

ABORDAGEM CTS NO ENSINO DE FÍSICA



Organizadores:

Alfredo Melk de Carvalho (Mestrando)

Orlando Gomes de Aguiar Junior (Orientador)

Adelson Fernandes Moreira (Co-orientador)

Alfredo Melk de Carvalho



Termodinâmica, máquinas térmicas e mobilidade urbana

Caderno de atividades e orientações ao professor, apresentado como requisito à obtenção do título de Mestre no PROMESTRE – Mestrado Profissional em Educação e Docência, da Faculdade de Educação (FaE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

Linha de Pesquisa: Ensino de Ciências.

Orientador: Orlando Gomes de Aguiar Junior

Co-orientador: Adelson Fernandes Moreira

Público Alvo: Professores de física das redes pública e privada que atuam nos ensinos Fundamental e Médio.

**Belo Horizonte / MG
2017**

Sumário

Mensagem ao professor	4
INTRODUÇÃO (utilização da abordagem CTS)	5
Fundamentos pedagógicos	5
A Sequência Didática	7
Objetivos da Sequência Didática	8
Desenvolvimento da Sequência Didática	8
➤ BLOCO 1: Introdução e problematização inicial	11
➤ BLOCO 2: Funcionamento do motor e conceitos da Termodinâmica	15
➤ BLOCO 3: Transformações gasosas e Leis da Termodinâmica	19
REFERÊNCIAS	24
ANEXOS	1
ANEXO A: Sequência didática desenvolvida em 2016	1



Mensagem ao professor

O presente material é produto exigido para obtenção do título de mestre pela Faculdade de Educação (FAE) da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Esse caderno de atividades foi produzido a partir dos resultados da dissertação defendida por mim, intitulada: ANÁLISE DE UMA EXPERIÊNCIA DE ENSINO DE TERMODINÂMICA BASEADA EM UMA ABORDAGEM CTS (CIÊNCIA, TECNOLOGIA E SOCIEDADE) NUMA ESCOLA TÉCNICA FEDERAL DE MINAS GERAIS.¹ As atividades desse caderno trazem uma reflexão sobre o desenvolvimento de uma sequência didática (SD) de termodinâmica, que foi apresentada e discutida na dissertação. Acrescentamos recomendações de uso desse material por professores.

Na dissertação analisamos o desenvolvimento de uma sequência didática (SD) identificando as tensões e potencialidades da mesma. Essa SD foi produzida por uma equipe de professores que trabalham na instituição pesquisada. Portanto, apesar de fazer parte desse trabalho, não é de nossa autoria. O texto e atividades da SD se encontram no anexo A. Segundo os autores, ela se inspirou em um trabalho de Auler (2005), que propôs o desenvolvimento de currículos mais abertos frente à problemas contemporâneos marcados pela dimensão científico-tecnológica. Nesse trabalho propõe desenvolvimento de conteúdos de física de termodinâmica a partir do tema Energia Consumida: Transporte Particular X Coletivo, discutindo a questão do uso intensivo do motor a combustão apesar do seu baixo rendimento. A proposta se baseia no Ensino de Ciências a partir de uma abordagem CTS. A partir desta proposta inicial, foram sendo acrescentadas atividades e textos, algumas autorais, outras extraídas de outros autores (indicados no anexo).

A SD foi trabalhada em 2014, tendo sido alterada em 2016. Neste ano algumas atividades foram acrescentadas e/ou substituídas, a fim de sanar algumas tensões vivenciadas em 2014 e discutidas na dissertação.

A dissertação, cuja leitura acreditamos ser fundamental para melhor utilização desse caderno, traz os resultados da pesquisa realizada com professores e alunos que participaram do desenvolvimento da SD em 2014 e análise do material produzido em 2016. Não pretendemos

¹ A SD foi inicialmente desenvolvida na escola nos anos de 2011 e 2012, quando participei dessa proposta pioneira nas aulas de física da instituição.

aqui simplesmente mesclar o material de 2014 com os textos de 2016, nem ser prescritivos na forma de desenvolver o conteúdo de termodinâmica com esse material. Pelo contrário, pretendemos demonstrar potencialidades do material, sugerindo formas de utilizá-lo, mas sempre contextualizando esse uso, de modo a permitir que o professor utilize a SD adaptando-a à sua realidade escolar. Como a SD desenvolvida em 2014 é bem discutida na dissertação, iremos nos ater aqui àquela desenvolvida em 2016 que, por ser mais atualizada, é a que consta no anexo A.

Na dissertação, analisamos as falas de professores e alunos que participaram desta proposta em 2014 e, a partir delas, identificamos tensões e perspectivas decorrentes do trabalho com esta proposta em sala de aula. Indicamos sua leitura por considerá-la relevante para professores engajados no movimento CTS no ensino de Física. Apesar disso, este caderno não pressupõe a leitura da dissertação.

INTRODUÇÃO (utilização da abordagem CTS)

Esse caderno temático traz sugestões de como desenvolver a SD que tratava do Ensino de Termodinâmica a partir de uma abordagem CTS. Discutiremos antes os fundamentos pedagógicos, objetivos da proposta e breve resumo de sua implementação.

Fundamentos pedagógicos

A revolução industrial, iniciada no século XVIII, foi marco de uma evolução tecnológica, econômica e social nas sociedades. O trabalho artesanal foi substituído pelo uso de máquinas, e a partir disso o avanço tecnológico gerou grandes e significativas mudanças na sociedade. Como mudança econômica advinda da industrialização podemos citar a necessidade de formação de um mercado consumidor dos produtos. Como mudança social, a longo prazo, podemos citar a melhoria dos sistemas de transporte, dos medicamentos da indústria farmacêutica e até o aumento da eficiência nas alas cirúrgicas (com o uso de fibra-ótica e micro câmeras).

Entretanto, a despeito da melhoria na qualidade de vida que essa evolução trouxe, nos deparamos também com várias questões, relativas ao uso e entrada de novas tecnologias na

sociedade, que necessitam serem debatidas. Como exemplos dessas questões podemos citar aquelas ligadas aos limites de pesquisas com células tronco, portanto de origem ética, ou outras relativas à poluição gerada por indústrias e automóveis, portanto ligadas ao meio ambiente e à qualidade de vida, todas essas relacionadas com avanços da ciência e da tecnologia. O surgimento dessas questões, junto ao agravamento dos problemas ambientais levou cientistas e pesquisadores à conscientização da necessidade de discussões críticas sobre a natureza do conhecimento científico, sobre a evolução tecnológica que o mesmo provê e sua influência na sociedade. Surgem então, na década de 1970, propostas de novos currículos no ensino de ciências que buscaram incorporar ao ensino conteúdos de Ciência-Tecnologia-Sociedade – CTS (AULER; BAZZO, 2001; BAZZO, 1998; CRUZ; ZYLBERSZTAJN, 2001; PINHEIRO; SILVEIRA; BAZZO, 2007; SANTOS, 2007).

O surgimento de pesquisas e materiais com denominação CTS se iniciou no Brasil a partir da década de 1980. Podemos citar, a partir desse período, as propostas pedagógicas de LUTFI (1988, 1992), o projeto Unidades Modulares de Química (AMBROGI et al., 1987), a coleção de livros de física do GREF (Grupo de Reestruturação no Ensino de Física, 1990, 1991, 1993), os livros Química na Sociedade e Química (MÓL e SANTOS, 2000). A partir dos anos 90, as abordagens CTS exerceram também influência nos currículos, como os Parâmetros Curriculares Nacionais (Brasil, 1998) e a Proposta Curricular de Química para o Ensino Médio do Estado de Minas (MORTIMER, MACHADO e ROMANELLI, 1998).

Muitos trabalhos relativos a essa abordagem apontam como um dos seus objetivos desenvolver um ensino de ciências que promova a formação crítica do aluno de modo a envolvê-lo na importância de participação na solução dos problemas da sociedade. Com isso pretende-se promover uma formação ligada ao desenvolvimento de valores e capacidade de tomada de decisão (AULER, 2003 E 2007; BAZZO, 1998; SANTOS e MORTIMER, 2000; SANTOS e SCHNETZLER, -2010). Segundo Santos (2007, p.2) o objetivo da abordagem CTS seria:

“promover a educação científica e tecnológica dos cidadãos, auxiliando o aluno a construir conhecimentos, habilidades e valores necessários para tomar decisões responsáveis sobre questões de ciência e tecnologia na sociedade e atuar na solução de tais questões”

Assim, a educação científica de orientação CTS busca capacitar os estudantes a compreender, debater e se posicionar perante políticas de tecnociência.

A questão não é só de melhorar a educação científica é também de educação política no seu mais nobre significado. Ambas são complementares. Numa palavra, apoiar a

formação de uma cultura científica a serviço da cidadania democrática. (CACHAPUZ, 2011, P.65)

A Sequência Didática

A sequência didática que discutiremos aqui foi desenvolvida a partir das relações entre mobilidade urbana, conteúdos da Termodinâmica e motor a combustão interna. Tomamos² como situação-problema a mobilidade urbana e a necessidade de se apontar alternativas para a circulação de veículos e pessoas em grandes centros urbanos. A SD se concretizou a partir de uma reaplicação do roteiro de atividade proposta por Auler et. al. (2005), com algumas adaptações e acréscimos. A partir desta atividade de abertura, problematizamos questões relacionadas ao nosso modelo de transporte urbano – poluição atmosférica, gasto de energia e congestionamento de vias. Quando comparamos a quantidade de poluentes gerada pelo uso de veículos particulares à emitida pelo transporte público nos questionamos sobre as razões (provavelmente econômicas e políticas) do modelo vigente de mobilidade (ou imobilidade) urbana nas grandes capitais do país.

Utilizamos o motor a combustão como objeto tecnológico e trabalhamos os conteúdos da termodinâmica a partir dele. Os conteúdos CTS se evidenciaram nessa SD à medida em que tentamos contextualizar o estudo da Termodinâmica e seus conceitos físicos a partir das questões relativas à tecnologia, à sociedade e ao ambiente, referenciadas, respectivamente, no uso do motor, na mobilidade urbana e na emissão de poluentes.

