fenômeno de **entropia (S)**.

A entropia pode ser definida macroscopicamente como uma medida da dispersão de energia em um sistema. Em outras palavras, quanto mais energia estiver dispersa e menos organizada, maior será a entropia. Assim, podemos dizer que a entropia se refere à tendência que o universo apresenta para uma desordem crescente.

De modo geral, em todos os processos naturais, a entropia (desordem) do universo aumenta, e quanto mais desorganizado o sistema estiver, mais difícil a conversão de energia em trabalho. Para exemplificar. Imagine um cilindro contendo um gás altamente comprimido. É relativamente fácil converter energia em trabalho num sistema assim. Mas se depositássemos todo o gás desse cilindro num cilindro dez vezes maior, as moléculas do gás ficariam mais desorganizadas (a desordem aumentaria) e a capacidade de realização de trabalho se reduziria drasticamente. Nesse exemplo, verificamos um expressivo aumento de entropia. De modo geral, é a entropia que determina o sentido dos processos termodinâmicos, e é a entropia que determina que o calor deve fluir do corpo quente para o corpo frio.

Quando analisamos a complexidade das moléculas dos seres vivos, aparentemente vemos uma clara violação do princípio da entropia, uma vez que há mais organização das moléculas das células

do que do resto do meio ambiente. Entretanto, não se trata de uma violação da segunda lei da termodinâmica e sim de uma exceção que apenas comprova a regra.

Ocorre que as células e os organismos vivos constituem-se sistemas abertos, trocando matéria e energia com o meio ambiente, com o qual jamais atingem o equilíbrio. Assim, a constante interação entre o sistema e o meio ambiente explica como os organismos conseguem criar ordem interna, ao mesmo tempo que obedecem à segunda lei da termodinâmica.

Em termos quantitativos, podemos descrever a variação da entropia pela equação abaixo:

$$\Delta S = \frac{\Delta Q}{T}$$

Onde: ΔS se refere à variação de entropia de um sistema; ΔQ é o calor que entra ou sai do sistema; e T é a temperatura absoluta do sistema.

A equação acima mostra que a variação de entropia pode ser definida em termos da temperatura do sistema e da energia que o sistema ganha ou perde. Repare que uma variação positiva de entropia representa uma diminuição da energia disponível (saída de calor) para conversão em trabalho, e que uma variação negativa representa um aumento da energia disponível (entrada de calor).

Ou seja, quando um sistema recebe calor ($\Delta Q > 0$), sua entropia aumenta, logo, o sistema vai necessitar de mais energia para realizar o mesmo trabalho.

Isso também acontece com o nosso corpo, num processo conhecido como “termogênese”.

A termogênese consiste na elevação da temperatura corporal, que pode ser induzida tanto pela atividade física intensa quanto pela suplementação, com substâncias que ativam a termogênese – os chamados termogênicos ou energéticos.

Em ambos os casos, o aumento da temperatura corporal exige mais energia do corpo, resultando num aumento da entropia e do metabolismo basal, que explicarei mais adiante. Trocando em miúdo, o aumento da entropia implica numa maior necessidade de energia para a realização de uma determinada tarefa, mais o menos o que acontece quando trocamos o motor de um carro por um mais potente: o trabalho realizado é o mesmo, mais o gasto de energia é maior com o motor mais potente.

A entropia até pode permanecer constante, quando um sistema não realizar trocas de calor com a vizinhança ($\Delta Q=0$). O desafio, nesse caso, seria criar máquinas adiabáticas, ou seja, máquinas que não trocam calor com o meio exterior.

O que não podemos conceber, naturalmente, é a diminuição da entropia, que, em tese, ocorreria quando o sistema perde calor ($\Delta Q<0$). No entanto, isso só seria possível se o sistema se mantivesse isotérmico ao longo de todo o ciclo. O

problema é que ao longo de um ciclo termodinâmico as transformações isotérmicas são apenas etapas, seguidas por outras etapas com entrada ou saída de calor, ou seja, não existe ciclos termodinâmicos baseados exclusivamente em transformações isotérmicas.

Isto nos leva a uma conclusão: a entropia global de um sistema sempre vai aumentar. Ou seja, sempre haverá desperdício de energia!

$$\Delta S > 0$$

O que nos leva a outra conclusão: não existe possibilidade de se obter rendimento de 100%. E mais, a tendência global é sempre a diminuição do rendimento ao longo tempo, ou seja, ao longo do tempo, a capacidade de realizar trabalho de um sistema sempre vai diminuir.

A equação da entropia também nos permite calcular a quantidade de energia transformada em calor em processos reversíveis que ocorram no equilíbrio térmico.

A determinação dessa quantidade de energia é fundamental para entendermos o rendimento das máquinas térmicas, inclusive a máquina corpo humano, pois quanto maior for a quantidade de calor dissipado, menor será o rendimento da máquina térmica!

Mesmo no funcionamento de motores muito eficientes, que operam segundo processos termodinâmicos cíclicos, a variação de entropia será positiva, pois parte da energia que é fornecida ao motor é dissipada em forma de calor, e é exatamente isso que acontece com o nosso corpo.

À medida que aproveitamos a energia obtida da respiração celular, uma parte considerável será dissipada em forma de calor, por radiação térmica, que é uma modalidade de energia muito aleatória

pouco aproveitável, ensejando numa diminuição de energia útil.

A entropia também é responsável pela formação dos estoques de gorduras do corpo. Uma vez que o corpo não consegue aproveitar de maneira tão eficiente a energia obtida diretamente dos alimentos, faz-se necessário a criação de grandes reservatórios de tecido adiposo para compensar o baixo rendimento das transformações químicas e essa necessidade tende a aumentar com a idade.

Lamentavelmente, a entropia também é a responsável pelas falhas nos processos de replicação celular, que tendem a causar a morte das células e a perda da capacidade regenerativa. É por esse motivo que envelhecemos e morremos.

Ufa! Ao final daquela aula inaugural eu precisei de um bom tempo para refletir – e descansar! A verdade é que eu já estava “morto”, como se tivesse malhado duro

naquele dia. E o mais incrível é que eu não tinha nem me levantado da carteira!

Depois o físico me explicou o motivo: o cérebro humano consome cerca de um quinto de toda energia disponibilizada pelo corpo. São cerca de 73 mg de glicose por minuto! Pensar gasta tanta energia quanto se exercitar

Embora eu precisasse de tempo para processar tudo, toda essa informação, naquele ambiente, fazia muito sentido.

Eu realmente estava sentindo que poderia alcançar meus objetivos corpóreos (pois eu estava um pouco acima do peso ideal), e de quebra aprender física: havia muita ciência por trás de tudo.

CAPÍTULO 3: “A RESPIRAÇÃO”

Uma das aulas mais importantes na academia mudaram a maneira que de eu enxergar a respiração.

Num certo instante da aula, o professor começou a falar da respiração celular. Ele colocou uma equação no quadro e falou sobre as etapas do processo de respiração celular, que englobam a quebra da molécula da glicose para a liberação de moléculas menores de ATP (adenosina trifosfato), que é uma espécie de “moeda de energia” para o nosso corpo.

A formação de ATP é importante porque a quebra total da molécula da glicose liberaria muito mais energia do que as nossas células seriam capazes de absorver, daí, por pura praticidade, o nosso corpo utiliza unidades menores de fontes energéticas, as famosas moléculas de ATP.

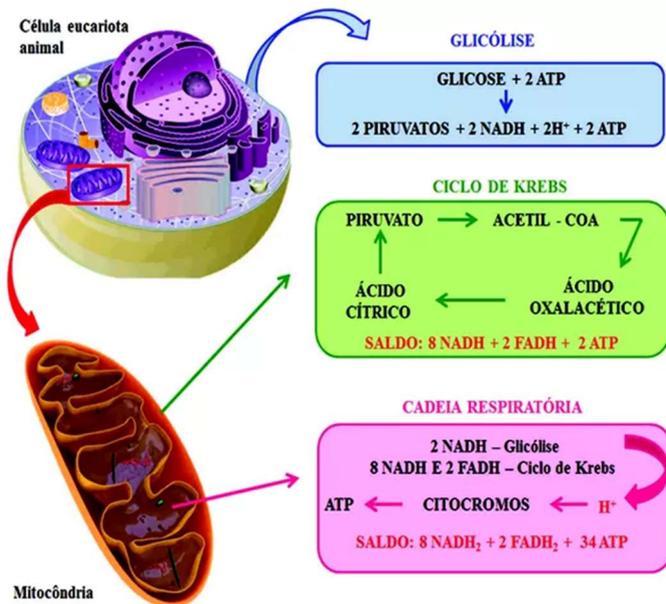


FIGURA 1 RESPIRAÇÃO CELULAR: FONTE: OBJETOS EDUCACIONAIS/MEC

Daí, quando as células precisam de energia, o ATP é convertido em ADP (adenosina trifosfato), liberando cerca de cerca de 7,3 kcal/mol, ou 14,39 cal/g. Considerando que cada grama de glicose pode gerar até 277 gramas de ATP, após as sucessivas reações químicas, obtemos a quantidade 4 kcal/g de carboidrato.

O professor ainda explicou que a glicose é a principal fonte energética do nosso corpo, mas não é a única!

A verdade é que nosso corpo dá preferência aos carboidratos para a obtenção de energia, mas também é possível a conversão de energia através dos lipídios, e em último plano, através das proteínas, bastando-se apenas, para esses dois últimos, um arranjo bioquímico para a obtenção das “moedas” de “ATP”.

É por isso que os alimentos altamente proteicos são indicados numa dieta para a perda de peso, porque seus aminoácidos, mais complexos, além de servirem como fonte de energia, também funcionam como matéria-prima para a síntese de

proteínas do organismo. Além do mais, estes alimentos costumam ter digestão mais lenta, levando-se mais tempo e energia para a conversão dos ATP.

É importante salientar que os músculos têm sistemas distintos para gerar ATP.

Saber disso é importante para a escolha ideal de atividades físicas, uma vez que diferentes tipos de exercício utilizam diferentes sistemas.

O professor explicou que os ATP dos músculos podem ser obtidos pelo: 1- sistema fosfagênio (ATP-PC); 2- sistema anaeróbio láctico (Glicólise anaeróbia) e sistema aeróbio (Respiração aeróbica).

No sistema ATP-PC, uma célula muscular possui determinada quantidade de ATP que pode ser usada imediatamente, mas isto é suficiente para durar apenas cerca de **três segundos**.

Para reconstituir rapidamente os níveis de ATP, as células musculares contêm um composto de fosfato altamente

energético, chamado de fosfocreatina, ou CREATINA. O sistema do fosfato pode suprir as necessidades energéticas dos músculos em atividade, mas apenas **por 8 ou 11 segundos**. É por isso que a Creatina é tão utilizada nas academias, elas “turbinam” a capacidade regenerativa dos músculos, fornecendo energia extra o treino.

No sistema anaeróbico láctico (glicólise anaeróbia), os músculos usam suas reservas de um tipo de carboidrato complexo, formado de moléculas de glicose, chamado de glicogênio.

A célula quebra o glicogênio em glicose que é usada para produção das “moedas” de ATP na ausência de oxigênio, gerando como subproduto o ácido láctico ou lactato. Daí o lactato pode servir de substrato na síntese de glicose através de um processo denominado gliconeogênese (síntese de glicose a partir de substâncias novas), que pode fornecer energia por até **3 minutos de atividade física**.

No sistema aeróbico, o ATP é formado na mitocôndria na presença de oxigênio a partir da oxidação de carboidratos, lipídios e proteínas provenientes do próprio músculo ou da corrente sanguínea, e os produtos gerados são ATP, CO_2 , H_2O , radicais livres e calor.

O sistema oxidativo produz ATP em ritmo mais lento, mas pode continuar o fornecimento por **muitas horas**, contanto que o suprimento de combustível esteja presente.