A duração da SD foi de, aproximadamente, 13 semanas, ou seja, quase 2 bimestres. Lembremos que, nesse período, que parece muito extenso, trabalhamos todo o conteúdo de termologia e termodinâmica, desde os conceitos básicos de temperatura e calor, passando pela discussão de outros temas como calorimetria, estudo dos gases, mudança de estado físico, até chegar à enunciação das Leis da Termodinâmica. Os roteiros das atividades desenvolvidas encontram-se no anexo A.

² Apesar de nossa análise se referir ao desenvolvimento da SD no ano de 2014, quando não desenvolvi a mesma, utilizo aqui a primeira pessoa do plural por compartilhar de situações comuns, quando a desenvolvi nos anos de 2011 e 2012. O número de aulas em que trabalhamos a SD e os objetivos iniciais, por exemplo, foram comuns ao desenvolvimento durante esses anos.

Objetivos da Sequência Didática



- Desenvolver conteúdos de termodinâmica, a partir de discussões sobre funcionamento de um objeto tecnológico, o motor a combustão interna, com uma contextualização sócio-histórica deste artefato tecnológico.
- Promover uma formação mais crítica do aluno a partir das discussões sobre as implicações sociais e ambientais do uso desse objeto tecnológico, examinando modelos de mobilidade em grandes centros urbanos.

Desenvolvimento da Sequência Didática

Discutimos aqui formas de implementar a SD, no sentido de compartilhar a experiência e reflexões da equipe do projeto a partir das discussões e análises realizadas e expressas na dissertação. As recomendações e comentários aqui apresentados estão baseados nos textos e atividades da SD desenvolvida em 2016, modificada com a intenção de reduzir algumas tensões identificadas na implementação do projeto nos anos anteriores.

Os comentários e sugestões que aqui faremos pretendem ser mais gerais e não prescritivas, de modo que não impedem o avanço em possibilidades para outros contextos, de forma que cada professor possa adequar o projeto às condições concretas de sua escola. A experiência que tive com essa forma de trabalhar a SD justifica o direcionamento dado nesse caderno de atividades.

O professor pode desenvolver a SD de várias maneiras, após ter lido e se apropriado dos materiais que a compõem. Uma opção consiste em desenvolver toda a sequência de conteúdos de física térmica a partir do contexto de estudo anteriormente mencionado, utilizando o motor a combustão como objeto tecnológico. Outra forma é realizar um recorte com alguns tópicos do conteúdo, como as leis da termodinâmica e processos de transferência de calor, desenvolvendo os demais conteúdos da física térmica a partir de outros materiais e abordagens. Uma terceira opção consiste em trabalhar os conceitos de termodinâmica a partir de outros textos e autores e utilizar a SD junto a abordagem CTS no momento de discutir as Leis da Termodinâmica, as Máquinas Térmicas e a Mobilidade Urbana.

A primeira opção – desenvolvimento de todos os conteúdos de termodinâmica por meio desta abordagem – foi a escolha da equipe do projeto aqui relatado. No entanto, como vimos,

os estudantes e mesmo os professores indicaram na dissertação que esta inclusão foi, em alguns casos, forçada. A segunda e a terceira opção, de uma abordagem temática mais restrita a alguns conteúdos da termodinâmica, não foi objeto deste estudo e é apenas uma especulação diante da experiência relatada.

Outra opção remete ao uso alternado de textos didáticos convencionais (como aqueles dos livros didáticos) e textos e atividades da sequência. Obviamente essa opção também precisa ser cuidadosamente planejada e seu desenvolvimento negociado com os estudantes.

Essa SD, como ilustra o quadro da página 21, é uma proposta de reestruturação no ensino de física através de uma nova organização no desenvolvimento dos conteúdos. A ideia é trabalhar com os alunos do 2º ano desenvolvendo o tema geral: processos de conversão de energia, a partir da discussão sobre a estrutura e funcionamento de um objeto tecnológico. Importante perceber que esse quadro não se limita ao estudo da termodinâmica, mas também mecânica e eletromagnetismo. Este caderno de atividades, ligado ao estudo da Termodinâmica, contem simplesmente algumas atividades pioneiras dessa proposta.

O ensino de física a partir do estudo do funcionamento de um objeto tecnológico pretende, inicialmente, criar um contexto de significação dos conceitos, leis e teorias que serão estudados, sendo um fator motivacional para esse estudo. Além disso possibilita a introdução de uma discussão sobre as implicações sociais de uso de certas tecnologias, pretendendo ampliar a formação do aluno a partir do desenvolvimento de uma postura crítica perante as relações CTS. O conhecimento das implicações do uso de certas tecnologias e o posicionamento crítico é fundamental na escolha do uso ou não de um certo objeto tecnológico em detrimento de outro.

Enfim, em uma perspectiva de que aprender física é mais que aprender conceitos e fórmulas e aplicá-las em certos tipos de exercícios, acreditamos que o conhecimento adquirido pelo aluno na escola pode e deve auxiliá-lo nas decisões que deva tomar fora dela. É importante que essas decisões não se limitem à escolha de um curso superior que pretende seguir, mas também em relação ao uso de certas tecnologias. E essas escolhas serão mais conscientemente tomadas se conhecidas as implicações do uso dessas tecnologias.

Pesquisas como a da referida dissertação e cadernos como este demonstram possibilidades desse tipo de proposta.

Descreveremos agora umas das formas de se desenvolver a SD. A mesma foi desenvolvida em aproximadamente 13 semanas, totalizando uma média de 39 aulas (tendo como referência a escola pesquisada onde os alunos do 2º ano tem 3 aulas de física semanais).

Ela é bastante extensa, pois abrange todo o conteúdo de termodinâmica. Por isso, ao apresentá-la optamos por dividir a descrição do seu desenvolvimento em 3 blocos, com indicação de atividades em aulas. Nesta escola, duas das três aulas semanais de Física eram realizadas com horários geminados (uma aula seguida da outra), de modo que atividades mais extensas puderam ser realizadas sem interrupção. Os 3 blocos de atividades foram chamados de:

- BLOCO 1: Introdução e problematização inicial (aulas 1 a 7).
- BLOCO 2: Funcionamento do motor e conceitos da termodinâmica (aulas 8 a 28).
- BLOCO 3: Transformações gasosas e Leis da Termodinâmica (aulas 29 a 38).

Em resumo, o BLOCO 1 introduz como será o curso, no qual utilizaremos um objeto tecnológico para discussão dos conceitos científicos. A problematização inicial traz questões ligadas ao funcionamento do motor e aos impactos ambientais de seu uso, gerando uma necessidade de discussão dos conceitos físicos que permeiam seu funcionamento. A intenção é criar uma curiosidade em relação ao estudo desses conceitos, portanto, significando o aprendizado. Há uma discussão inicial sobre as implicações sociais do uso do motor que só serão melhor discutidas no bloco 3, quando trabalharmos com as Leis da Termodinâmica.

O BLOCO 2 é mais focado nas discussões C&T, onde apresentamos e discutimos os conceitos físicos a partir do funcionamento das peças do motor (inicialmente) e depois do funcionamento do motor como um todo.

No BLOCO 3 apresentamos as Leis da Termodinâmica e voltamos a discutir, a partir dos conceitos de Entropia e degradação de energia, as questões relativas às implicações sociais e ambientais do uso do motor a combustão, como aquelas relativas a seu baixo rendimento e poluição gerada pelo mesmo.

Para auxiliar o professor que deseja utilizar esse caderno de atividades, nos valem de nossa experiência para mencionar um número médio de aulas que seriam utilizadas para trabalhar cada um dos blocos. Essa relação não impede que o professor, ao adequar as atividades a seu contexto específico em sala, utilize um número diferente de aulas, visto que essas servem apenas como apoio na organização do seu planejamento. Nessas aulas incluímos momentos para o professor tirar dúvidas dos alunos de alguma atividade e para realizar avaliações, caso opte por elas. Porém, não definimos o momento exato para isso, a fim de dar liberdade ao professor para escolher as datas que achar melhor e sermos o menos prescritivos possíveis.

Os modelos de aula abaixo foram feitos a partir da experiência na escola pesquisada. Em vários momentos, talvez principalmente no bloco 2, as relações C&T se sobressaíam

perante as relações com a sociedade. Isso em parte é fruto de características da escola, que tem um alto nível de exigência em termos de conhecimentos acadêmicos e disciplinares. Seu Ensino Médio, feito concomitantemente a cursos técnicos, a maioria na área tecnológica, justificam a ênfase e o recorte que foi dado às relações C&T na SD, principalmente nesse segundo bloco de atividades. Mas deixamos claro que nossa intenção é que esse modelo de aulas sirva como exemplo de aplicação, mas que o professor deve adequar à sua experiência e às particularidades da escola onde trabalha e dos alunos que a frequentam.

➤ BLOCO 1: Introdução e problematização inicial

No bloco 1 temos gasto, aproximadamente, 7 aulas para desenvolvê-lo, da forma que segue:

AULA 1

Consideramos importante explicar para os alunos como será desenvolvido o curso de termodinâmica a partir da abordagem CTS. Citar que essa abordagem já existe há algum tempo, é desenvolvida também em outras partes do mundo e quais suas vantagens. Dentre as vantagens podemos citar desde o desenvolvimento do senso crítico do aluno, através de um ensino de conteúdos científicos como instrumentos de leitura e compreensão do mundo em que vivemos, até a busca por concretização de objetivos que correspondem à matriz de habilidades do Enem (a importância desses objetivos é citada na dissertação). Mencionar a necessidade contemporânea de um ensino de física que não seja ligado apenas à resolução de exercícios e que promova uma formação mais geral, desenvolvendo nos alunos a ideia de que o mesmo deve ser protagonista da sua própria formação e de mudanças na escola e na sociedade.

Conforme relatamos na dissertação, principalmente em escolas mais tradicionais, onde o foco no ensino de ciências é ligado às aulas expositivas para desenvolver conceitos, é preciso seduzir e convencer os alunos da validade e vantagens desta forma de abordar os conteúdos científicos. Isso pode ser feito se houver boas justificativas para uso da mesma e explicitarmos os objetivos a serem alcançados com ela e, sobretudo, se houver coerência entre o discurso e a prática. Em escolas onde os alunos são muito pressionados a terem bons rendimentos, como no caso daquela que analisamos na dissertação, torna-se imprescindível ter clareza também dos processos avaliativos e expô-los aos alunos.