Embora a molécula de oxigênio participe apenas no final do processo de respiração celular e para processos calóricos de maior duração, é justamente nessa etapa que são formados mais ATP, ou seja, a falta de oxigênio comprometeria todo o processo.

Esse fato faz do oxigênio um bom medidor de gasto energético, que permite uma avaliação precisa do gasto calórico de uma pessoa.

Em termos muito simples, cada litro de oxigênio (O_2) inspirado e processado pelo corpo é capaz de liberar cerca de 5 kcal (quilocalorias). Isso quer dizer que numa atividade física que demande muitas inspirações por minuto, tipo 1 litro de oxigênio em um minuto, liberará/consumirá cerca de 300 kcal (5x60minutos)! É pura matemática. É por isso que ficamos ofegantes com atividades físicas intensas. Demanda-se mais oxigênio para a disponibilização de energia.

Assim, para emagrecer, a ideia é consumir muito oxigênio. Mas não basta tentar respirar mais rápido - isso não vai adiantar, porque o oxigênio não vai ser processado em nível celular. É necessário consumir a nível celular, gastando-se energia continuamente, na forma de trabalho mecânico de longa duração, tipo num treino de corrida ou ciclismo, atividades tipicamente aeróbicas.

CAPÍTULO 4: “METABOLISMO BASAL”

Otra coisa que me ajudou muito a entender o que eu precisava fazer para atingir meu objetivo foi a descoberta do meu **metabolismo basal**, que nada mais é do que o consumo energético de uma pessoa em absoluto repouso, ou seja a energia necessária para manter em funcionamento os seus órgãos vitais, tipo o coração e o cérebro.

Pois bem, eu descobri que o meu consumo calórico basal é de cerca de 2.000 kcal/dia. Mas o legal foi aprender a fazer essa conta.

Logo após a aula sobre a termodinâmica do corpo humano, o professor me levou para fazer algumas medidas antropométrica (mediu minha cintura, minha composição corporal, etc).

Depois, ele disse que calcularia meu consumo de oxigênio. Bem, ele tinha um aparelho que media o consumo de oxigênio por minuto. Eu relaxei um pouco e depois de uns 5 minutos ele mediu o meu consumo médio de oxigênio: cerca de 0,28 litros/min.

Agora ficou fácil medir o meu metabolismo basal. Como cada litro de oxigênio inspirado consumia cerca de 5 kcal, e eu consumia 0,28 l/min, então, em 24 horas, o meu consumo de oxigênio era de 403,2 litros ($0,28 \times 60 \text{ min} \times 24 \text{ h}$)! E mais, se cada litro de oxigênio inspirado é 5 Kcal, então o meu metabolismo basal só podia ser 2016 kcal.

Outra maneira simples de se obter o consumo calórico basal (metabolismo basal) é dada pela fórmula de bolso, da nutrologia, que basicamente consiste em

multiplicar a sua massa corporal por 24 horas. Ou seja, se a minha massa é de 80kg, o metabolismo basal será: $80 \times 24 = 1920$ kcal/dia. O resultado não é preciso, mas é um bom ponto de partida.

Agora eu já conseguia entender o que era necessário para atingir meu objetivo. O professor explicou que é uma questão de matemática: se você quer engordar, você precisa criar um superávit calórico, ou seja precisa ingerir mais calorias do que o seu corpo é capaz de gastar num período de 24h (gasto energético total - GET). Mas se você quer emagrecer, o procedimento é o contrário – você precisa ingerir menos calorias do que o seu gasto energético total. O GET é a soma do metabolismo basal com as atividades físicas realizadas no período de 24h.

No meu caso, eu precisava desenvolver um **déficit calórico**, logo, a minha ingestão calórica diária deveria ser menor que 2.000 kcal.

E você, consegue agora calcular o seu metabolismo basal?

Mas se o seu objetivo é ganhar massa corporal, aí você vai precisar desenvolver um superávit calórico.

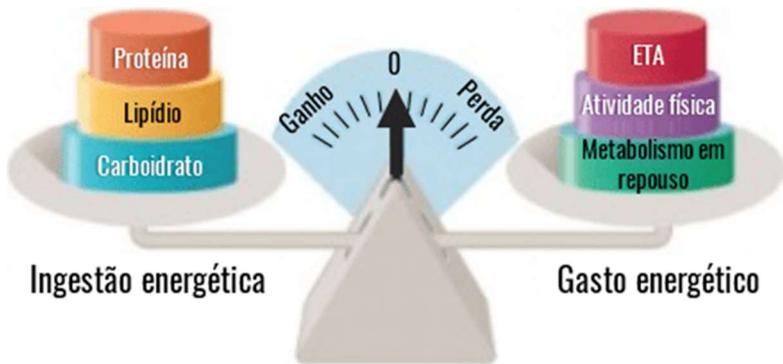


FIGURA 2: BALANÇO ENERGÉTICO. FONT: MUNDOBOAFORMA

CAPÍTULO 5: “A COMPOSIÇÃO CORPORAL”

Durante muito tempo, os médicos e especialistas classificavam a obesidade exclusivamente através de uma medida chamada de IMC (índice de massa corporal), que é a razão entre a massa (kg) e o quadrado da altura, em metros.

Ocorre que se basear somente no número da balança e no IMC é muito precário, afinal, como o professor dizia: “o nosso corpo é mais que massa e altura.”

Para reforçar, quando analisamos apenas a relação entre massa e a altura (IMC) de um fisiculturista, logo concluiríamos que ele está obeso, o que evidentemente não é verdade.

Desta forma, reconhecer qual é a real relação entre músculo e gordura é fundamental para a adoção de estratégias eficientes, a fim de se atingir o objetivo.

De forma bem geral, Nahas (2010) define a composição corporal como as quantidades relativas de diferentes compostos corporais, como água, proteínas, minerais, ossos, músculos e gorduras, bem como a estimativa de massa magra (livre de gordura) e de massa gorda.

Esses últimos compostos: massa magra e massa gorda merecem destaque. Isto porque a relação entre esses dois componentes pode indicar o nível de saúde do indivíduo. Quanto mais massa magra melhor, e o inverso é verdade.

Hoje em dia, o excesso de gordura corporal tornou-se uma das maiores

preocupações por parte das autoridades, pois é fator de risco para outras doenças como câncer, problemas cardiorrespiratórios e depressão.

A Organização Mundial da Saúde afirma que a obesidade é um dos problemas mais graves no mundo e estima que, em 2025, 2,3 bilhões de pessoas estarão em sobrepeso (IMC > 25).

E no Brasil, em 2019, 20,3% da população brasileira estava obesa, com IMC maior 30 kg/m².

Fato curioso é que, segundo a OMS, a obesidade decresce com o grau de escolaridade, o que quer dizer que quanto mais informação melhor.

Por isso, o professor disse que era fundamental encontrar a relação correta entre músculos e gorduras no corpo humano.

Ele sugeriu usarmos conceitos físicos para estimar o percentual de gordura corporal. **Consegue imaginar como?**

Desde a década de 60, a composição corporal foi objeto de incansáveis estudos, destacando-se os estudos de William E Siri, que procurou resolver a questão através da densidade corporal.

Siri (1956) propôs que o percentual de gordura poderia ser obtido através da seguinte equação:

$$\%gordura = \left(\frac{4,95}{d} - 4,5 \right) \times 100\%$$

Onde a única variável, d , é a densidade corporal. Você deve se lembrar, das aulas de física, que a densidade volumétrica é a razão entre a massa e o volume.

$$d = \frac{m}{V}$$

Sabemos que os músculos e os ossos são ligeiramente mais densos que a água, enquanto a gordura corporal tem densidade menor que a água, cerca de 0,8 kg/cm³, o que leva a densidade média do corpo humano para algo próximo de 1,04 kg/cm³.

É por isso que pessoas com percentual de gordura elevado flutuam mais facilmente em água, enquanto pessoas com percentual maior de massa magra têm mais dificuldade em flutuar.

A propósito, uma forma bem fácil de encontrar a densidade do nosso corpo é por medir o volume de água deslocado quando o nosso corpo é completamente submerso em água. Essa é a essência da lei do Empuxo.

Com a massa e volume, a densidade pode ser obtida pela fórmula:

$$d = \frac{m}{V}$$

Por exemplo, suponha que você tenha 60 kg e resolve mergulhar numa piscina completamente cheia. Imagine, ainda, que a piscina esteja equipada com um "ladrão", de forma que foi possível perceber um extravasamento de 61,8 litros

de água. Qual seria a sua densidade corporal? E o percentual de gordura?

Nesse exemplo, a densidade corporal seria de $1,03 \text{ kg/cm}^3$ e o percentual de gordura seria de 30,6%.

O grande desafio é medir, com precisão, o volume de água deslocado pelo corpo humano submerso. Afinal, nem todo mundo tem uma piscina equipada com “ladrão”!

Um método alternativo muito simples consiste na estimativa da densidade corporal, através da colheita de algumas medidas do corpo, como: a altura [H], a circunferência abdominal [CA] (na altura do umbigo), a circunferência do pescoço [CP] (na região abaixo do “pomo de adão”) e, apenas para mulheres, a circunferência do quadril [CO] (na parte mais larga). Todas as medidas acima devem ser em centímetros.

Após colher as medidas com uma fita métrica, uma adaptação da fórmula de Siri

permite o cálculo do percentual de gordura corporal:

1- Para homens:

$$\% \text{ gordura} = \frac{495}{1,0324 - 0,19077 \cdot \log(CA - CP) + 0,15436 \cdot \log H} - 450$$

2- Para mulheres:

$$\% \text{ gordura} = \frac{495}{1,29579 - 0,35004 \cdot \log(CA + CQ) + 0,22100 \cdot \log H} - 450$$

Os logaritmos acima estão todos na base 10! Repare que o denominador das frações acima se referem a uma estimativa da densidade corporal.

A diferença nas equações para homens e mulheres se deve em razão do percentual de gordura corporal na mulher,

que é naturalmente maior, na ordem de 5%.

Agora, que tal você calcular o seu percentual de gordura?

Depois de encontrar o seu percentual de gordura, analise a sua situação pessoal.

A análise do percentual de gordura permite definir a melhor estratégia para atingir o seu objetivo. A tabela abaixo, poderá dar um norte:

% gordura corporal	Homens	Mulheres
Nível de competição	3%-6%	9%-12%
Bastante em forma	$\leq 9\%$	$\leq 15\%$
Em forma	10%-14%	16%-20%

Média	15%-19%	21%-25%
Abaixo da média	20%-25%	26%-30%
Precisa de atenção	26%-30%+	31%-40%+

TABELA 1- ANÁLISE DO PERCENTUAL DE GORDURA

Por fim, o professor mostrou um jeito relativamente preciso de se estabelecer a composição corporal.

O processo consiste na montagem de um circuito elétrico simples RC, com o objetivo de analisar a composição corporal pela análise da resistência elétrica à passagem da corrente elétrica pelos tecidos corpóreos.

Quando uma corrente elétrica alternada passa pelo corpo humano, a condução elétrica se dá exclusivamente pelos fluidos intra/extracelulares, sendo que esses fluidos correspondem a cerca de 73% da massa livre de gordura do corpo. Os outros 27% é o que chamamos de massa magra (proteínas e compostos viscerais.)

O tecido adiposo e os ossos se comportam como isolante elétrico.

Dessa forma, com o auxílio de um osciloscópio, é possível conhecer a composição corporal, pela impedância gerada pelo corpo analisado (circuito).

Chamamos de impedância a oposição que um circuito elétrico (corpo humano) impõe à passagem de corrente elétrica quando é submetido a uma certa tensão. Em outras palavras, o nível de resistência elétrica (impedância) imposto pelo corpo humano é diretamente proporcional ao percentual de gordura.

Logo, a análise das frequências obtidas pelo osciloscópio permitirá a descrição qualitativa da composição corporal, permitindo o levantamento do percentual de massa livre de gordura e massa gorda. Quanto maior a massa gorda de um indivíduo, maior será a impedância do corpo à passagem da corrente elétrica.

No meu caso, os resultados foram os seguintes: 30% de massa gorda e 27% de massa magra. Claramente, eu precisava diminuir meu percentual de gordura!

CAPÍTULO 6: “A NUTRICIONISTA”

O próximo passo foi uma visita à nutricionista! Eu tinha trauma daquelas sessões. Afinal, desde pequeno minha mãe me levava à nutricionistas e a simples palavra nutrição me fazia lembrar do estresse e das dietas que eu tive que experimentar.

Mas o pior era o tal do pão integral:

- Eu odeio pão integral...

Mas eu estava realmente determinado. A Nutricionista da academia também era excepcional. Nada tinha a ver com aquelas senhoras chatas que me consultaram no passado. Ela era alta, cabelos encaracolados, porte atlético, descolada, enfim, era linda...

Mas o melhor era que ela falava a minha língua e elaborou um plano alimentar que realmente tinha a ver com a minha rotina alimentar, o que facilitou a minha readaptação alimentar.

Uma coisa interessante que a nutricionista falou foi que como a nossa energia vem dos alimentos, é fundamental aprender a contar as calorias que ingerimos, pois se consumirmos mais energia do que precisamos para realizar as tarefas do dia-a-dia, o excedente será armazenado em forma de gordura.

Podemos fazer isso quando analisamos as informações nutricionais contidas nas embalagens dos alimentos.

Quando no rótulo de um alimento aparecer a informação de que “uma porção de 30g contém 100 kcal”, quer dizer que ao digerirmos a referida porção, nosso organismo será capaz de disponibilizar 100 kcal de energia em nosso corpo, que poderá ser utilizado ou armazenado em forma de gordura.

Assim, se você souber do que um alimento é composto, poderá calcular a energia que ele é capaz de fornecer.

Os grupos alimentares podem ser divididos em carboidratos (contido no açúcar, arroz, batata, trigo, etc.), proteínas (carnes, legumes, etc.) e lipídios (gorduras).

Cada grama de carboidrato ou proteína pode se converter em até 4kcal; agora um grama de gordura fornece quase 9 kcal.

Isto quer dizer que para eu atingir o meu gasto energético de 2000 kcal, eu poderia ingerir, por dia, 500 g de carboidratos ou combinar 250 g de carboidrato e 250g de proteína. Ou, ainda,

fazer uma combinação dos três grupos alimentares.

Mas atenção: se você ingerir no almoço 1 kg de comida, não importando qual, você poderá ingerir mais de 4.000 kcal numa única refeição!!!! Então, muito cuidado com a quantidade total.

A verdade é que quando combinamos os alimentos, potencializamos os resultados. Isto acontece porque o nosso corpo não precisa apenas de energia. Os alimentos também são fontes de vitaminas e minerais, que são os “tijolinhos” do nosso corpo.

Quando queremos aumentar o percentual de massa magra (músculos), precisamos dos “tijolinhos” necessários: proteínas e vitaminas.

Logo, se pensarmos apenas nas calorias, o nosso corpo poderá ficar deficiente de vitaminas e minerais, o que pode prejudicar a saúde, além de dificultar o processo de emagrecimento.

Além disso, alguns alimentos são de mais difícil digestão, o que pode ser um fator positivo quando queremos emagrecer.

Por exemplo, o nosso corpo gasta mais energia para digerir a proteína do que o carboidrato. Isto quer dizer que se o seu objetivo é emagrecer, é mais inteligente aumentar o consumo de proteínas do que de carboidrato, já que ambos fornecem a mesma energia por grama, com vantagem para as proteínas, pois demandam mais energia para serem processadas.

Além do mais, o corpo humano processa muito melhor os carboidratos do que as proteínas, e por isso, acabam armazenando a energia extra mais eficientemente, transformando-a em triglicerídeos, que serão posteriormente armazenados nas células do tecido adiposo.

Que dizer da gordura? Pense no seguinte, é muito difícil queimar arroz ou feijão e usar a energia liberada para aquecer uma certa quantidade de água

(na física chamamos essa energia liberada de equivalente em água - EA), uma vez que esse processo exigiria uma atmosfera altamente enriquecida com oxigênio (Analogamente: uma respiração mais intensa).

No entanto, é relativamente fácil queimar gordura como óleos, castanhas, amendoim e usar a energia para aquecer uma certa quantidade de água. Isto quer dizer que gorduras liberam mais energia do que carboidratos e proteínas.

De fato, as gorduras possuem mais que o dobro da energia do que os carboidratos ou as proteínas. Então pense um pouco: se você comer 30 g de carboidrato, você obterá 150 kcal; se comer 30 g de gordura obterá cerca de 270 kcal. O pior, é que é difícil comer pequenas porções de gordura: alimentos ricos em gorduras são irresistíveis!

A Nutricionista me alertou para o problema dos chamados “ultraprocessados”, como bolachas, sorvetes, salgadinhos, etc. Estes alimentos

são riquíssimos em gordura *trans*, que atuam diretamente no aumento do colesterol ruim, associado às cardiopatias.

A nutri também disse que muitas pessoas que começam a fazer alguma atividade física reclamam de obterem o efeito reverso, ou seja, ao invés de emagrecer e perder gordura, ganham “peso” e aumentam a massa gorda.

Ela explicou que isso acontece porque o aumento de atividades físicas na rotina diária gera mais apetite e o nosso corpo não entende direito o quanto de comida nós realmente precisamos para lidar com o déficit calórico. Daí, se sucumbirmos à fome, poderemos ingerir mais do que a atividade física realmente demandou e acabar engordando.

É exatamente por isso que precisamos escolher com cuidado a quantidade e a qualidade dos alimentos, caso contrário, o balanço energético será positivo e o ganho de massa gorda também!

Nesse sentido, eu aprendi que como os carboidratos são a principal fonte de energia durante o exercício, devemos ingeri-los numa refeição cerca de 3 horas antes do treino, ou num pequeno lanche uma hora antes.

Eles também devem ser ingeridos logo após o término da atividade para repor os estoques de carboidrato (glicogênio), favorecendo a recuperação do músculo para as próximas atividades.

A nossa preferência deve ser a ingestão dos carboidratos complexos (amido) como pães, biscoitos, cereais, arroz, batata, etc. (fuja dos alimentos altamente processados!). Isto é importante porque o glicogênio, que é a principal fonte de energia utilizada pelos músculos durante os exercícios, tem seu estoque limitado e a reposição destes estoques deve ser constante. **Mas muito cuidado com as quantidades.**

As proteínas também são importantes para uma boa atividade física, pois, seus aminoácidos irão servir como fonte de energia e como matéria-prima para a síntese de proteínas do organismo, inclusive aquelas que constituem o próprio músculo.

A Nutri afirmou que os proteicos devem ser consumidos distantes dos horários de treino e de forma fracionada, ou seja, em várias refeições para que haja melhor aproveitamento dos aminoácidos pelo tecido muscular.

Já os lipídios, embora fundamentais como fonte de energia, devem ser consumidos com muita moderação, por estarem diretamente relacionados com a formação dos triglicerídeos, que é a matéria-prima das células do tecido adiposo. A sugestão é o consumo moderado das chamadas gorduras “boas” como azeite, peixes, nozes, abacate, etc.

Desta forma, ela me apresentou o “prato-modelo”, constituído de 25% de proteínas (de preferência com baixo teor de

gordura); 25 % de carboidratos (de preferência de cadeia complexa, como os integrais) e 50 % de vegetais crus ou cozidos (folhas e verduras).

É importante destacar que em alguns casos uma suplementação pode ser indicada, especialmente se a reposição de vitaminas e minerais não puder ser suprida pela alimentação convencional. Por isso, é fundamental o acompanhamento nutricional.

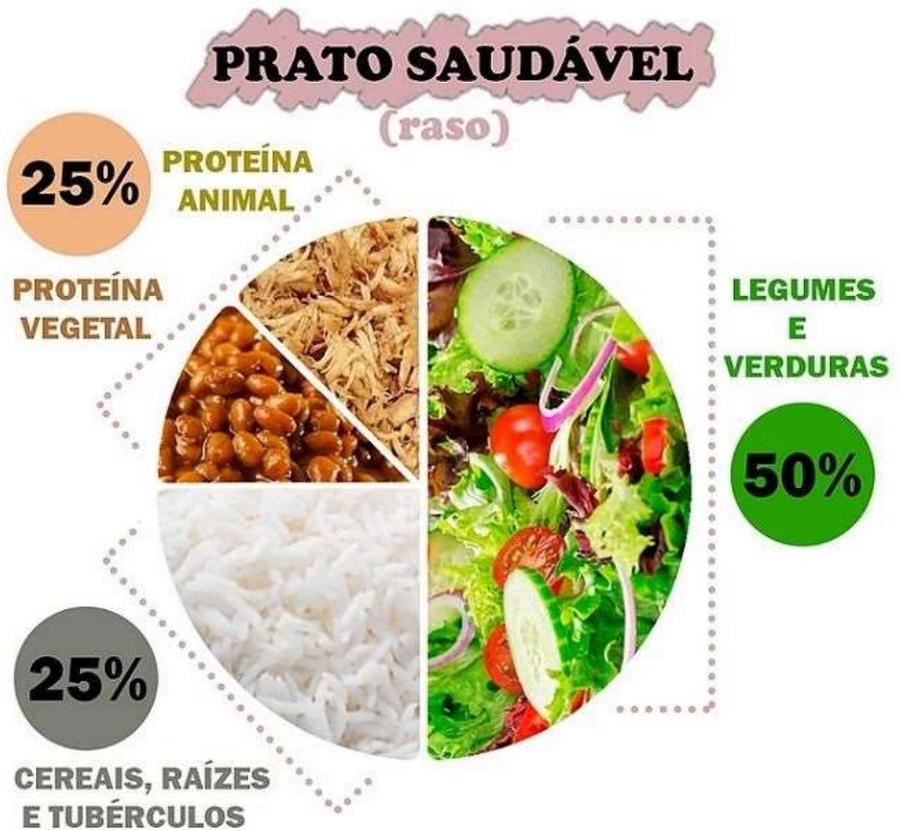


FIGURA 3: PRATO SAUDÁVEL. FONTE: ANGELAREISNUTRI.COM.BR

CAPÍTULO 7: “O DÉFICIT CALÓRICO”

A etapa seguinte do meu processo foi o planejamento estratégico do Déficit calórico. A nutricionista já tinha elaborado um plano alimentar muito bom, mas eu queria mais.

Basicamente, o que eu queria é o que todo mundo quer: perder gordura e ganhar músculos. Lembro-me de ela dizer que cada quilograma de gordura corporal equivalia a cerca de 7.500 kcal. Ou seja, para emagrecer 1kg de gordura pura, eu precisaria desenvolver um déficit de pelo

menos 7.500 kcal. Daí já dá para ver que não é trabalho para se fazer em um único dia!

Se eu gastasse diariamente 100 kcal a mais de energia do que eu ingerisse, ou seja, se meu déficit calórico fosse de 100 kcal diários, eu levaria 75 dias (7500 kcal / 100 kcal/dia) para emagrecer apenas 1 kg de gordura pura. Obviamente, não dá para emagrecer somente gordura.

Então, o professor propôs um plano de treino bem diferenciado. A ideia era usar a física para gastar mais energia.

As experiências que eu vivenciei me mostraram que o consumo de oxigênio crescia exponencialmente num treino (lembre-se que o consumo de oxigênio é um dos medidores de gasto calórico). Por exemplo, dependendo do exercício, o consumo de oxigênio pode ser até sextuplicado e aí, em vez de se gastar 300 kcal em uma hora, e poderia gastar até 1200 kcal!