AULAS 2 E 3

Os alunos podem fazer a atividade intitulada **atividade em classe 1: Termodinâmica - problematização inicial**. Fica a critério do professor utilizar, para isso, uma ou duas aulas. Porém sugerimos que, realizando-a em duas aulas não-geminadas, os roteiros sejam recolhidos no final da primeira aula e devolvidos no início da segunda, para evitar que pesquisem em casa e resolvam utilizando a internet. O objetivo é colocar o problema e estimular os estudantes a

desenvolverem hipóteses para sua solução. Nas aulas seguintes, os estudantes terão acesso a informações técnicas e serão estimulados a operar com elas a partir de novos problemas.

Na questão 2 desta atividade, pedimos aos alunos que calculem o custo energético para se fazer determinada viagem, de ônibus ou de carro particular. Deixamos faltar, intencionalmente, alguns dados, para que os alunos busquem identificar também quais informações são necessárias para resolver a questão. Nossa intenção, ao trabalhar com um problema aberto, é fazer os alunos perceberem que nem sempre poderão resolver um problema com um algoritmo pronto de aplicação de fórmulas. Nesse sentido tentamos desenvolver protagonismo no aluno, que geralmente resolve problemas onde tem todos os dados e precisam chegar a uma única resposta. O professor pode, entretanto, acrescentar os dados que faltam no início da aula, que são as densidades da gasolina, 0,72 kg/litro e do diesel, 0,85 kg/litro. Além disso, é necessário acrescentar os calores de combustão da gasolina, 11100 kcal/kg e do diesel, 10900 kcal/kg.

Outra informação adicional importante é a de que o rendimento do motor a diesel e do motor a gasolina estão em torno de 40% e 30%, respectivamente. Apesar do calor de combustão do diesel ser menor, o modo como, no motor, a mistura diesel + ar é feita tende a melhorar a eficiência do diesel quando comparado com a gasolina.

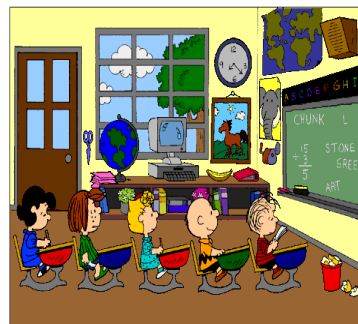
Ao final da 2ª aula, o professor pode então propor, como atividade a ser realizada em casa, o roteiro da atividade baseada em vídeos do youtube que tratam do funcionamento das peças do motor. A compreensão do funcionamento dessas peças e sua função no motor auxiliará no entendimento dos princípios físicos que justificarão a escolha dos materiais com que cada peça será fabricada. Esses materiais dependem das funções dessas peças, visto que algumas precisam, por exemplo, suportar as altas temperaturas do motor, enquanto outras precisam ter facilidade na transmissão do calor. Esse roteiro tem o título: *Atividade extraclasse 1: Vídeos sobre estrutura e funcionamento do motor de combustão interna.*

AULAS 4 E 5

Acreditamos que esse é o melhor momento para sistematizar as respostas dos alunos à atividade realizada em sala. Uma discussão detalhada dessa atividade se encontra no *Texto 2: Calor, temperatura e energia térmica*. A questão 1 fornece embasamento para discussão de alguns conceitos-base da termodinâmica, como temperatura, calor, energia térmica, sistema e vizinhança. Como exemplo de como desenvolver esses conceitos podemos iniciar respondendo à questão 1 explicando que a energia química do combustível é convertida em energia de agitação nos produtos da combustão, chamada de energia térmica (somatório das energias cinéticas das moléculas):



É um bom momento de discutir o conceito de energia, que não é um fluido que passa “magicamente” de um sistema para outro. Os estudantes devem ser encorajados a descreverem verbalmente como se dão as transformações de energia térmica em mecânica, ou seja, a explicarem como parte do calor gerado na combustão é transformado em energia mecânica, permitindo a tração do veículo.



³ Sendo a gasolina constituída de uma mistura de várias substâncias optamos aqui por não colocar sua fórmula estrutural.

Importante também fazer a distinção dos conceitos de **sistema**, que no caso são os gases resultantes da combustão (dentro do cilindro), e de **vizinhança**, que pode ser o bloco do motor, o pistão, a atmosfera, o sistema de refrigeração....

As respostas dos alunos às questões 2 e 3, que são numéricas, no geral apresentam algumas diferenças, devido a arredondamentos e extrapolações. Pensamos ser interessante resolvê-las no quadro indicando as ferramentas matemáticas necessárias para tal.

Nessa aula enfatizamos a contextualização que o estudo do funcionamento do motor cria para a discussão dos conceitos físicos da termodinâmica. A nosso ver a utilização desse objeto tecnológico auxilia na discussão dos conceitos, que são feitos a partir das relações C&T (ciência e tecnologia).

A atividade extraclasse 1 pode ser recolhida para que o professor possa preparar a aula seguinte, a partir dos conhecimentos prévios dos alunos, obtidos com as respostas dessa atividade.

AULAS 6 E 7

Nessa aula sugerimos devolver e corrigir a atividade extraclasse 1. A importância dessa atividade reside no fato de que a escolha dos materiais a partir dos quais são fabricadas as peças do motor, para seu eficaz funcionamento, cria um contexto para discussão de vários conceitos de termodinâmica, ligados às propriedades desses materiais.

Nesse momento sugerimos discutir, sem muito aprofundamento numérico, os conceitos de coeficiente de dilatação, condutividade térmica, mudança de fase, calor específico e calor latente. A ideia é que o aluno perceba que esses conceitos físicos ajudarão a definir características importantes de cada material, que por sua vez justificarão a escolha de que tipo de material será utilizado na constituição de cada peça do motor, de acordo com sua função no mesmo. Assim, por exemplo, os estudantes devem compreender que o bloco do motor precisa ser constituído de materiais que apresentem resistência à elevação de temperatura, quando recebem calor, e com ponto de fusão alto o suficiente para suportar, sem derreter, as altas temperaturas da explosão do combustível.

Essa atividade extraclasse 1 gerou certo “ruído” quando foi desenvolvida em 2014, conforme citamos na dissertação, relativo ao grau de detalhamento técnico necessário para entendimento do motor como artefato tecnológico. Para alguns alunos, o vídeo apresentava um excessivo detalhamento técnico relativo ao funcionamento do motor (dados da dissertação). A nosso ver, esse objeto tecnológico realmente é complexo, mas a compreensão de alguns desses elementos pode contribuir para discussão mais abrangente dos conceitos físicos que explicam seu funcionamento. Cabe a cada professor avaliar o nível de detalhamento que deve utilizar em suas aulas, decidindo se utilizará o roteiro na íntegra ou parcialmente. Para ilustrar com nossa experiência tentamos, na escola que trabalhamos, reduzir o incômodo dos estudantes em relação ao entendimento das várias peças e funções de um motor, em 2016, propondo aos alunos que fizessem, nesse roteiro, somente as cinco primeiras questões. Foi possível, deste modo, atingir os objetivos de compreender o artefato tecnológico e os processos físicos que ele encerra, gerando menos tensões com o excessivo detalhamento técnico das várias partes do motor.

COMENTANDO A ATIVIDADE EXTRACLASSE 1

O momento de corrigir a atividade extraclasse 1 é, a nosso ver, ideal para o professor explicar o funcionamento dos quatro tempos do motor, apresentando o Ciclo Otto:

- ✓ 1º tempo: admissão (cilindro do pistão desce puxando mistura ar + combustível)
- ✓ 2º tempo: compressão (cilindro sobe comprimindo combustível + ar)

- ✓ 3º tempo: explosão/expansão (vela promove reação química e o pistão desce)
- ✓ 4º tempo: exaustão (cilindro sobe expelindo gases resultantes da reação com o combustível)

OBS. se surgir a questão, ou o professor considerar importante, algumas características mais específicas podem ser explicadas, dentre elas:

- O motor de arranque, facilmente identificado como sendo o pedal utilizado para dar partida em algumas motocicletas, é um motor eletromecânico e sua função é colocar o motor no ponto de início do primeiro tempo de funcionamento, ou seja, no ponto de admissão.
- Durante a queima da gasolina o sistema de transmissão converte energia dos ciclos do motor em energia mecânica no veículo.
- Na queima da gasolina há processos de transferência de calor por convecção na expansão dos gases e de condução do gás para o pistão. Nesses momentos há transformação de parte da energia térmica, desordenada, em energia cinética ordenada no pistão.

Na questão 4, para discussão, é importante que o professor conheça algumas características do alumínio: melhor resistência a corrosão, peso reduzido, melhor usinabilidade (capacidade de ser moldado e cortado), melhor comportamento térmico, melhor comportamento acústico, reciclagem facilitada.

OBS: processar alumínio na indústria tem grande custo energético, desde a extração do material até o transporte às indústrias, sendo essa uma desvantagem do uso desse material. Uma discussão mais abrangente desse aspecto do uso do alumínio reforça a importância da utilização, no ensino, de uma abordagem que relacione ciência com as implicações sociais do uso de certas tecnologias, como a abordagem CTS.

Para responder à questão 5 é necessário o conceito de comportamento térmico, que é relativo ao modo como se comportam os materiais em função da mudança de temperatura e quais são as propriedades que definem essas mudanças.

Propriedades:

- Coeficiente de condutividade térmica (relativo aos processos de transferência de calor)
- Dilatação
- Mudança de fase
- Calor específico
- Capacidade térmica.

Dentre essas propriedades, que discutiremos com mais detalhes um pouco mais à frente, algumas são mais importantes que outras quando nos referimos aos materiais com os quais são construídos o bloco do motor.

Ao final da aula os alunos podem ser orientados a ler em casa o *Texto 1: motor de combustão interna, processos físicos, propriedades dos materiais e conceitos da termodinâmica*. Esse texto foi trabalhado em 2014, mas sua versão de 2016 é um pouco mais completa, analisando mais sistematicamente os conceitos físicos envolvidos no funcionamento do motor. Nesse texto é mencionado o baixo rendimento do motor a combustão interna, discutimos as implicações sociais do seu uso e, a partir disso, introduzimos as discussões que serão feitas mais sistematicamente sobre a 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica.

➤ BLOCO 2: Funcionamento do motor e conceitos da Termodinâmica

Nesse bloco utilizamos, aproximadamente, 21 aulas para desenvolvê-lo.

AULAS 8 E 9

Geralmente, nessa aula, terminamos a *Atividade extraclasse 1: Vídeos sobre a estrutura e funcionamento do motor de combustão interna*. Achamos importante, nesse momento, a despeito da aula introdutória, fazer um resumo para explicar o funcionamento do curso. Explicitar as etapas do desenvolvimento do curso ajuda a dar mais segurança aos alunos durante o processo. Os contratos didáticos devem ser explicitados e combinados para o bom desenvolvimento da SD e para reduzir a insegurança que possa eventualmente surgir ao trabalhar de forma distinta do modo como estão acostumados. Lembremos dos questionamentos dos alunos, discutidos na dissertação, sobre a necessidade do professor “deixar claro” como será o curso, porque está sendo feito dessa maneira e quais seus objetivos. Sugerimos a discussão mais geral de alguns tópicos, seguindo a sequência:

✓ LEIS DA TERMODINÂMICA:

- Lei zero: equilíbrio térmico
- 1ª e 2ª Leis da termodinâmica: conservação e degradação de energia.

Sugerimos agora que seja feita a discussão de escalas termométricas, que corresponde à *Atividade em classe 2: Termodinâmica – escalas termométricas*, que consta nos textos de 2016. Com isso tentamos responder a uma demanda dos próprios professores, que surgiu em 2014, sobre a necessidade da SD dar mais suporte para introdução da discussão dos conceitos básicos da termodinâmica. O conceito de temperatura e a discussão sobre escalas termométricas, principalmente sobre a escala absoluta de temperaturas, será importante quando tratarmos de transformações gasosas, além da interpretação do conceito de temperatura pelo modelo cinético-molecular.

Para a próxima aula pedimos a leitura do *Texto 2: Calor, temperatura e energia térmica*. Nesse texto esses conceitos são mais sistematizados e melhor formulados. Na SD de 2016, o corpo do texto é o mesmo, diferindo-se nas questões finais, onde algumas questões quantitativas são acrescentadas para sanar demandas dos alunos e também dos professores, conforme análise dos dados de 2014. Acreditamos que as disciplinas técnicas, ligadas à tecnologia, exigem dos alunos a realização de grande quantidade de cálculos, o que fortalece a imagem de que a Física consiste, fundamentalmente, na resolução de exercícios numéricos. Não estamos dizendo que os exercícios numéricos não sejam importantes, nem que o uso da matemática como ferramenta para o ensino de física deva ser descartada. Apenas enfatizamos que as fórmulas e os cálculos devem ser utilizados como ferramentas auxiliares na compreensão dos conceitos, após a discussão teórica dos mesmos, e não a base para ensiná-los (as expressões algébricas vem da teoria, e não o contrário).

O professor poderá, ainda, rever a extensão do texto e das questões para discussão, a partir de seu contexto de trabalho e do tempo disponível.

AULA 10

Após a discussão realizada na aula 5 sobre conceitos básicos que ajudam a entender a escolha dos diferentes materiais a partir dos quais são fabricadas as peças do motor, intencionamos agora discutir mais sistematicamente cada um daqueles conceitos. Iniciemos com dilatação. Seguem algumas sugestões de encaminhamentos para a discussão.

Sugerimos que o professor faça rápida pesquisa, no manual do motor, sobre a dilatação do mesmo. A ideia é não perder o foco do ensino a partir da contextualização com o motor, justificando assim seu uso, como objeto tecnológico, na SD. Se o motor se aquece, sendo feito de metal, dilata, então são necessárias as juntas de dilatação... o que são essas juntas?

O professor poderá, então, optar por desenvolver (ou não) o tratamento quantitativo do fenômeno da dilatação térmica.

Ao final desta discussão os alunos poderão fazer leitura do *Texto 3: A dilatação das peças do motor - riscos e cuidados*, e terão condições de responder às questões (9 no total) do final do texto. Este texto foi criado na versão da SD em 2016, de modo a articular o contexto de estudo do motor com conteúdos de física térmica. A quantidade de questões contidas nesse texto pode, em alguns contextos, ser excessiva, em outros insuficiente. Lembremos que o uso dessa SD não impede que o professor utilize outras fontes de informação. Em se tratando de exercícios, o professor pode e deve excluir os que considerar de pouca relevância, bem como acrescentar outros que julgar importantes.

AULAS 11 E 12

Correção dos exercícios de dilatação. Aqui se encontram exercícios teóricos e numéricos. Cabe a cada professor solicitar aos alunos que façam todos ou escolher aqueles que considerar mais interessantes e mais adequados ao seu contexto. Como contexto do professor entendemos o tipo de aluno com quem trabalha (ensino médio, Educação de Jovens e Adultos, etc), a escola, as condições de ensino, e tudo o que ajude a determinar as escolhas curriculares.

Os alunos podem ser instruídos a realizar em casa a *Atividade extraclasse 2: Processos de transferência de calor*, que será corrigida e discutida na próxima aula.



AULA 13

Esse é um bom momento de discutir os processos de transferência de calor, corrigindo a *Atividade extraclasse 2* e utilizando o *Texto 4: Transmissão de calor*, elaborado em 2016. Nesse texto são tratados amplamente dos processos de transferência de calor que ocorrem no motor, através do seu sistema de arrefecimento, mas também outros processos, como as

correntes de convecção que ocorrem na geladeira e as transmissões de ondas de infravermelho emitidas pelo nosso corpo.

Acreditamos que, apesar de desenvolvermos nosso curso a partir do motor, como objeto tecnológico, não devemos ficar presos aos fenômenos relativos ao mesmo, devido à variedade de exemplos e aplicações da física que podem ser citadas. Enfatizamos aqui a importância do experimento do ítem 3.3 desse texto 4, caso o professor consiga materiais e condição para realizá-lo. Esse experimento permite que o aluno perceba, na prática, a condutividade térmica de diferentes metais. Acreditamos que a percepção de um fenômeno a partir de um experimento, pelo aluno, tenha mais significado do que a simples descrição do mesmo a partir de desenhos feitos no quadro.

AULAS 14 E 15



Pensando num curso de termodinâmica completo, ainda que o professor possa e deva fazer as alterações que julgar necessárias, achamos importante reservar aulas para tirar dúvidas dos alunos sobre os exercícios. Sugerimos que o professor utilize algumas dessas aulas para isso, se julgar pertinente.

Sugerimos também a realização da atividade experimental que consiste em, utilizando dois cubos de gelo de mesmo tamanho, enrolar um deles em uma flanela e deixar o outro exposto ao ambiente, abrindo em seguida a discussão: qual pedra de gelo derrete primeiro? A ideia é discutir sobre a funcionalidade dos isolantes térmicos, como o cobertor que utilizamos ao dormir e que não nos aquece transferindo calor, mas reduzindo as perdas de calor do nosso corpo para o ambiente.

Lembrando da aula 5, quando iniciamos a discussão sobre características das peças do motor, é interessante discutir agora a diferença entre calor específico e capacidade térmica. *O texto 5: Calor específico e capacidade térmica*, trata desse assunto. Utilizamos as equações e fórmulas, a partir das quais podemos definir essas grandezas, como ferramentas para auxiliar na discussão e entendimento dos conceitos.

AULAS 20 A 28

Nesse conjunto de aulas o professor também pode selecionar algumas para tirar dúvidas de alguma atividade e/ou realizar alguma atividade avaliativa.⁴

Fazemos aqui a sugestão de desenvolver com os alunos um processo para determinação do calor específico de um metal. O professor que quiser realizá-lo pode fazê-lo num laboratório ou mesmo em sala, visto que os materiais são fáceis de serem transportados de uma turma para outra. Talvez o mais difícil de se conseguir seja o calorímetro⁵, mas acreditamos que esse é um útil experimento para a discussão sobre transferência de calor e equilíbrio térmico.

⁴ Não faremos uma discussão sobre atividades avaliativas visto que extrapolam nossos objetivos. Cabe a cada professor escolher o melhor momento para isso e definir o tipo de atividade avaliativa que usará, seja prova escrita, oral, ou mesmo outro método avaliativo.

⁵ Uma boa sugestão de como construir um calorímetro utilizando materiais de baixo custo e fáceis de serem encontrados pode ser visualizado no site: <https://www.youtube.com/watch?v=ePLyEGs429s> (visualizado em 23/01/2017 as 16:00)

Sugerimos que o professor discuta com os alunos a importância da determinação da capacidade térmica do calorímetro e como determiná-la, antes de tentar descobrir o calor específico de um metal qualquer. Acreditamos que propor uma situação-problema que faça o aluno pensar sobre como determinar essa capacidade térmica facilitará o entendimento da importância do calorímetro e como utilizá-lo. O *Texto 5: Calor específico e capacidade térmica* possui um modelo de atividade experimental que pode ser realizada em sala. Em seguida temos outro modelo de realização da atividade.

Experimento em sala para determinação do calor específico de um material.

- Material: bloco de alumínio com massa conhecida, massa de água conhecida, termômetro e calorímetro com capacidade térmica a ser determinada.
- Procedimentos: coloque a água no calorímetro, meça e anote a temperatura desse sistema após o mesmo entrar em equilíbrio térmico.
- Coloque o bloco de alumínio em outro recipiente com água e coloque-a para ferver. Quando a fervura começar, aguarde alguns minutos (mantendo o fogo aceso), retire o bloco de alumínio e coloque-o rapidamente no calorímetro, fechando-o. A temperatura inicial do alumínio, quando colocado nesse recipiente, será a temperatura de fervura da água, que em Belo Horizonte está perto de 98°C. Usando a equação fundamental da calorimetria será possível determinar a capacidade térmica do calorímetro.

OBS. como determinar, antes do experimento, a capacidade térmica do calorímetro? Coloque uma massa conhecida de água no calorímetro, espere entrar em equilíbrio e meça a temperatura do sistema. Coloque outra quantidade conhecida de água no fogo, e quando atingir certa temperatura, abaixo do ponto de ebulição (por exemplo 80°C), coloque dentro do calorímetro, espere entrar em equilíbrio térmico e meça a temperatura final. Utilizando a equação fundamental da calorimetria determine a capacidade térmica do calorímetro.