Vale sempre a pena dizer que antes de se submeter a treinos moderados e intensos, **uma avaliação médica é necessária**. Apenas o profissional médico especializado poderá dizer se é seguro iniciar atividades intensas. Algumas pessoas podem ter problemas cardiovasculares ocultos que poderiam ser mortais sob atividades de alto impacto. No meu caso eu consegui a aprovação médica.

Voltando ao déficit calórico, para me ajudar nesse processo e me dar alguma vantagem intelectual, o professor elaborou uma equação de consumo calórico (G) personalizada, baseada na famosa equação de Harris-Benedict:

$$G = N \times M \times \Delta t,$$

onde **M** é a minha massa corporal e **Δt** é o tempo da atividade física, em horas. O índice **N** se refere ao índice de intensidade da atividade física (Equivalente metabólico da tarefa – MET). No caso de repouso, $N = 1$; $N = 2$ para atividades bem leves; $3 < N < 6$ caminhadas mais intensas; corridas podem ter N entre 7 e 9; e etc.

MET DAS ATIVIDADE FÍSICAS

Atividade	Intensidade	MET
Corrida Intensa	13,5km/h ou 4:30 min/km	13,5
Squash	Moderado	12,0
Ciclismo Intenso	25km/h	12,0
Corrida Moderada	10,5km/h ou 5:40 min/km	11,5
Corrida Leve	8km/h ou 7:30 min/km	9,0
Basquete	Moderado	8,0
handball	Moderado	8,0
Vôlei de Praia	Moderado	8,0
Tênis	Simple	8,0
Futebol	Recreação	7,0
Patins	Moderado	7,0
Ciclismo Moderado	18km/h	6,0
Natação no mar	Moderado	6,0
Tênis	Dupla	6,0
Skate	Moderado	5,0
Caiaque	Moderado	5,0
Surf	Moderado	3,0
Ioga	Moderado	2,5

Fonte: Dr. Turibio Barros e Dr^o. Cristiane Perroni / *Valores sujeitos a variabilidades individuais

Figura 4 EQUIVALENTE METABÓLICO DA TAREFA

Com isso em mente, eu podia elaborar algumas atividades aeróbicas *outdoor* que potencializariam o meu déficit calórico. Por exemplo, passei a caminhar rapidamente duas vezes por dia, por uma hora. Cada sessão, em média, com $N=5$, consumia cerca de 416 kcal ($5 \times 83,33 \text{ kg} \times 1 \text{ h}$). Ou seja, apenas com essas duas caminhadas eu consumiria 832 kcal das minhas reservas de energia. Nada mal!

Com apenas esse número em mente, 832 kcal das caminhadas, e considerando o meu metabolismo basal de 2.000 kcal, eu teria duas alternativas válidas: o meu plano alimentar poderia ofertar mais energia, ou seja, eu poderia comer um pouco mais e mesmo assim emagrecer; ou poderia manter meu plano alimentar de cerca de 2.000 kcal, e emagrecer mais rápido, afinal, com um déficit calórico de 832 kcal, eu precisaria de menos de 10 dias para perder um quilograma de gordura corporal.

Depois de refletir sobre o gasto calórico das caminhadas, eu passei a valorizar ainda mais essa atividade gratuita e pensar em outras maneiras de aumentar o meu consumo energético diário.

Algumas pessoas costumam menosprezar as caminhadas, ou pior, rotulam-na como se fossem reservadas apenas a idosos. Mas não se deixe enganar. As caminhadas são muito indicadas para a formação do déficit calórico. Na verdade, todas as atividades físicas contribuem para o déficit calóricos e devem ser escolhidas de acordo com as nossas preferências e disponibilidades.

E o que já é bom pode melhorar: a física pode ajudar ainda mais! Pense um pouco: uma caminhada pode ser mais intensa não apenas quando se caminha mais rápido. Ela também fica mais intensa, talvez muito mais intensa, quando há desnível. Isto acontece porque além do atrito e de outras forças dissipativas que precisam ser superadas na caminhada em

rampa, também é necessário variar a energia potencial gravitacional.

De forma que a energia total exigida no exercício será:

$$E_{\text{total}} = E_{\text{gravitacional}} + E_{\text{dissipada total}}.$$

Com isso em mente, passei a fazer caminhadas mais intensas, literalmente, cheia de altos e baixos.



FIGURA 5: CAMINHADA EM ACLIVE. FONTE: ISTOCK

Outra ação simples que pode potencializar o gasto calórico numa atividade aeróbica consiste num fenômeno conhecido, envolvendo a força de atrito.

Quando estudamos a força de atrito, aprendemos que há diferença entre o atrito estático (em repouso) e o atrito dinâmico (em movimento). O atrito estático é mais intenso que o atrito dinâmico.

Sabendo que a força de atrito é a principal força de resistência exigida, tanto na caminhada como na corrida, quando intercalamos sessões de movimento mais intenso, com repouso, ou movimento menos intenso, poderemos experimentar um gasto maior de energia, no mesmo intervalo de tempo. Ou seja, gastamos mais energia quando variamos a velocidade.

CAPÍTULO 8

“AS MÁQUINAS NÃO-TÉRMICAS”

O que é mais impressionante nas academias de musculação é que elas realmente são o parque de diversões das máquinas. E visivelmente o corpo humano não é a única máquina ali presente. Talvez seja a única máquina térmica. Mas a academia está cheia de máquinas não-térmicas.

Se você gosta de polias, tem um montel! As polias foram criadas para potencializar as atividades humanas, melhorando a eficiência de uma força.

Talvez você se lembre das polias de Arquimedes.

As polias também podem aumentar a quantidade de grupos musculares a serem trabalhados.

Também têm os elásticos – lembrou da Lei de Hooke? Agora sim eu entendi o que significa

$$F = - kx.$$

Uma coisa interessante que eu aprendi com o professor foi a importância da real compreensão de uma grandeza que às vezes parece muito distante do nosso dia a dia – o torque.

Sendo bem simplório, o torque é a quantidade de força diretamente associada à rotação de uma estrutura (barra) em torno de um eixo. Essa força, capaz de rotacionar uma barra depende da distância da ação da força em relação ao eixo de rotação, e também do ângulo formado entre a força e a estrutura (mais precisamente do seno do ângulo), ou seja:

$$T = F \cdot d \cdot \sin \alpha.$$

Como dizia o professor, “é um equilíbrio bem delicado!” Uma leve mudança no ângulo exercido pela força pode mudar radicalmente a intensidade da força potente exigida num movimento – e consumir mais oxigênio!

Por exemplo, ao invés de fazer simplesmente um único tipo de exercício para o bíceps, tipo o “rosca direta”, decidi fazer também o “rosca martelo” apenas com uma mudança angular. Esta simples mudança, mesmo que discreta, potencializou o meu déficit calórico, porque além de realizar um trabalho gravitacional, também é exigido um trabalho rotacional, acionando mais grupos musculares e, conseqüentemente, mais conversão de energia muscular.

Similarmente, quando fazemos a puxada, variar o ângulo da pegada pode aumentar o consumo de energia, por conta do acréscimo de força na execução

do exercício. Até porque, às vezes, a evolução da carga num treino é tão discreta que não existem anilhas suficientes, e a variação angular pode dar conta da elevação da carga. Sugestão: quando estiver treinado flexões de braço, experimente flexões com os braços gradativamente mais abertos; quando estiver fazendo barra, também experimente variações discretas na abertura dos braços, isto exigirá um aumento de força e gasto ainda maior de energia.

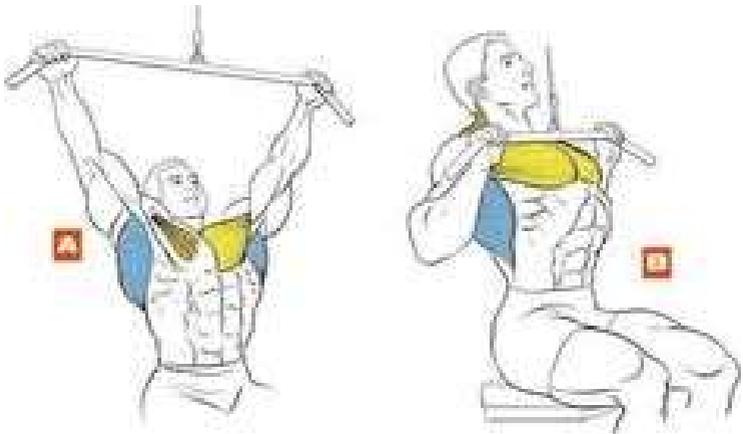


FIGURA 6: PUXADA ALTA: "B" UM POUCO MAIS ABERTA QUE "A"

CAPÍTULO 9: “O CORAÇÃO”

Como já asseverado, o coração é um bom indicador do consumo de energia pelo corpo.

O coração é uma bomba complexa, mas em termos energéticos pode ser comparada a uma bomba elétrica, que consome cerca de 10% da energia total disponibilizada pelo corpo.

Como uma bomba elétrica, é mais fácil pensar na energia consumida pelo

coração quando pensamos na potência elétrica exigida para o seu funcionamento.

Recordando o conceito físico de potência, podemos dizer que é a rapidez com que se realiza trabalho (ou de forma mais simples, é a energia consumida em função do tempo), ou seja a potência mede a quantidade de energia gasta num certo intervalo de tempo.

Podemos encontrar a potência consumida por um coração, obtendo 10% da energia produzida pelo corpo (metabolismo basal (em joules) e dividindo o resultado pelo tempo equivalente a 24 horas, em segundo (ou seja $24h \times 3600s = 86400s$).

Assim a potência do nosso corpo será:

$$P_{\text{corpo}} = \frac{\text{Metabolismo basal (joules)}}{86.400},$$

E a potência do coração será:

$$P_{\text{coração}} = 0,1 P_{\text{corpo}}$$

No meu caso, a potência entregue pelo meu corpo é de 96,7 W (quase 100 W!). Consequentemente, a potência média do meu coração é de 10 W.

Isto quer dizer que o coração, em média, gasta, sozinho, 10 Joules de energia por segundo, ou 2,39 calorias por segundo, para funcionar. Então, em uma hora, o coração vai gastar 36.000 Joules (3600 segundos X 10Joules)! O legal é que esse valor é médio. Se o coração bater mais forte, gastará mais energia. Se ele bater menos, o gasto será menor.

Obviamente, tanto a potência produzida pelo corpo quanto a potência consumida pelo coração variam de pessoa para pessoa, dependendo do metabolismo basal de cada um.

Para entender a importância desses números, pense numa lâmpada elétrica de 10W, o mesmo consumo do meu coração.

Obviamente, eu conseguiria transformar a minha energia armazenada em energia elétrica através de um gerador elétrico movido a manivela.

Girando a manivela, eu conseguiria manter essa lâmpada ligada o tempo todo. Mas o que dizer de uma lâmpada de 100W, será que eu conseguiria mantê-la funcionando usando o mesmo gerador a manivela?

A resposta é sim, mas por curto tempo! Isto porque a potência do meu corpo é de cerca de 100W, a mesma potência da lâmpada, no entanto o meu corpo precisa acionar outros dispositivos: coração (10W), o cérebro (20W), os outros órgãos, etc., de forma que em pouco tempo eu ficaria sem energia para continuar acionando a referida lâmpada e mantendo vivo o meu corpo, afinal de contas, a energia gerada pelo corpo em um dia é limitada, podendo ser usada de forma fracionada, ou num intervalo menor de tempo, mas uma hora as reservas de energia acabam e o corpo precisará

escolher entre a manutenção da vida e a realização de um trabalho mecânico “inútil”.

Apenas a título de ilustração, quanta energia há armazenada em nosso corpo? A resposta é complexa, pois exige muitas ponderações, mas do ponto de vista estritamente físico, apenas para ilustrar, podemos dizer que corresponde à massa gorda total vezes a energia equivalente dessa gordura.