- QUESTÃO PARA DISCUTIR: colocando-se no fogo duas panelas de mesma massa, uma de cobre e outra de alumínio, qual delas atingirá maior temperatura após alguns minutos? Que informação é necessária para responder essa questão?

Nesse momento o professor pode pedir aos alunos que leiam o *Texto 5: Calor específico e capacidade térmica* e resolvam os exercícios do mesmo. Esse texto foi utilizado em 2016. Sugerimos que faça o experimento, citado no texto 5, que ajuda a determinar o equivalente mecânico do calor. Usando um tubo de pvc de 1 metro de comprimento, contendo uma massa conhecida de esferas de chumbo e um furo onde podemos inserir um termômetro, vira-o “n” vezes e mede-se o aumento de temperatura. A partir desse aumento de temperatura e do calor específico do alumínio é possível determinar a quantidade de calor que o mesmo deveria receber para esse aumento de temperatura. Como não houve transferência de calor (ou foi desprezível) no processo, a energia é proveniente da variação de energia potencial gravitacional, permitindo-se comparar essa variação com o aumento de energia térmica. Caso o professor não consiga realizar a experiência, sugerimos pelo menos sua discussão teórica.

Questões introdutórias para discussão:

- a) A temperatura de um corpo pode ser alterada sem que ele troque calor com a vizinhança?
- b) Um corpo pode trocar calor com a vizinhança e sua temperatura ficar inalterada?

➤ BLOCO 3: Transformações gasosas e Leis da Termodinâmica

Nesse bloco temos gasto, aproximadamente, 10 aulas para desenvolvê-lo.

AULAS 29 A 33

Uma vez discutido os conceitos básicos de Termodinâmica, acreditamos ser um bom momento para discutir as transformações gasosas no ciclo Otto do motor a combustão. Essa foi uma demanda enfatizada por um professor que desenvolveu a SD em 2014 e teve dificuldades em desenvolver alguns conceitos físicos enquanto desenvolvia a abordagem CTS. Percebemos que, na época, faltou tempo para os professores desenvolverem um material mais robusto, que permitisse que os mesmos não precisassem retornar ao livro didático e, com isso, evitar as quebras da SD, que foram sentidas por eles e até pelos alunos. Sugerimos que o professor desenvolva essa parte de maneira bem sistemática, discutindo bem as transformações gasosas que ocorrem no motor, devido à sua complexidade. O *Texto 6: Ciclo Otto e Conservação da energia - A primeira Lei da Termodinâmica*, é relativo a essa aula.

O professor pode optar por pedir aos alunos que leiam esse texto antes, para terem uma ideia do que será trabalhado ou lerem depois dessa aula, para enfatizar o que foi discutido. Sugerimos algumas questões que auxiliarão a introduzir o assunto:

• QUESTÕES INTRODUTÓRIAS:

- a) A energia se conserva no ciclo OTTO?
- b) Como expressar a conservação da energia no ciclo Otto?

COMENTÁRIO: a primeira questão é uma forma de introduzir a 1ª Lei da Termodinâmica, visto que, no ciclo completo, há conservação de energia. A expressão algébrica dessa lei é dada como resposta à questão “b”. Esta questão foi introduzida por permitir retomar o significado do princípio de conservação da energia. Em algumas situações os alunos podem pensar que não há conservação de energia no ciclo devido ao rendimento do motor ser menor que 100%, ou porque há perdas no processo. Importante deixar claro que essa energia, que pensam que é perda é, na verdade, um processo de transferência de parte da energia gerada na combustão, que não é utilizada, mas que a energia total se conserva. Essa discussão cria embasamento para apresentação de uma equação que incorpora os processos de trabalho e transferência de calor, ou seja, a 1ª Lei da Termodinâmica. O professor deve estar atento a isso e retomar o sentido do princípio geral de conservação de energia, que inclui calor como um dos processos de transferência de energia entre o sistema (gases no interior dos cilindros) e sua vizinhança (carcaça do motor e ambiente).

Discutir as transformações gasosas a partir dos tempos do motor:

- ✓ 1º tempo: admissão – expansão isobárica
- ✓ 2º tempo: compressão – compressão adiabática
- ✓ 3º tempo: expansão/expansão – aquecimento isovolumétrico com posterior expansão adiabática;
- ✓ 4º tempo: exaustão – resfriamento isovolumétrico com posterior compressão isobárica.

Representando o calor trocado no sistema por Q , a variação de energia interna por ΔU e o trabalho por W , temos que, para os gases resultantes da combustão: $Q = \Delta U + W$.

Nesse momento é interessante discutir as transformações gasosas relacionando cada uma delas com as grandezas referenciadas na 1ª Lei da Termodinâmica.

- a) Aquecimento isovolumétrico.
- b) Resfriamento isovolumétrico.
- c) Compressão adiabática.
- d) Expansão adiabática.

As questões ao final do texto 6 pretendem dar contexto para que os alunos possam aplicar conceitos e familiarizar-se com o formalismo matemático da primeira lei da termodinâmica.

OBS: a contextualização da 1ª Lei da Termodinâmica utilizando o motor a combustão é válida para todos os processos, sejam eles naturais ou tecnológicos.

AULA 34

Iniciamos o *Texto 7: Aplicações da 1ª Lei da Termodinâmica*.

a) QUESTÃO INTRODUTÓRIA: um sistema pode realizar trabalho e sua energia interna permanecer constante?

Resposta: transformação isotérmica.

b) QUESTÃO INTRODUTÓRIA: um gás pode realizar trabalho e ter sua energia interna aumentada?

Resposta: sim, se $Q > w$. Um exemplo é a expansão isobárica.

COMENTÁRIO: a importância dessas questões reside em facilitar a compreensão de algumas transformações gasosas, como as que ocorrem durante os 4 tempos do motor.

AULAS 35 E 36

Chegou o momento de discutir a 2ª Lei da Termodinâmica. Uma sugestão é iniciar com alguns enunciados dessa lei:

- **Enunciado 1:** o calor flui espontaneamente de uma fonte quente para uma fonte fria.

Obs: na geladeira o líquido refrigerante, próximo ao ponto de vaporização, absorve calor e vira gás. No compressor esse gás é submetido a uma compressão e, portanto, libera calor. É, portanto, um processo não espontâneo

- **Enunciado 2:** é impossível a uma máquina térmica, operando em ciclos, converter integralmente em trabalho todo o calor recebido.

Discussão dos diagramas de máquina térmica e refrigerador em relação aos fluxos de energia e definição matemática de rendimento.

A 2ª Lei está estritamente relacionada:

- ao caráter desordenado da energia térmica

- ao fato da energia térmica estar distribuída por um número infinitamente grande de partículas.

O *Texto 8: Rendimento do motor de combustão interna - os limites da 2ª Lei da Termodinâmica*, utilizado em 2016, ajuda a explicar o funcionamento teórico de uma máquina térmica, além de definir o conceito de Entropia.

Definimos, então, o conceito de rendimento, e introduzimos o ciclo de uma máquina térmica ideal, concebida por Carnot.

AULA 37 E 38

O *Texto 9: Uso intensivo da tecnologia do motor de combustão interna, mobilidade urbana e degradação da energia*, é o texto culminante da SD. O professor pode, a partir do mesmo, realizar um debate em sala ou por meio de um seminário, relacionando o que foi discutido durante o desenvolvimento SD sobre o funcionamento do motor com as Leis da Termodinâmica e as relações CTS. Esse texto explica sucintamente o funcionamento do motor, uma máquina que transforma energia térmica em trabalho, a partir das Leis da Termodinâmica – princípio de conservação (1ª Lei) e da degradação (2ª Lei) da energia. O segundo princípio diz que parte da energia térmica gerada no motor a combustão é não-utilizada, sendo liberada pelo escapamento junto com os gases que são produtos da combustão e pelo sistema de refrigeração do motor. O calor assim transferido ao ambiente é energia não útil e representa, em grande escala, desperdício inevitável de energia. Isso nos leva a questionar um modelo de desenvolvimento baseado no uso de tecnologias de geração de energia térmica, como a das indústrias que utilizam da queima de combustíveis fósseis para geração de energia e da gigantesca frota nacional de veículos que utilizam os motores a combustão, em sua maioria a base de gasolina ou diesel. Além da poluição gerada pela queima de combustíveis fósseis, podemos levantar outra questão ligada ao fato que, no Brasil, o transporte nos grandes centros urbanos é realizado especialmente por transportes particulares, que transportam em média 1 ou 2 pessoas por veículo. Isso cria um modelo de transporte que tende a levar à imobilidade nesses centros.

Enfim, um modelo de mobilidade fundamentado no uso do automóvel particular com seu motor a combustão, que polui muito, tem baixo rendimento e, no limite, leva à imobilidade, nos leva a um posicionamento crítico sobre seu uso, que pode ser desenvolvido com os alunos a partir das relações CTS.

ATIVIDADES DE ENCERRAMENTO

Relatamos aqui algumas atividades de encerramento do curso de física térmica, realizadas nos últimos anos. Esperamos que sirvam de sugestão e que, a partir delas, os professores possam elaborar outras atividades.

Em 2011 realizamos, como atividade de encerramento, um debate em sala sobre o tema de Políticas Públicas e Mobilidade Urbana, com a participação de um professor do curso técnico de Transportes. Dividimos os alunos em grupos de 4 a 6 participantes que, durante as últimas 3 semanas do curso de termodinâmica, realizaram uma atividade extraclasse cujo objetivo foi prepara-los para a realização desse debate. Essa atividade consistia inicialmente na leitura de duas reportagens (MARTINS, 2010; 2011), a primeira tratando dos problemas de mobilidade nos grandes centros urbanos e a segunda, apesar de tratar do mesmo tema, tinha como foco a

cidade de São Paulo. Depois da leitura os alunos deveriam realizar a produção escrita de um diagnóstico sobre mobilidade urbana, com base nos textos e em outros conhecimentos e elaborar cinco questões, cada uma delas com o posicionamento do grupo para o referido debate com a classe, compartilhando as leituras, reflexões e discussões realizadas em grupo.

Relatando um pouco da nossa experiência percebemos que os enunciados dos estudantes no debate mostraram uma boa apreensão dos conteúdos das reportagens. As intervenções foram abrangentes, muito articuladas com a experiência deles com o uso do transporte coletivo, proporcionando um debate muito rico de ideias, com posicionamentos maduros e críticos sobre o tema da mobilidade. Para saber mais recomendamos a leitura do artigo que contém uma análise preliminar dos trabalhos desses alunos, apresentado no XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física (MOREIRA et al, 2012).

A SD foi novamente desenvolvida em 2012, dentro dos mesmos pressupostos e intenções, porém, buscando incorporar modificações a partir das aprendizagens adquiridas no percurso do ano anterior. Na experiência de 2012, um blog constituiu-se como um elemento novo, simultaneamente, de mediação e produto dessa prática. O blog foi mediação na medida em que sistematizou a experiência de 2011, incluindo e diversificando fontes de informação sobre o tema, entre elas: reportagens, entrevistas escritas, vídeos, imagens, charges e textos. O mesmo se constituiu como produto da prática a partir das atividades que os alunos deveriam realizar ao interagirem neste espaço virtual.

Após apresentação da mobilidade urbana como uma situação problema que exigia uma reflexão crítica e o desenvolvimento das atividades ligadas ao estudo da Termodinâmica, os alunos do ano de 2012 deveriam acessar o blog “Ciência Cidadã” (<http://cienciacidadacefetmg.blogspot.com.br/>) e comentar, em grupos, as postagens dos professores sobre o tema “mobilidade urbana e degradação de energia”. O blog, então, constituiu-se num espaço de discussão e preparação para o debate sobre o tema, que ocorreu em um sábado letivo, no final do curso de Termodinâmica, com a participação de aproximadamente 300 alunos de todas as turmas do segundo ano.

Em 2014, ano em que a experiência com a SD foi discutida na dissertação, a atividade de encerramento se constituiu na produção de um vídeo pelos alunos. Toda a discussão, durante o curso, sobre estrutura e funcionamento do motor a combustão, os conceitos físicos envolvidos (a partir do estudo da Termodinâmica) e as implicações sociais do seu uso, além do blog que os alunos poderiam acessar, serviram de embasamento para a produção desse vídeo. Ele deveria retratar o problema da mobilidade urbana, tendo como ponto de partida as questões ligadas ao rendimento de máquinas térmicas. E, ao retratar a questão, deveria apontar caminhos de participação coletiva para a superação do problema da mobilidade urbana, além de propostas de uso mais racional de energia e melhoria da qualidade do ar em nossa cidade. Critérios mais específicos como número de participantes e duração do vídeo foram deixados a cargo de cada professor.

Em 2016 foi realizado uma Audiência Pública, no final do curso de Termodinâmica, a fim de debater o tema: Mobilidade Urbana e Transporte Coletivo. Essa Audiência foi realizada conjuntamente com a Comissão de Desenvolvimento Econômico, Transporte e Sistema Viário, da Câmara Municipal. Participaram dela representantes da Câmara Municipal, da Prefeitura - da BHtrans, órgão municipal regulador – e de movimentos sociais envolvidos com o problema do transporte coletivo. Foram também convidados a diretoria do Grêmio e professores do Departamento de Engenharia de Transportes do CEFET-MG.

Para preparação para Audiência Pública os alunos deveriam, reunidos em grupo, produzir um texto que subsidiasse o debate, e que seria entregue antes do mesmo. Algumas discussões já haviam sido realizadas sobre o tema durante o curso, levantando problemas como a imobilidade que esse modelo de uso de veículos particulares tende a gerar e a baixa eficiência dos motores a combustão. Isso gerou algumas questões motivadoras: por que prevalece esse

modelo em grandes capitais, como Belo Horizonte? Por que nossa cidade não dispõe de diferentes modalidades de transporte coletivo que incentivem as pessoas a deixarem os carros nas garagens? Por que as passagens são tão caras e a maior parte dos ônibus é desconfortável e circula com excesso de passageiros? Por que Belo Horizonte não dispõe de uma malha de metrô, que atenda a demanda, e cumpra o papel de organizar as diferentes modalidades de circulação pela cidade? O que podemos fazer a respeito, como cidadãos e cidadãs dessa cidade?

O texto deveria abordar o tema do ponto de vista da articulação entre Ciência, Tecnologia e Sociedade (CTS), isto é, contemplar aspectos científicos e tecnológicos combinados a fatores sociais, políticos, econômicos e culturais que possam responder às questões motivadoras da Audiência.

Essas foram algumas atividades de encerramento realizadas nos últimos anos.

REFERÊNCIAS

ALVARENGA, Beatriz, MÁXIMO, Antonio. *Curso de Física Volume 1*. São Paulo, Ed. Scipione, 2006.

AMBROGI, A. *et al. Unidades modulares de química*. São Paulo: Hamburg, 1987.

AULER, Décio. Alfabetização científico-tecnológica: um novo “paradigma”? **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**, v.5, n.1, p.1-16, 2003.

_____. Enfoque ciência-tecnologia-sociedade: pressupostos para o contexto brasileiro. **Ciência e Ensino**, v.1, n. especial, p.1-20, 2007.

AULER, D.; BAZZO, W. A. Reflexões para a implementação do movimento CTS no contexto educacional brasileiro. **Ciência e Educação**, v.7, n.1. p. 1-13, 2001.

AULER, Décio et al. Transporte particular x transporte coletivo: intervenção curricular pautada por interações entre ciência-tecnologia-sociedade. **ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS, NÚMERO EXTRA. VII CONGRESO**, 2005.

BAZZO, Walter Antônio. **Ciência, tecnologia e sociedade**: e o contexto da educação tecnológica. Florianópolis: Editora da Universidade Federal de Santa Catarina, 1998.

BRASIL. Ministério da Educação. Secretaria de Educação Média e Tecnológica. *Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio)*. Brasília: MEC, 1998.

CACHAPUZ, Antonio Francisco. (2011). Tecnociência, poder e democracia. In: SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; AULER, Décio (Orgs.). *CTS e Educação Científica: desafios, tendências e resultados de pesquisas*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, pág. 49-72, 2011.

CRUZ, S. M. S. C.; ZYLBERSZTAJN, A. O enfoque ciência, tecnologia e sociedade e a aprendizagem centrada em eventos. In: PIETROCOLA, M. (Org.). *Ensino de Física: conteúdo e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2001. p. 171-196.

GASPAR, Alberto. *Física: Mecânica*. São Paulo, Ed. Ática, 2002.

GRF – Grupo de Reelaboração do Ensino de Física. *Física 1: mecânica*. São Paulo: EDUSP, 1990.

_____. *Física 2: física térmica; óptica*. São Paulo: EDUSP, 1991.

_____. *Física 3: eletromagnetismo*. São Paulo: EDUSP, 1993.

LUTFI, M. *Cotidiano e educação em química: os aditivos em alimentos como proposta para o ensino de química no segundo grau*. Ijuí: UNIJUÍ, 1988.

_____. *Os ferrados e os cromados: produção social e apropriação privada do conhecimento químico*. Ijuí: UNIJUÍ, 1992.

MARTINS, Rodrigo. Metrôpoles paralisadas, projetos interrompidos. *Carta Capital*. Reportagem publicada na edição 601 de 23 de junho de 2010.

MARTINS, Rodrigo. Retrocesso em vias rápidas. *Carta Capital*. Reportagem publicada na edição de 7 de fevereiro de 2011.

MÓL, G. de S.; e SANTOS, W. L. P. dos. (Coords.). *Química na sociedade*. 2 ed. Brasília: Editora da UnB, 2000.

MOREIRA, A. F.; ARAÚJO, S. M.; CARVALHO, A. M.; Abordagem CTS no ensino de Termodinâmica: mobilidade urbana e degradação da energia. **Anais do XIV Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**, São Paulo, 2012.

MORTIMER, E. F., MACHADO, A. H., ROMANELLI, L. I. *Proposta curricular – Química: fundamentos teóricos*. Belo Horizonte: Secretaria de Estado da Educação de Minas Gerais, 1998.

PINHEIRO, N. A. M.; SILVEIRA, R. M. C. F.; BAZZO, W. A. Ciência, tecnologia e sociedade: a relevância do enfoque CTS para o contexto do ensino médio. **Ciência & Educação**, v. 13, n.1, p. 71-74, 2007.

RAMALHO, F.; NICOLAU, G. F.; TOLEDO, P.A. Os Fundamentos da Física, 10ª edição, Vol. 2. São Paulo, Editora Moderna, 2009.

SANTOS, W. L. P.; MORTIMER, E. F. Uma Análise de Pressupostos Teóricos da Abordagem CT-S (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no Contexto da Educação Brasileira. In: **Ensaio - Pesquisa em Educação em Ciências**, Belo Horizonte, v. 2, n. 2, p. 133-162, 2000.

_____. Uma análise de pressupostos teóricos da abordagem CTS (Ciência-Tecnologia-Sociedade) no contexto da educação brasileira. **Ensaio – Pesquisa em educação em ciência**, v. 2, n.2, p.1-22, 2002.

SANTOS, W. L. P. Contextualização no ensino de ciências por meio de temas CTS em uma perspectiva crítica. In: *Ciência & Ensino*, São Paulo, vol. 1, número especial: “Educação em Ciência, Tecnologia, Sociedade e Ambiente”, p. 1-12, novembro de 2007.

SANTOS, Wildson Luiz Pereira dos; SCHNETZLER, Roseli Pacheco. *Educação em química: compromisso com a cidadania*. 4. Ed. Ijuí: Unijuí, 2010.

VAZ, Caroline Rodrigues; FAGUNDES, Alexandre Borges e PINHEIRO, Nilcéia A. Maciel. O surgimento da ciência, tecnologia e sociedade (CTS) na educação: uma revisão. **Anais do I Simpósio Nacional de Ensino de Ciência e Tecnologia**, Curitiba, 2009).

ANEXOS

ANEXO A: Sequência didática desenvolvida em 2016

COORDENAÇÃO DE CIÊNCIAS – FÍSICA – 2ª SÉRIE

**INTRODUÇÃO AO CURSO DE FÍSICA
TEXTOS E ATIVIDADES SOBRE TERMODINÂMICA**

2016

DINÂMICA DO CURSO DE FÍSICA DO SEGUNDO ANO DA EDUCAÇÃO TÉCNICA PROFISSIONAL DE NÍVEL MÉDIO - 2016



INTRODUÇÃO AO CURSO DE FÍSICA

Caros estudantes,

Um grande tema abarca nossos estudos de Física, no segundo ano: **os processos de conversão de energia**. Tecnologias, máquinas e dispositivos técnicos, conceitos, leis e teorias, a serem estudados nesse ano, se desdobram desse tema.