Por exemplo, supondo que uma pessoa tenha 80 kg e um percentual de gordura equivalente a 35%. Nesse caso, ela teria 28 kg de gordura. Se 1 kg de gordura equivale a 7.900 kcal, então essa pessoa teria um total de 221.200 kcal, ou 924.616 kJ disponível.

No entanto, não seria razoável imaginar que o corpo dispusesse de toda essa energia. À medida que converte energia química em energia mecânica, fica cada vez mais difícil manter a taxa de conversão, justamente por conta da

entropia. Logo, podemos imaginar que existe um limite de conversão energética.

Pensar nisso nos ajuda a confirmar que as atividades físicas podem atuar positivamente no processo emagrecimento, pois potencializam o déficit calórico.

Por exemplo, uma das atividades físicas aeróbicas mais intensas é a escalada vertical (subir escadas). O trabalho exigido nesse esforço é:

$$W = \text{massa} \times \text{gravidade} (10\text{m/s}^2) \times \text{altura};$$

e a potência desenvolvida, que é a razão entre o trabalho e o intervalo de tempo, será:

$$P = \frac{W}{\Delta t}.$$

Caso eu queira subir escadas, mantendo um gasto 100 W de energia, eu precisaria subir uma altura de 0,125 metros por segundo. Cerca de 13 centímetros em um piscar de olhos!

A princípio, a tarefa pode ser facilmente cumprida, mas em pouco tempo

a pessoa estará esgotada e não conseguirá subir mais nenhum degrau, por falta de energia útil!

Com efeito, gastando 100 W de energia para subir escadas verticais, uma pessoa que tem um metabolismo basal de 100 W, vai gastar 200 W (100W do consumo basal + 100 W da atividade física) por segundo! Isso representa 17.280.kJ ou 4.133,97 kcal em um único dia! A questão é se ela conseguirá produzir energia nessa taxa.

É verdade que ninguém vai se exercitar por 24 horas. Então, a dica é dar preferências para exercícios que exijam uma potência maior, pois consumirão mais energia.

Em alguns casos, a potência de alguns exercícios pode ser calculada previamente, mas é verdade que não dá para ficar calculando o tempo todo a potência de todos os exercícios físicos.

Por isso, o Físico disse que o coração é sempre um bom indicador da intensidade do gasto energético.

Atualmente, existem dispositivos vestíveis, como pulseiras e relógios, que medem e exibem a frequência cardíaca durante os treinos.

O Físico chamou de zonas de frequências o comportamento do coração diante das atividades do dia a dia.

A frequência cardíaca máxima (FCM) é o resultado da subtração do número de 220 bpm pela idade do indivíduo.

No meu caso, como eu tenho 16 anos, minha FCM é de 205 bpm. Isto quer dizer que o meu coração tem um pico de batimentos quando alcançar 205 bpm.

Um treino de altíssimo gasto calórico (alta potência) estará no intervalo de 90 a 100% da FCM. Um treino que leve o coração à frequência compreendida entre 80 e 90% da FCM é considerado difícil.

Entre 70 e 80% da FCM o treino é considerado moderado e é o melhor para

a manutenção do condicionamento aeróbico.

Já o treino com FC abaixo de 70% da FCM é considerado leve e é recomendado para pessoas com restrições médicas.

Como se vê, quando o treino físico é mantido com a FC acima dos 70% os resultados costumam ser melhores e esse foi o meu objetivo.

Embora seria de se esperar que os treinos com a FC acima de 90% fossem os mais indicados para perda de peso, normalmente essa faixa de FC não é sustentável e logo o indivíduo abandona a atividade, por falta de resistência.

Ocorre que nas faixas acima de 90% os níveis de lactato na corrente sanguínea aumentam e se tornam tóxicos, prejudicando a respiração celular, exigindo que o indivíduo pare para poder respirar (literalmente falta oxigênio!).

É exatamente o que acontece quando tentamos manter uma lâmpada de 100W ligada o tempo todo, através de um

gerador a manivela: com o tempo, simplesmente ficaremos esgotados, pois o nosso corpo tem limitada capacidade de gerar energia.



FIGURA 7 FREQUÊNCÍMETRO. FONTE: ONME.COM

CAPÍTULO 10: “O CÉREBRO”

A medida que o tempo ia passando, eu ficava cada vez mais focado nos treinos e nos estudos – estava “crescendo” e ficando mais esperto. A mudança foi tão grande que até Aline percebeu!

Aquilo me deixava ainda mais motivado. Eu estava muito feliz com as mudanças no meu estilo de vida. Mas não era só o físico, eu também estava melhorando o meu raciocínio – estava pensando mais rápido.

Afinal, um dos lemas da academia era “*mens sana in corpore sano*” (uma mente sã num corpo são).

O trabalho mental exigido na academia era muito intenso. O Físico sabia que treinar o cérebro era tão importante quanto treinar o corpo. Durante os treinos sempre tínhamos que resolver algum problema. A maioria das vezes eram cruzadinhas que envolviam conhecimentos gerais e problemas de física. Confesso que no começo eu odiava aquelas palavras cruzadas, mas depois entendi os benefícios.

Com já dito, o nosso cérebro consome cerca de 20% da energia que o nosso corpo produz (consumo basal). Usando o mesmo raciocínio usado para o coração, para uma pessoa que consome uma potência de 100 W, o cérebro, sozinho, consome cerca de 20 W.

Obviamente, cada pessoa tem o seu cérebro, com o seu próprio gasto, mas uma coisa é certa: quanto mais usamos o cérebro mais gastamos energia! Então, a

regra é simples – use e abuse dos processamentos cerebrais.

O cérebro gasta energia tanto para manter as funções vitais do nosso corpo, como a coordenação e manutenção dos órgãos e sistemas (matéria branca), bem como para o processamento da informação recebida pelo sistema nervoso central (matéria cinzenta).

Os cientistas calculam que a matéria cinza consome mais energia que a matéria branca. Isto se deve à grande quantidade de sinapses e mitocôndrias na matéria cinzenta, junto ao fato de que a matéria branca é mais eficiente e mais econômica.

O gasto energético cerebral é medido pela quantidade e velocidade de sangue que chega até ele. Assim como um computador ou smartphone consome mais energia quando mais exigidos, o cérebro também gasta mais energia para o processamento de atividades complexas. E quais seriam essas atividades?

São atividades que envolvem o processamento de dados. Por exemplo, quando estamos caminhando calmamente, sem preocupações, o gasto energético cerebral é praticamente basal. Agora, se durante a caminhada começarmos a pensar na solução de um problema difícil, o fluxo sanguíneo aumenta exponencialmente e o gasto calórico cerebral aumenta proporcionalmente.

É fato notório que quando estudamos duramente para uma prova, às vezes por horas a fio, emagrecemos. Nesses casos, o fluxo sanguíneo para o cérebro é aumentado. Talvez, por isso, temos mais fome quando estamos estudando exaustivamente.

Jogos eletrônicos de estratégia ou de tabuleiro também exigem esforço exta do cérebro e podem ser aliados no processo de emagrecimento. Não importa a atividade, o que é realmente importante é o grau de dificuldade: o quanto a atividade envolve a pessoa. Se a solução do

problema for imperiosa e urgente, a tendência é um maior gasto calórico.

Então, a dica do professor é simples: não esqueça de intercalar treinos físicos com sessões de estudo, ou com atividades recreativas interessantes como um bom jogo de xadrez – não se esqueça de pensar.

Por exemplo, embora alguns achem que pedalar *indoor* é a mesma coisa do que *outdoor*, a realidade é bem diferente.

Enquanto num treino *indoor* a pessoa tenha apenas que pedalar, no treino na rua o cérebro da pessoa tem que se ocupar com o equilíbrio, a atenção, a reação, etc. Na prática, o gasto calórico do treino *outdoor* é muito maior do que do treino *indoor*.

Outra sugestão é mesclar o raciocínio lógico com atividades de musculação, nesse caso, durante a execução de uma série, nos intervalos entre uma sequência e outra, tente resolver palavras cruzadas ou resolver problemas de física. Nessa última possibilidade, leia o problema com atenção

no intervalo de uma sessão e outra e tente resolver mentalmente durante a execução do exercício.



FIGURA 8- EXERCITE SEU CÉREBRO. FONE: VECTEEZY.COM

CAPÍTULO 11: “O RENDIMENTO DO CORPO HUMANO”

Esse negócio de resolver exercícios de física durante os treinos na academia realmente me deixaram com o raciocínio mais rápido.

Lembro que até nas aulas de matemática eu era o primeiro a responder as perguntas do professor. Parecia que as respostas estavam todas prontas dentro de mim, doidas para sair - eu não conseguia controlar.

E a turma toda percebeu! Em dias de provas, os meus colegas disputavam os

lugares para ficarem perto de mim - e olha que eu nunca dei cola para ninguém!

Uma vez, na aula de física, o Físico perguntou o que era o rendimento de uma máquina? Foi como se um filme tivesse passado na minha cabeça. A resposta estava mais uma vez pronta, doida para sair, mas dessa vez eu me controlei: eu esperei um pouco.

O filme que passou na minha cabeça foi a explicação que o Físico deu na academia sobre o rendimento do corpo humano e sobre a entropia. Nunca me esquecerei daquele dia...

Naquele dia, eu tinha chegado um pouco atrasado e a aula já tinha começado. O Físico estava resolvendo a equação do rendimento para uma máquina ideal. Daí, ele perguntou como àquela equação se aplicaria ao corpo humano?

Todos os alunos ficaram parados, esperando uma resposta. Então ele disse:

“O nosso corpo é uma máquina térmica, que

também obedece às mesmas leis da termodinâmica, o que quer dizer que o nosso rendimento nunca vai ser de 100%”.

Ou seja, nós nunca iremos conseguir aproveitar toda energia disponível, sempre vamos ter que jogar parte da energia disponível fora! Esta é a essência da 2ª Lei da Termodinâmica.

Então, quando dizemos que o rendimento de uma máquina é de 50%, estamos dizendo que aquela máquina aproveita apenas metade da energia disponível para a realização de trabalho. O restante se torna energia inútil ou entropia.

No caso do corpo humano, o rendimento é bem baixo. Os cientistas estimam que o rendimento do corpo humano varia entre 20 e 30%, dependendo de fatores internos e externos.

Isto quer dizer que de toda energia ingerida durante um dia, nós só usaremos

de 20 a 30% da energia para a realização de trabalho mecânico, ou seja, para nos locomover, levantar ou puxar coisas, etc.

Em termos práticos, se uma pessoa tem um metabolismo basal de 2.000 kcal, no máximo, 600 kcal ($2000\text{kcal} \times 30\%$) serão efetivamente transformados em trabalho mecânico (manutenção da vida, andar, levantar objeto, movimentar músculos), o restante (1400 kcal) será “jogado fora”, ou pelo calor irradiado pelo corpo ou na forma metabólitos (cocô). Essa é a premissa básica da entropia. Embora haja muita energia nos metabólitos, ela é inútil para o nosso corpo, pois não conseguimos aproveitá-la. Mas alguns micróbios se banqueteam com a energia desses compostos. Que nojo!!!

Caso a mesma pessoa ingira mais de 2.000 kcal, mantendo o mínimo de atividade física, uma parcela de energia será armazenada em forma de gordura nas células do tecido adiposo.

Na verdade, o processo de armazenamento de gordura pelo corpo é

complexo, e tem a ver com o hormônio insulina.

A quantidade de insulina no corpo indicará se a glicose será transformada, estocada ou usada para a obtenção de moléculas de ATP.

Uma coisa é importante ressaltar: o rendimento do nosso corpo pode pender tanto para 20% quanto para 30%.

O Físico explicou que, em razão da entropia, quanto mais nos exercitamos, mais gastamos energia para realizar o mesmo trabalho, reduzindo-se assim o nosso rendimento.