No primeiro bimestre, as **máquinas térmicas** serão nosso principal objeto de estudo. No funcionamento dessa máquina, **energia térmica é convertida em mecânica**. Revisitaremos a Princípio de Conservação de Energia, mas veremos também que, se no funcionamento de uma máquina térmica, a energia se conserva, uma parte, necessariamente será desperdiçada.

No segundo bimestre, nosso foco será sobre os **aparelhos elétricos resistivos**, aqueles que convertem **energia elétrica em térmica**. Antes de tratar da estrutura e funcionamento desses aparelhos, começaremos pelos conceitos fundamentais de carga elétrica, campo elétrico e diferença de potencial elétrico. Depois, compreendendo como funcionam os aparelhos elétricos resistivos, aprenderemos sobre os conceitos básicos relacionados aos circuitos elétricos.

O terceiro bimestre será dedicado ao eletromagnetismo. Dois objetos da tecnologia contextualizam o estudo dessa área de conhecimento da Física: **o motor elétrico e o acelerador de partículas**. Nesses dispositivos, **energia elétrica é convertida em movimento, em energia mecânica**.

Mas se podemos obter energia mecânica a partir da elétrica, é possível a situação reversa? É possível **converter energia mecânica em elétrica**? Os geradores das usinas hidroelétricas e termoeletricas mostram que sim, e criam o contexto para compreender o importante fenômeno da indução eletromagnética.

A organização conceitual e o desenvolvimento do nosso curso se fundamentam nas seguintes competências e habilidades que orientam a elaboração de questões do Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM):

Competência 1 – Compreender as ciências naturais e as tecnologias a elas associadas como construções humanas, percebendo seus papéis nos processos de produção e no desenvolvimento econômico e social da humanidade.

H3 – Confrontar interpretações científicas com interpretações baseadas no senso comum, ao longo do tempo ou em diferentes culturas.

H4 – Avaliar propostas de intervenção no ambiente, considerando a qualidade da vida humana ou medidas de conservação, recuperação ou utilização sustentável da biodiversidade.

Competência 2 – Identificar a presença e aplicar as tecnologias associadas às ciências naturais em diferentes contextos.

H5 – Dimensionar circuitos ou dispositivos elétricos de uso cotidiano.

H6 – Relacionar informações para compreender manuais de instalação ou utilização de aparelhos, ou sistemas tecnológicos de uso comum.

Competência 3 – Associar intervenções que resultam em degradação ou conservação ambiental a processos produtivos e sociais e a instrumentos ou ações científico-tecnológicos.

H8 – Identificar etapas em processos de obtenção, transformação, utilização ou reciclagem de recursos naturais, energéticos ou matérias-primas, considerando processos biológicos, químicos ou físicos neles envolvidos.

H10 – Analisar perturbações ambientais, identificando fontes, transporte e(ou) destino dos poluentes ou prevendo efeitos em sistemas naturais, produtivos ou sociais.

H12 – Avaliar impactos em ambientes naturais decorrentes de atividades sociais ou econômicas, considerando interesses contraditórios.

Competência 5 – Entender métodos e procedimentos próprios das ciências naturais e aplicá-los em diferentes contextos.

H17 – Relacionar informações apresentadas em diferentes formas de linguagem e representação usadas nas ciências físicas, químicas ou biológicas, como texto discursivo, gráficos, tabelas, relações matemáticas ou linguagem simbólica.

H18 – Relacionar propriedades físicas, químicas ou biológicas de produtos, sistemas ou procedimentos tecnológicos às finalidades a que se destinam.

H19 – Avaliar métodos, processos ou procedimentos das ciências naturais que contribuam para diagnosticar ou solucionar problemas de ordem social, econômica ou ambiental.

Competência 6 – Apropriar-se de conhecimentos da física para, em situações problema, interpretar, avaliar ou planejar intervenções científico-tecnológicas.

H21 – Utilizar leis físicas e (ou) químicas para interpretar processos naturais ou tecnológicos inseridos no contexto da termodinâmica e(ou) do eletromagnetismo.

H23 – Avaliar possibilidades de geração, uso ou transformação de energia em ambientes específicos, considerando implicações éticas, ambientais, sociais e/ou econômicas.

Cada bimestre terá, como atividade organizadora do ensino dos conteúdos da Física, a discussão sobre a estrutura e funcionamento de um ou mais objetos da tecnologia. Essa primeira abordagem tem dois objetivos. Um deles é o de criar um contexto de significação dos conceitos, modelos, leis e teorias que serão estudados em cada bimestre. O outro é o de possibilitar a introdução de uma discussão sobre implicações sociais das tecnologias.

A contextualização inicial, proporcionada pela discussão de uma tecnologia, objetiva levantar os conhecimentos prévios com que vocês possuem a respeito dos temas de estudo. **Queremos saber o que vocês já sabem sobre esses temas, quando iniciamos seu estudo, em cada bimestre.** Esperamos que a contextualização inicial seja um fator de motivação para o estudo conceitual da física uma vez que serão apresentados elementos para justificar as razões dos estudos propostos. Essas razões estão relacionadas à formação do técnico, que pressupõe justamente uma compreensão não apenas da sequência de procedimentos na operação de uma máquina ou processo, mas dos seus fundamentos científicos. Na contextualização inicial, destacamos aspectos da estrutura e funcionamento de um objeto da tecnologia para conferir significado aos fundamentos científicos a serem discutidos dentro do programa de conteúdos conceituais previstos para o segundo ano.

O segundo momento, após a contextualização inicial, será dedicado desses conteúdos conceituais. Utilizaremos materiais didáticos diversificados para ensiná-los, de modo coerente com a formação das competências e habilidades anteriormente enunciadas. O livro didático que

vocês receberão será uma das fontes de estudo, mas não única. Em alguns momentos, não será nem mesmo a principal. No lugar dele, utilizaremos livros paradidáticos e textos produzidos pela equipe de professores do segundo ano.

O terceiro momento busca ampliar nossos objetivos de formação, possibilitando a cada um de vocês a elaboração de uma visão crítica sobre as relações entre ciência, tecnologia e sociedade. Isso pode contribuir para uma atuação mais consciente como técnico e, como técnico e cidadão, desenvolver o compromisso com a construção de uma sociedade sustentável. Significa, também, compreender a tecnologia não como algo dado, naturalizado, a ser consumido, aplicado e utilizado, sem uma percepção crítica dos seus efeitos e das escolhas e decisões prévias que determinam a produção de certas tecnologias e não de outras.

Para garantir o ensino do conhecimento físico básico, que fundamenta cientificamente as tecnologias de conversão de energia, a discussão sobre as implicações sociais da ciência e da tecnologia acontecerá na forma de uma atividade complementar. Implicará, principalmente, o seu envolvimento com o desenvolvimento de projetos em grupo, extraclasse, com duas a três aulas destinadas à discussão dos resultados alcançados com esses projetos.

Aprender física pode ser mais que aprender conceitos e aplicá-los em problemas exemplares, cuja resposta é conhecida antecipadamente. O convite que fazemos a vocês é aprender física, saindo dos muros da escola. Propomos como porta de entrada a problematização de tecnologias, do ponto de vista da estrutura e funcionamento de objetos técnicos. O que precisamos estudar para entender seus fundamentos científicos? Mas a tecnologia, assim como a ciência, é uma construção humana, influenciada socialmente no momento de sua produção e com repercussões sociais importantes. Que implicações sociais se desdobram das tecnologias estudadas? Podemos interferir, como técnicos e cidadãos nesse processo, valendo-nos de conhecimentos vindos de diferentes campos e experiências, dentre eles, o conhecimento de física que aprendemos na escola?

Vocês, estudantes, estão convidados a construir esse caminho conosco!

Equipe de professores de Física

Física – 2º ano – 1º bimestre

Atividade em classe 1: Termodinâmica - problematização inicial⁷

Participantes

1.	2.
3.	4.

Objeto: o motor de combustão interna

Objetivo: Identificar conhecimentos prévios sobre: energia, processos de conversão de energia, funcionamento do motor de combustão interna, impactos do uso do motor de combustão interna.

Procedimentos:

Neste início das discussões sobre a Termodinâmica, queremos saber o que você sabe sobre o motor de combustão e os processos de conversão de energia envolvidos em seu funcionamento. Não há certo ou errado, mas os seus conhecimentos a partir dos quais vamos dialogar com a Termodinâmica, suas Tecnologias e Implicações Sociais.

Responda, nesta folha, às seguintes questões da maneira mais completa que você conseguir. Justifique suas respostas. Você pode precisar de dados que não estão informados no enunciado das questões. Se for esse o caso, faça estimativas ou pergunte ao professor.

1. Ao iniciarmos determinada viagem de automóvel, no início, o tanque está cheio de gasolina. Após percorrermos algumas centenas de quilômetros, este estará vazio. Para você, o que aconteceu com a gasolina? Responda com o maior detalhamento possível.

2. Uma pessoa pode fazer determinada viagem de ônibus ou de carro particular. Para você, em que circunstâncias haverá um maior "consumo" de energia, por pessoa, por quilômetro rodado? Justifique, calculando o consumo em unidades de energia/(pessoa.km), tanto para o ônibus, que percorre 2 km com 1 L de diesel, como para o carro particular, que percorre 10 km com 1 L de gasolina. Considere que o ônibus transporte, em média, 30 pessoas e o carro, apenas uma.

3. De acordo com uma reportagem da EMBRAPA⁸

“ (...) ao chegar ao posto de combustível e mesmo antes da combustão, 1 litro de gasolina já emitiu para a atmosfera 507 gramas de CO₂. Do mesmo modo, 1 litro de óleo diesel antes de ser totalmente transformado em energia nos motores já emitiu 510,4 gramas de CO₂.

Adicionando o equivalente do CO₂ emitido na combustão desses combustíveis, 1 litro de gasolina emite um total de 3,65 quilos de equivalentes CO₂ e 1 litro de diesel a 4,01 quilos de equivalentes CO₂”.