O fato é que o “metabolismo acelerado”, que consiste na diminuição da eficiência, é uma condição química do corpo e pode ser obtido com a prática de atividades físicas e com a regulação do sistema endócrino, por isso a importância do acompanhamento médico-nutricional.

Mas para compararmos a importância de ter um rendimento baixo,

imagine um carro, que também é uma máquina térmica.

Inicialmente, percebemos que o rendimento também não é grande. Na verdade, o rendimento do carro é bem menor do que o do corpo humano – algo em torno de 20% (em modelos econômicos). Em tempos de combustíveis caros, é muito importante otimizar o consumo de combustível.

Nesse sentido, um bom motorista sabe que quanto mais ele “pisar” no acelerador, mais o carro vai consumir combustível, isto acontece porque mais energia vai ser convertida em calor, que é muito mais aleatória e de difícil aproveitamento (lembre-se da entropia).

O nosso corpo também obedece a esse padrão: quanto mais “pisarmos no acelerador”, ou seja, quanto mais nos exercitarmos, mais iremos consumir energia e (mais energia será convertida em calor), e conseqüentemente, o rendimento irá diminuir. Isso é bom porque com o rendimento menor, menos energia vai

sobrar para ser armazenada em forma de gordura.

Pense no seguinte: se com um rendimento de 30 %, a pessoa acima mencionada tem 600 kcal de energia para se locomover, se o rendimento cair para 20 % a mesma pessoa vai ter apenas 400 kcal para realizar as mesmas atividades locomotivas. Obviamente, ela não conseguirá fazer as mesmas coisas, pois faltará 200 kcal de energia.

A lógica é simples, quando reduzimos o nosso rendimento, gastamos mais energia para fazer atividades do dia a dia, logo, poderemos criar um déficit calórico com mais facilidade. Infelizmente, o oposto também é verdade, quanto mais próximos ficarmos de um rendimento de 30%, mais teremos dificuldade de criar o déficit calórico. Esse processo é conhecido na medicina como “aceleração do metabolismo”. Como conseguimos esse milagre?

O segredo é aumentar a temperatura do corpo. Quanto mais calor

for rejeitado para a fonte fria (meio ambiente), menor será o nosso rendimento. Considere o seguinte, o nosso corpo é constituído basicamente de água (60%), então, uma pessoa de 70 kg que tenha sua temperatura corporal aumentada de 1°C, por exemplo, de 35°C para 36°C, em uma hora, terá um aumento de gasto energético de 42 kcal. (considere que o calor sensível para elevar a temperatura do corpo seja: $Q = mc\Delta t$ e que a massa relativa de água seja de 42 kg). Se a elevação de temperatura durar 24h, então o aumento do consumo de energia do corpo será de 1.008 kcal.

Embora já existam no mercado medicamentos conhecidos como “termogênicos”, que devem ser prescritos por profissionais autorizados, uma outra ação muito simples pode “acelerar” o nosso metabolismo naturalmente: a prática diária de atividades físicas: quanto mais praticarmos exercícios, mais diminuiremos o nosso rendimento e mais acelerado ficará

nosso metabolismo, ou seja: gastaremos mais energia em atividades do dia-a-dia.

Outro fator importante é a composição corporal. O tecido adiposo é mais eficiente na entrega de energia em comparação com a massa magra. Então, quanto menor for a nossa massa magra, menor será o nosso rendimento, e mais acelerado será o nosso metabolismo.

Mas se o seu objetivo é ganhar massa magra, será necessário aumentar a eficiência e talvez seja necessário diminuir as atividades físicas, especialmente as atividades aeróbicas.

É muito difícil saber exatamente qual é o nosso rendimento, mas se você é sedentário, o seu rendimento deve estar mais próximo de 30%, enquanto atletas de alto rendimento têm um rendimento próximo a 20%. Para efeitos puramente matemáticos, poderemos tomar um rendimento médio de 25%. Deixa eu explicar melhor.

O professor nos ensinou a usar o rendimento de uma máquina térmica para calcular o gasto calórico de algumas atividades físicas. Afinal, ele disse que:

$$R = \frac{W}{Q_H} \times 100\%$$

Onde R é o rendimento, W é o trabalho e Q_H é a energia disponível.

Suponha que você queria fazer uma caminhada de 5 km, num plano horizontal.

Basicamente, o trabalho que você precisa desenvolver se resume ao trabalho para vencer a força de atrito, ou seja:

$$W = F d = 400 \text{ kJ},$$

onde F é a força de atrito ($f = \mu \cdot m \cdot g = 0,1 \cdot 80 \cdot 10 = 80 \text{ N}$) e d (5km) é o deslocamento .

Repare que o coeficiente de atrito (μ) usado foi de 0,1; a massa =80 kg e a aceleração da gravidade = 10m/s².

Nesse caso, supondo que seu rendimento médio seja de 25% ou seja, $R = 0,25$, então Q_h será igual a 1600 kJ (4 vezes

mais energia do que a atividade física exige).

Em outras palavras, para um rendimento de 25%, cada caloria gasta em forma de trabalho requer 4 calorias de energia do nosso organismo.

Para ficar mais claro: se eu fizer uma caminhada que exija 500 kcal de energia mecânica, o meu corpo vai gastar quatro vezes mais energia química: 2000 kcal. E quanto menor o rendimento, mais o corpo vai gastar. Um atleta de alto rendimento pode gastar até 5 vezes mais energia do que a atividade em si requer.

A ordem do dia era: “mantenha-se com um rendimento baixo - o mais baixo possível.”

O professor dizia que o combustível era importante para o rendimento. Assim como um combustível de qualidade duvidosa diminui o rendimento de um carro, tornando-o menos eficiente, a nossa fonte de energia também pode contribuir para uma diminuição do rendimento.

Assim, para perda de peso, dê preferência aos **exercícios aeróbicos**, pois exigem a queima de gorduras através do oxigênio. Como vimos, embora a disponibilidade de energia nesse processo seja maior (já que há grande estoque), o rendimento do processo é bem menor e menos eficiente, garantindo o maior consumo de energia durante a atividade.

Já os **exercícios anaeróbicos** não utilizam oxigênio para a obtenção da energia e geralmente ocorrem nas atividades de curta duração e de baixa necessidade de energia.

A “queima” anaeróbica produz uma rápida quantidade de energia, muito útil quando queremos exercícios de explosão como musculação e corrida de curta distância.

Como se vê, nesse caso, o rendimento é maior e o gasto energético nas atividades é relativamente menor. Seria mais ou menos como utilizar álcool ou gasolina no nosso carro. No álcool, o carro fica mais potente, mas o rendimento é

menor (cerca de 30% menor). Na gasolina, embora haja perda de potência, o rendimento é muito maior.

CAPÍTULO 12: “A TRANSPIRAÇÃO”

Voltando à escola, depois de ter experimentado as mais incríveis mudanças na minha vida, tanto físicas como emocionais, eu já não me sentia mais o mesmo garoto desajeitado de antes. O apelido continuava o mesmo, mas só para não perder o costume.

Os intervalos das aulas se tornaram especiais. Por um lado, eu não parava de olhar para a minha querida Aline - e ela correspondia. Por outro lado, eu estava me

tornando popular, e os meus colegas queriam ficar perto de mim.

Lembro da primeira vez em que eles me chamaram para jogar bola no intervalo (antes, eu é que implorava para jogar – mas nunca era escolhido por time nenhum).

Se antes eu tinha vergonha de tirar a camisa, agora eu ficava muito à vontade. Agora eu queria ser do time sem camisa.

Certa vez, eu estava jogando no time com camisa. O jogo foi tão intenso que eu fiquei todo suado.

Esses momentos de extremo suor me faziam lembrar das lições de termodinâmica.

Pela primeira lei da termodinâmica, eu sabia que ou a energia interna virava trabalho ou virava calor.

Se por um lado, o trabalho é útil para a mobilidade, por outro lado o calor se traduz, quase sempre, no aquecimento. E no meu caso, põe aquecimento nisso!

Como não conseguimos gastar toda energia produzida internamente durante as atividades físicas, a tendência seria o aquecimento do corpo. No entanto, o nosso corpo não foi projetado para ficar mais quente do que cerca de 37°C . Caso contrário, os processos metabólicos sofreriam danos irreparáveis, que provavelmente nos levaria a óbito.

Para sanar esse problema termodinâmico, nós transpiramos! Falando nisso, lembro das minhas aulas de calorimetria, mais especificamente do calor latente de ebulição.

Eu aprendi que cada grama de água, para evaporar, consome cerca de 540 calorias. Isso quer dizer que se nós transpirarmos, o suor sob nossa pele retirará 540 cal/g para evaporar, contribuindo para a redução de nossa temperatura corporal.

Eu já tive a curiosidade de me pesar antes e depois dos jogos de futebol. Em uma dessas ocasiões, após o jogo, eu estava quase 2 kg mais leve! Em outras

palavras, se esses 2 kg fossem apenas de água evaporada, eu teria tido uma perda calórica de 1.040 kcal!

Além disso, o Físico disse que o contrário também era verdade: o nosso corpo também não pode ficar muito frio.

Na verdade, a temperatura dele deve variar entre 33 e 37 graus, o que implica numa produção extra de energia para aquecimento e para a irradiação, quando necessário. É também por isso que usamos roupas de frio.

A título de exemplo, apenas por irradiação por infravermelho (IR), sem nenhuma roupa, o nosso corpo perde cerca de 10 W de energia para cada grau celsius de diferença de temperatura entre a nossa pele e o meio ambiente.

Ao nadar, a perda de energia pelo nosso corpo pode chegar a 50 W para cada grau celsius de diferença entre a nossa pele e a água (para temperaturas da água abaixo de 30°C).

Como ilustração, pense num atleta nadando numa piscina a 10°C. Esse atleta precisará de cerca de 1000W para se manter aquecido (10 vezes mais do que ele é capaz de produzir). Em pouquíssimo tempo ele irá sucumbir! Isso me fez lembrar do Jack e da Rose no filme *Titanic*.

Afora a questão da hipotermia, que pode matar, um atleta que faz atividades numa piscina mais fria (com temperatura entre 22 e 28°C), tenderá a gastar mais energia do que se estivesse em solo. Pense nisso ao escolher uma atividade física, pois se exercitar em ambientes mais frios potencializará o déficit calórico, facilitando-se a perda de massa corporal.

CAPÍTULO 13: "O MEU NOVO EU"

Einstein dizia que "loucura é querer resultados diferentes fazendo tudo exatamente igual". E eu concordo com isso. Antes de conhecer o físico, eu não sabia como alcançar o meu objetivo, não sabia nem por onde começar. Na verdade, eu estava acostumado com os rótulos que recebia e achava melhor não fazer nada a respeito.

Mas a grande lição que eu aprendi com tudo isso foi que se uma coisa não está dando certo, tente algo diferente. Não estava dando certo ser o "café com leite" da

escola, afinal, eu não gostava desse rótulo! Mas ficar de braços cruzados e cabeça baixa não me ajudava em nada.

Hoje eu vejo garotos e garotas andando por aí tristes, rotulados. Eles simplesmente não sabem a força que têm dentro de si.

Se algo não está bom para você, experimente mudar. Não espere que os outros mudem, deixem de fazer ou façam algo por você. Se você quer emagrecer, não espere um remédio mágico que faça todo o trabalho para você. Se você quer ganhar massa, também não espere alguma ação externa. Lembre-se, a vida é sua e você é o agente principal da sua mudança.

O esforço pessoal geralmente traz bons resultados! Mas se mesmo com esforço o resultado não aparecer, não desista, procure ajuda de um profissional de saúde especializado, porque pode ser que alguma correção hormonal seja necessária.

Portanto, amigo, não fique de braços cruzados. Eu não fiquei de braços cruzado

e vi a possibilidade de mudança bem diante dos meus olhos. Eu me agarrei com todas as forças nessa oportunidade.

Após receber o convite do físico a experimentar algo novo, eu aceitei. Quando ele me mostrou um jeito novo de me exercitar, eu topei. Mesmo achando que eu não tinha capacidade de aprender física, eu estudei e aprendi (pelo menos o suficiente). E qual foi o resultado?

Bem, o resultado costuma ser a cereja do bolo. No meu caso, eu venci a entropia nessa etapa da minha vida. Seguindo a entropia natural, minha vida estava cada vez mais desorganizada e aleatória, no entanto, com a ajuda do Físico eu voltei a ser o Juninho, me tornei popular e alcancei o meu objetivo: bíceps gigantes, barriga tanquinho e peitoral avantajado.

É verdade que eu ainda quero mais, mas o que eu já consegui me anima bastante.

Os meus objetivos podem não ser iguais aos seus. Eu queria um corpo

musculoso, mas isso não quer dizer que você também o queira. O importante é traçar objetivos pessoais e lutar para alcançá-los.

No meu caso, o esforço me ajudou a conquistar a garota dos meus sonhos e a me tornar um garoto popular. E agora?

Agora é traçar novos planos e alcançar novos objetivos! Quem sabe eu possa viajar pelo espaço como astronauta, ou me tornar médico e ajudar outras pessoas? Sonhar é necessário! Espero que você também consiga sonhar e lutar para alcançar os seus objetivos.

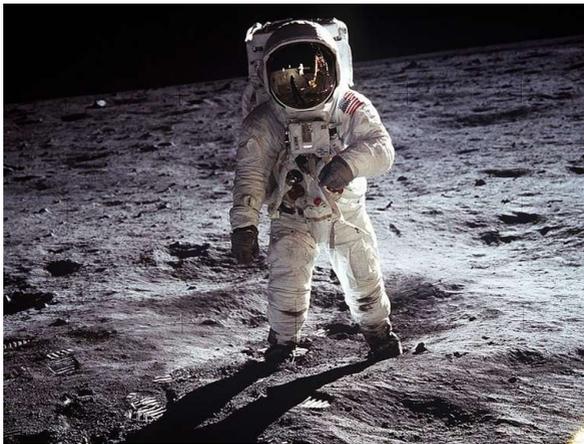


FIGURA 9 HOMEM NA LUA. FONTE: NASA

REFERÊNCIAS

Bioimpedância para avaliação da composição corporal: uma proposta didático-experimental para estudantes da área da saúde, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, vol. 41, nº 2

BLAND, J.M.; ALTMAN, D.G. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet*, London, v.1, n.8476, p.307-10, 1986.

BOILEAU, R.A.; LOHMAN, T.G.; SLAUGHTER, M.H. Exercise and body composition in children and youth. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, Copenhagen, v.7, p.17-27, 1985.

GOBBO, L.A.; CYRINO, E.L.; PETROSKI, E.L.; CARDOS, J.R.; CARVALHO, F.O.; ROMANZINI, M.; AVELAR, A. Validação de

equações antropométricas para a estimativa da massa muscular por meio de absormetria radiológica de dupla energia em universitários do sexo masculino. Revista Brasileira de Medicina do Esporte, São Paulo, v.14, p. 376-80, 2008.

HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. Fundamentos de Física: Gravitação, Ondas e Termologia. v. 2, 8ª ed. Rio de Janeiro: TLC. 2007.

HARRIS, J.A., BENEDICT, F.G.A. Biometric Study of Human Basal Metabolism. PNAS Physiology 1918; 4: 370-373.

HARRIS., J.A., BENEDICT, F.G. A Biometric Study of Basal Metabolism in Man. Boston: Carnegie Institution of Washington, 1919.

HEYWARD, Vivian H.; STOLARCZYK, Lisa M. AVALIAÇÃO DA COMPOSIÇÃO CORPORAL APLICADA. Ed. Manole, São Paulo – 2000.

Ministério da Saúde. Atlas da obesidade infantil no Brasil. 2019. Disponível em: <<https://pesquisa.bvsalud.org/bvsm/resour>

<ce/pt/biblio-1342839>>. Acesso em 13/12/2022.

NAHAS, M. V. Atividade Física, Saúde e Qualidade de vida: Conceitos e sugestões para um estilo de vida ativo. - 5° Ed. Ver. E atual - Londrina: Midiograf, 2010.

National Research Council (NCR). Recommended Dietary Allowences. 10 ed. Washington, D.C., National Academy Press, 1989, 284p.

Nelson, David L.; Cox, Michael M. (2002). **Lehninger Princípios de Bioquímica**; traduzido por Arnaldo Antonio Simões e Wilson Roberto Navega. 3ª Ed. São Paulo.

SIRI, WILLIAM E. *Body Composition From Fluid Spaces and Density: Analysis of Methods*. Berkeley, California. UCRL-3349. 1956.

VASCONCELOS, F.A.G. Avaliação Nutricional de Coletividades. Santa Catarina: UFSC, 2000. p.123

VIDEIRA, A.A.P & EL-HANI, C.N. O que é vida? Para entender a biologia do século XXI. Faperj - Editora Relume Dumará. Rio de Janeiro, 2000.

World Obesity Federation. Atlas of Childhood Obesity. Outubro/2019. Disponível em: <https://www.worldobesity.org/membersarea/global-atlas-on-childhood-obesity>. Acesso em 13/12/2022

APÊNDICE

1- Metabolismo Do Corpo Humano

Os processos de transformação energética realizadas pelo corpo humano são extremamente complexos e demandam a descrição de múltiplos subsistemas que operam juntos e articulados e que resultam na obtenção de energia útil necessária para a manutenção da vida e a realização de atividades físicas.

A esses processos que objetivam a disponibilização de energia para o corpo humano denomina-se metabolismo. Em linhas gerais, o metabolismo celular é o conjunto de reações que ocorrem no ambiente celular

com o objetivo de sintetizar biomoléculas com o escopo de gerar energia. Segundo Nelson e Cox (2002), *litteris*:

“O

metabolismo é uma atividade celular altamente coordenada na qual diversos sistemas multienzimáticos (via metabólica) atuam conjuntamente visando a quatro funções: 1) obter energia química, seja por captação de energia solar, seja por degradação de nutrientes ricos em energia obtidos do

meio ambiente; 2) converter as moléculas dos nutrientes em moléculas com características próprias de cada célula, inclusive os precursores das macromoléculas; 3) formar macromoléculas (...) e 4) sintetizar e degradar biomoléculas necessárias a funções celulares especializadas (...) [Lehninger Princípios de Bioquímica (2002), pág. 379]

O metabolismo de síntese, ou reconstrução, de biomoléculas é conhecido como anabolismo, enquanto o processo de degradação de moléculas para a obtenção de energia denomina-se catabolismo.

O anabolismo ocorre quando a célula dispõe de energia e, para retê-la, sintetiza moléculas menores, que servirão de estoque de energia. No catabolismo, o processo é inverso, o organismo degradará moléculas, com o escopo de liberar parte da energia potencial armazenada. Independente do processo, é necessário a presença dos substratos essenciais ao metabolismo.

O grupo de substratos que possui função primordial para o

metabolismo são os compostos energéticos (carboidratos, lipídios e proteínas) que são degradados convertendo a energia das ligações químicas em energia térmica.

Entretanto, a liberação térmica não acontece de forma indiscriminada, pois poderia haver uma verdadeira incineração do meio celular caso cada molécula energética liberasse toda sua energia potencial, oriunda das ligações químicas, para o meio. Neste momento, entra em ação moléculas especializadas em captar esta energia térmica para liberá-la mais facilmente em etapas posteriores. A energia liberada no catabolismo presente na intimidade das ligações químicas é transferida para uma única molécula que passa a funcionar como uma moeda energética: a adenosina-tri-fosfato, ou ATP.

O ATP é formado a partir da adição de uma molécula de fosfato inorgânico ($\text{Pi} = \text{HPO}_4^-$) a uma molécula de ADP (adenosina difosfato) em um processo endergônico, ou seja, com a formação de uma molécula que retirou calor do sistema reacional para poder ser sintetizada. (Vieira, 2003).

Este processo armazena uma energia potencial de aproximadamente 7,3

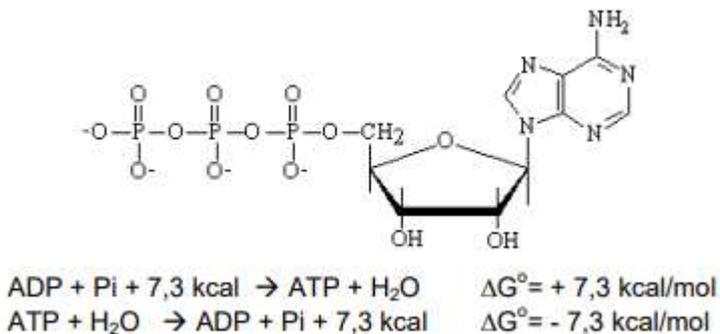


FIGURA 10 - A MOEDA DE ENERGIA ATP. FONTE VIEIRA (2003)

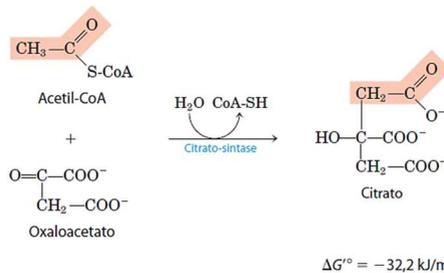
kcal/mol e é facilmente revertido (a ligação

química é quebrada) na presença de enzimas especializadas (ATPases), liberando a energia armazenada para o sistema reacional, num processo exergônico.

Em que pese não ser o ATP o único a fornecer calor para reações endotérmicas, há uma preferência do organismo humano em usar essa moeda única energética para os processos energéticos celulares.

Não se pode olvidar que o ATP não é considerado uma molécula eficiente como reserva energética, isto porque as moléculas de fosfato podem ser facilmente arrancadas, sendo, portanto, utilizadas predominantemente em reações que necessitem de liberações rápidas de energia.

Como assevera MOTTA (2005), as melhores moléculas de armazenamento real de energia são o amido, glicogênio e triglicerídeos que podem liberar a principal molécula precursora da síntese do ATP, a acetil-CoA (Figura 13). Esta molécula é responsável por iniciar o principal grupo de reações bioquímicas que desencadearão a síntese de ATP: o Ciclo de Krebs, com a cadeia respiratória acoplada



**FIGURA 11-A MOLÉCULA DE ACETIL-COA É INICIADORA DO CICLO DE KREBS.
 FONTE: VIEIRA (2003)**

O acetil-CoA pode ser obtido de variadas maneiras, mas o metabolismo

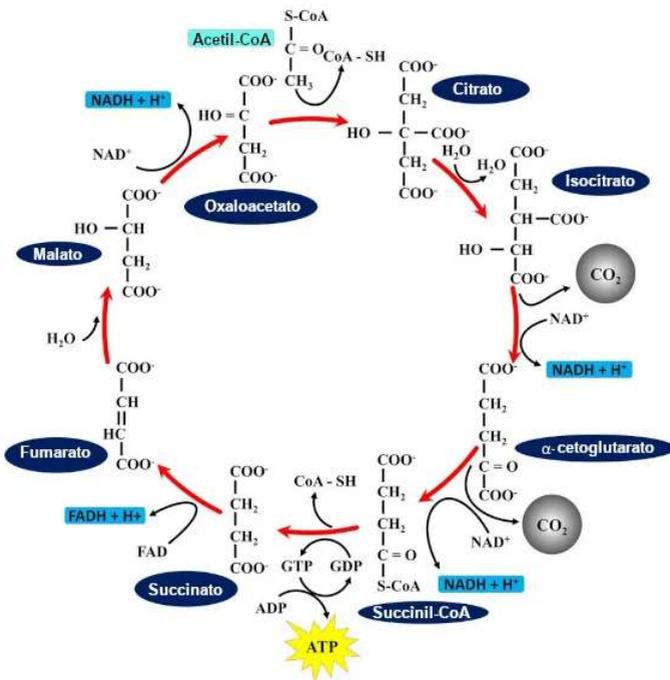
dos carboidratos constitui a principal via, sendo a glicose o principal representante. A degradação da glicose acontece em três etapas.

Primeiro, a glicose passa por um processo anaeróbico de dez etapas, chamado de glicólise, na qual a glicose é quebrada em duas moléculas de piruvato, gerando um pequeno saldo de duas “moedas” de ATP.

Em seguida, com a β -oxidação de ácidos graxos, o piruvato é convertido em Acetil-CoA, iniciando o ciclo de Krebs (figura 14), que opera em oito etapas distintas, cada uma catalisada por um enzima diferente que, ao final, produz mais duas “moedas” energéticas de ATP, além de liberarem gás carbônico e os compostos

NADH (Nicotinamida Adenina Dinucleotídeo) e FADH_2 (flavina-adenina dinucleotídeo).

Figura 12 ciclo de krebs. Fonte: Vieira (2003)



Na terceira e última etapa do processo, a chamada Fosforilação oxidativa,

elétrons presentes no NADH e no FADH₂ são transportados até o oxigênio por uma proteína chamada de Citocromos. Durante esse processo, os elétrons convertem energia cinética em calor, que é utilizado na síntese da água. Assim, o produto dessa terceira etapa é a formação de água e a liberação de mais 28 ATP. Ou seja, ao longo de todo processo de respiração celular, cada molécula de glicose pode gerar até 32 “moedas” de ATP.

Uma vez obtidas as moléculas de ATP, a partir do metabolismo celular, a extração de parte da energia armazenada na molécula poderá ocorrer com a liberação de um fosfato, num processo de hidrólise da molécula de ATP em ADP (difosfato de Adenosina). Desta forma, cada mol de ATP convertido em ADP (cerca de

507 gramas) pode liberar cerca de 7,3 kcal, ou 14,39 cal/g. Assim, considerando que cada grama de glicose pode gerar até 277 gramas de ATP, após as sucessivas reações químicas, obtemos a quantidade 4 kcal/g de carboidrato.

O ATP não é a única molécula capaz de receber e liberar energia térmica para as reações bioquímicas. A condição primordial para uma molécula ser considerada "altamente" energética é ter a capacidade de transferir grupamentos químicos durante reações bioquímicas, liberando a energia para o meio (reação exergônica). Este processo possibilita que os substratos da reação absorvam esta energia para a geração dos produtos (reação endergônica), com acoplamento entre esses dois tipos de reação. A tabela 1

relaciona as principais moléculas energéticas e os grupos químicos transferidos durante o processo exergônico ou catabólico.

Tabela 2 Moléculas energéticas que participam de processo bioquímicos

MOLÉCULA ENERGÉTICA	GRUPO DE TRANSFERÊNCIA	EXEMPLO DE REAÇÕES QUE PARTICIPAM
ATP (adenosina tri--fosfato) UTP (uridina-tri-fosfato) GTP (guanosina-tri-fosfato) Creatinina-fosfato	fosforil (Pi = fosfato inorgânico)	glicólise, cadeia respiratória, ciclo de Krebs, síntese da creatina
NADH (nicotinamida-adenina-dinucleotídeo) NADPH (NAD-fosfato) FADH ₂ (flavina-adenina-dinucleotídeo)	elétrons, hidrogênio	síntese do ácido láctico, cadeia respiratória, ciclo de Krebs
Acetil-Coenzima A (acetil-CoA)	grupo acil (cadeia carbonada)	ciclo de Krebs, β-oxidação, síntese de aminoácidos e lipídios
Biotina	CO ₂	ciclo de Krebs
Tetra-hidro-folato (THC)	carbono simples	síntese de aminoácidos
Tiamina-piriofosfato (TPP)	aldeído	ciclo de Krebs, síntese de acetil-CoA
S-adenosilmetionina (adoMET)	metil	síntese e degradação de aminoácidos
Uridina-bi-fosfato-glicose	glicose	síntese do amido e glicogênio

2- Poder Calórico Dos Alimentos

Em condições normais, a energia absorvida por via alimentar deve ser igual a energia gasta, diariamente, por um indivíduo, o que confere um equilíbrio energético relacionado a um balanço calórico alimentar, ou seja, uma quantidade tal de alimentos das três classes (energéticos, plásticos e reguladores) que proporcionem quantidades suficientes para as atividades metabólicas básicas do organismo sem deficiências ou excessos de energia significativos. Os alimentos energéticos fornecem a energia necessária para o corpo funcionar adequadamente. Eles incluem carboidratos, gorduras e proteínas. Os alimentos plásticos são responsáveis pela construção e reparação

dos tecidos corporais. Eles incluem proteínas e minerais. Por fim, os alimentos reguladores são responsáveis por manter o equilíbrio químico do corpo. Eles incluem vitaminas, minerais e fibras.

Segundo Vieira (2003), o gasto energético de um indivíduo pode ser medido colocando-se o indivíduo em uma câmara isolada onde sejam medidos perdas de calor e produtos excretados (metabólitos) em relação à alimentação e o consumo de oxigênio, onde um litro de O_2 consumido equivale a 4,83 kcal de energia gasta.

Os carboidratos são a principal fonte energética do nosso corpo, fornecendo cerca de 4,2 kcal/g ao final do processo metabólico. Não se sabe, ao certo,

porque o nosso corpo dá preferência à utilização dos carboidratos como principal fonte energética. De acordo com Vieira (2003), uma possível explicação tem ligação com a evolução dos seres vivos: o fato dos carboidratos terem sido os compostos fotossintetizados por plantas que formam a base da cadeia alimentar. Ao realizarem a fotossíntese há conversão da energia eletromagnética proveniente da luz solar em energia química concentrada.

No entanto, os lipídios, embora mais energéticos (cerca de 9 kcal/g), são as fontes secundárias de energia do corpo humano. Os lipídios são compostos primários de reserva energética e seu acúmulo em excesso indica o abuso de calorias na alimentação de um indivíduo. Enquanto os carboidratos fornecem

energia imediata e suas consequentes reservas de glicogênio duram, no máximo, 24 horas, a partir do jejum absoluto, as reservas de lipídio podem fornecer energia ao corpo por vários dias.

Fornecendo cerca de 4,2 kcal/g, as proteínas são utilizadas somente de forma terciária para a produção de energia porém, possuem inúmeras funções biológicas que as fazem essenciais na alimentação, apesar de serem “desmontadas” em aminoácidos na digestão e sintetizadas, no fígado, em todas as proteínas plasmáticas. Portanto, a utilização de proteínas no metabolismo energético indica um certo desperdício de um substrato tão diferenciado em uma função básica como a produção de energia. Isto só se observa quando há

extrema carência energética na ausência de glicose ou lipídios disponíveis para o metabolismo energético ou quando há intensa atividade física.

É por isso que alimentos altamente proteicos são mais indicados (mas não são os únicos) numa dieta para a perda de peso, porque seus aminoácidos além de servirem como fonte de energia, também funcionam como matéria-prima para a síntese de proteínas do organismo. Além do mais, estes alimentos costumam ter digestão mais lenta, levando-se mais tempo e energia para a obtenção de ATP.

É importante também salientar que os músculos têm sistemas diferentes para gerar ATP. Estes sistemas trabalham juntos e em etapas. Logo, diferentes tipos

de exercício físicos utilizam diferentes sistemas.

A obtenção de ATP pelos músculos ocorre por meio de três sistemas bioquímicos distintos: 1- sistema fosfagênio (ATP-PC); 2- sistema anaeróbio láctico (Glicólise anaeróbia) e sistema aeróbio (Respiração aeróbica).

No sistema ATP-PC, uma célula muscular possui determinada quantidade de ATP que pode ser usada imediatamente, mas isto é suficiente para durar apenas cerca de três segundos. Para reconstituir rapidamente os níveis de ATP, as células musculares contêm um composto de fosfato altamente energético, chamado de fosfocreatina. O fosfato é extraído da fosfocreatina através da atuação da enzima

creatina fosfoquinase, e é transferido para o ADP para produzir novamente a nossa “moeda” de ATP. A célula transforma ATP em ADP e, rapidamente, o fosfato transforma o ADP de novo em ATP. Esse sistema do fosfato pode suprir as necessidades energéticas dos músculos em atividade, mas apenas por 8 ou 11 segundos.

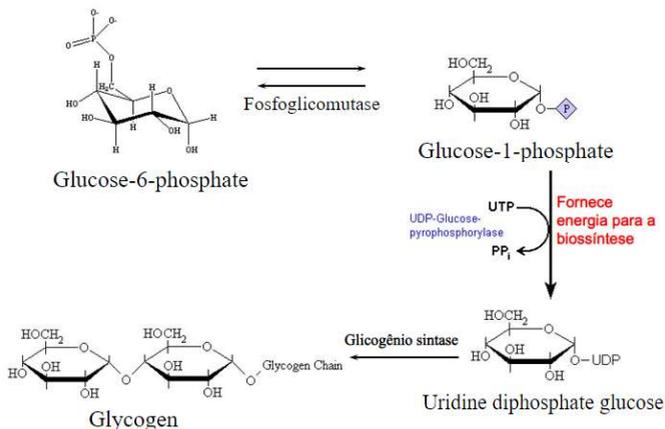


FIGURA 13 - GLICOGÊNESE. FONTE VIERA (2003)

No sistema anaeróbico láctico, os músculos usam suas reservas de um tipo de carboidrato complexo, formado de moléculas de glicose, chamado de glicogênio. A célula quebra o glicogênio em glicose que é usada para produção de “moedas” de ATP na ausência de oxigênio, gerando como subproduto o ácido láctico ou lactato. Daí, o lactato pode servir de substrato na síntese de glicose por meio de um processo denominado gliconeogênese (síntese de glicose a partir de substâncias novas), que pode fornecer energia por até 3 minutos de atividade física.

Além disso, entrará em ação o sistema aeróbico, que já mencionado anteriormente, pela via oxidativa, o ATP é formado na mitocôndria na presença de oxigênio a partir da oxidação de

carboidratos, lipídios e proteínas provenientes do próprio músculo ou da corrente sanguínea e os produtos gerados são ATP, CO_2 , H_2O , radicais livres e calor.

O sistema oxidativo produz ATP em ritmo mais lento, mas pode continuar o fornecimento por muitas horas, contanto que o suprimento de combustível esteja presente.

Referências do Apêndice

MOORE, W.J. (1962) **Physical Chemistry**. Londres: Longmanns Green and Co, 884p.

VILAR, L. (2021). **Endocrinologia Clínica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021. cap. Dislipidemia e Obesidade, p. 71-79.

MONTEIRO C.A, MONDINI L., MEDEIROS A.L, POPKIN B.M. **The nutrition transition in Brazil**. *Eur J Clin Nutr* 1995; 49:105-13.

Nelson, D. L.; C., Michael M. (2002). **Lehninger Princípios de Bioquímica**; traduzido por Arnaldo Antonio Simões e Wilson Roberto Navega. 3ª Ed. São Paulo.

VILAR, L. (2021). **Endocrinologia Clínica**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2021. cap. Dislipidemia e Obesidade, p. 71-79.

World Obesity Federation. Atlas of Childhood Obesity. Outubro/2019. Disponível em: <https://www.worldobesity.org/membersarea/global-atlas-on-childhood-obesity>. Acesso em 13/12/2022.

Ministério da Saúde. Atlas da obesidade infantil no Brasil. 2019. Disponível em: <https://pesquisa.bvsalud.org/bvsmms/resource/pt/biblio-1342839>>. Acesso em 13/12/2022.