⁷ Baseado em AULER, Décio et al. Transporte particular x transporte coletivo: intervenção curricular pautada por interações entre ciência-tecnologia-sociedade. *ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS*, NÚMERO EXTRA. VII CONGRESO, 2005.

⁸ EMBRAPA. Mitigação das emissões de gases na substituição do diesel ou gasolina convencional por bioetanol da cana. **AgroAnalysis**. Revista de Agronegócios da FGV. Abr. 2009. Disponível em http://www.agroanalysis.com.br/especiais_detalhe.php?idEspecial=41&ordem=5. Acesso em: 17 mar. 2014.

Considere que sua casa fique a, pelo menos, 10 km do Campus I do CEFET-MG. Calcule quanto de CO₂ você emite por ano para ir de sua casa até a escola durante o período letivo. Se você for de carro, considere que seu carro faz 10 km/L de gasolina, e se você for de ônibus considere que este faz 2 km/L de diesel mas que tem em média 30 passageiros no ônibus. Se a sua casa fica a uma distância maior que 10 km, utilize, para fazer os cálculos, a distância real que você percorre.

Participantes

1. _____	2. _____
3. _____	4. _____

1. **Objeto:** Escalas termométricas
2. **Objetivo:** Conhecer diferentes tipos de termômetros; identificar variáveis termométricas e construir escalas a partir de grandezas associadas a estas variáveis.
3. **Introdução:** Nos encontros anteriores verificamos que nos motores de combustão interna a temperatura no interior do cilindro é muito elevada ($\pm 500^{\circ}\text{C}$), devido à combustão da gasolina, álcool, diesel ou gás. Existe um sistema nesses veículos - sistema de arrefecimento - próprio para controlar a temperatura do bloco do motor, evitando assim que ele sofra danos permanentes.

Um dos componentes do sistema de arrefecimento dos carros é o sensor de temperatura (fig.1) que fica inserido no bloco do motor e em contato com o líquido de arrefecimento que envolve os cilindros do motor. Quando a temperatura do líquido de arrefecimento muda, uma propriedade elétrica do sensor também altera: a resistência elétrica. Dessa forma é possível estabelecer uma relação entre a temperatura do líquido no interior do motor e sua resistência elétrica. Dizemos que a resistência⁹ elétrica do sensor é a VARIÁVEL TERMOMÉTRICA desse termômetro e o fio metálico é a SUBSTÂNCIA TERMOMÉTRICA utilizada. Diferentes tipos de termômetros, como veremos mais adiante, apresentam diferentes variáveis e substâncias termométricas.

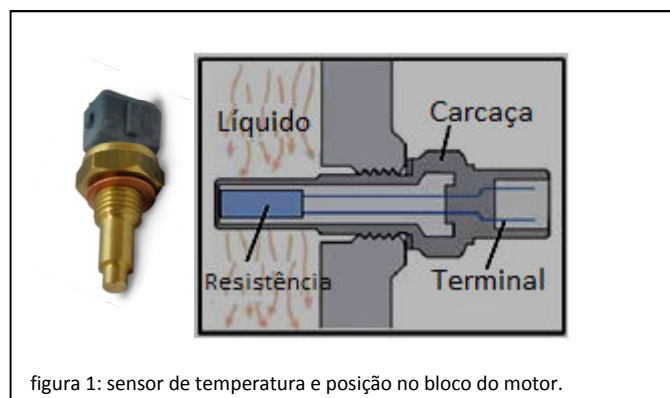


figura 1: sensor de temperatura e posição no bloco do motor.

A unidade que mede a resistência elétrica é o OHM (Ω). Isso significa que se ocorrer uma alteração na temperatura do líquido (em $^{\circ}\text{C}$), o valor da resistência elétrica (em Ω) também mudará. Conhecendo-se a função matemática que estabelece essa relação podemos escrever que a temperatura é função da resistência elétrica, ou em linguagem matemática:

$$t = f(R) \begin{cases} t \text{ é medido em } ^{\circ}\text{C} \\ R \text{ é medido em ohm} \end{cases}$$

⁹ Importante lembrar que a resistência elétrica desse sensor tem seu valor reduzido quando ocorre um aumento de temperatura.

Construção da escala termométrica: Vamos supor que para cada valor de temperatura do exemplo acima, exista somente um valor da resistência elétrica do sensor e que, essa relação seja representada por uma equação do 1º grau ($y = ax + b$). O manual de um fabricante¹⁰ de sensores informa que quando a temperatura do líquido de arrefecimento é de 25°C o valor da resistência elétrica é de 1110Ω e para a temperatura de 90°C o valor da resistência elétrica é de 85 Ω. Podemos representar esses valores conforme o diagrama da figura 2.¹¹

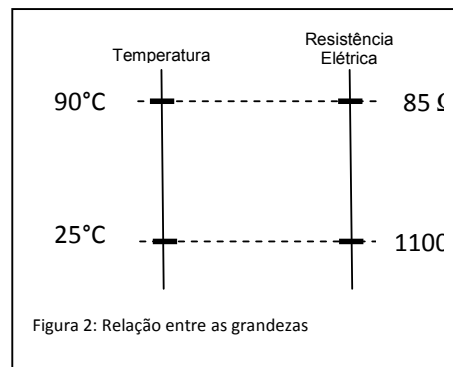


Figura 2: Relação entre as grandezas

Para descobrir como se relacionam as grandezas, podemos utilizar as regras de proporção elaboradas por Tales de Mileto (624a.C - 546a.C), como mostraremos a seguir.

Para determinar a função entre a temperatura T e a resistência elétrica R basta fazer a proporção entre as medidas dos segmentos proporcionais, isto é, (fig.3):

$$\frac{90^{\circ}\text{C} - 25^{\circ}\text{C}}{T - 25^{\circ}\text{C}} = \frac{85\ \Omega - 1100\ \Omega}{R - 1100\ \Omega}$$

Resolvendo a equação, teremos que:

$$T = \frac{13}{203}(1100 - R) + 25$$

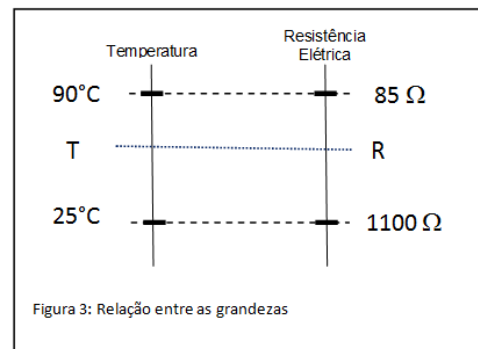
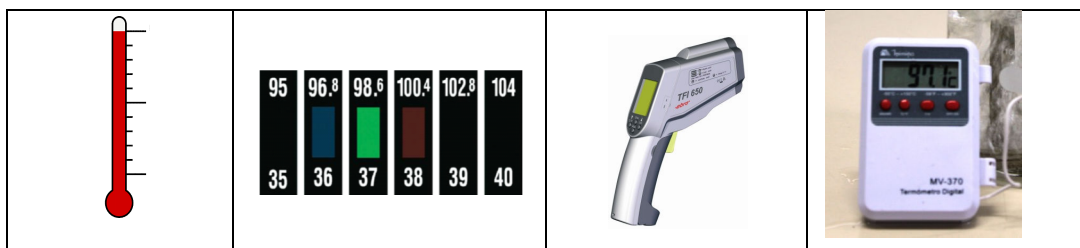


Figura 3: Relação entre as grandezas

Para você resolver:

Desenvolva a proporção da figura 3 e demonstre a equação acima.

- Substitua em R o valor de 1100 Ω e encontre o valor de T.
- Substitua em T o valor de 90°C e encontre o valor de R.
- Quatro tipos de termômetros serão apresentados para vocês por seu professor. Em cada um deles identifique a SUBSTÂNCIA e a VARIÁVEL TERMOMÉTRICA.



- Pesquise sobre a escala de temperatura Celsius e elabore um pequeno texto sobre como ela foi construída. Faça o mesmo para a escala Fahrenheit e mostre como ambas se relacionam.

Construção da escala Kelvin ou absoluta (K): Os estudos das propriedades dos gases, dentre outros, elaboraram a ideia que a temperatura de um objeto está associada à agitação das partículas que a compõem, isto é, quanto maior a temperatura maior seria a agitação de suas moléculas/átomos.

Essa associação (temperatura ↔ agitação) leva a uma interessante pergunta: pode um corpo não apresentar agitação alguma das partículas que o constituem (temperatura mínima possível) ou

¹⁰<http://www.mte-thomson.com.br/site/wp-content/uploads/2012/06/Manual%20de%20Arrefecimento%20MTE-Thomson.pdf> (acesso em jan. 2016)

¹¹ Na maioria dos sólidos, a resistência elétrica R aumenta com o aumento da temperatura; nesses casos o material é do tipo PTC (coeficiente positivo de temperatura), diferentemente do material de que é feito o resistor desse sensor, que é NTC - coeficiente negativo de temperatura.

existiria um limite superior para o grau de agitação dessas partículas (temperatura máxima possível)?

Diferentes campos de pesquisa da Física Clássica apresentam para a primeira pergunta uma resposta positiva e para segunda, uma negativa. A menor temperatura possível para um sistema macroscópico¹² seria de $-273,16^{\circ}\text{C}$. Em função disso foi criada uma escala na qual não houvesse valores negativos (escala absoluta), uma vez que quando não houvesse agitação das partículas de um corpo, a temperatura a ele atribuída seria ZERO - zero kelvin (0 K). Essa escala é denominada escala Kelvin (K) e é a escala de temperatura utilizada no sistema internacional de unidade (SI).

Por convenção utiliza-se o símbolo "t" para temperaturas na escala Celsius e "T" para temperaturas na escala Kelvin.

Tanto a escala Kelvin quanto a Celsius são escalas centígradas e relacionam-se conforme esquema a seguir:

Relação t(°C) e T(K)		Fenômeno associado
$T = t + 273$	$100^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 373\text{ K}$	Ebulição da água (1 atm)
	$0^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 273\text{ K}$	Solidificação da água (1 atm)
	$-273^{\circ}\text{C} \leftrightarrow 0\text{ K}$	Menor temperatura possível

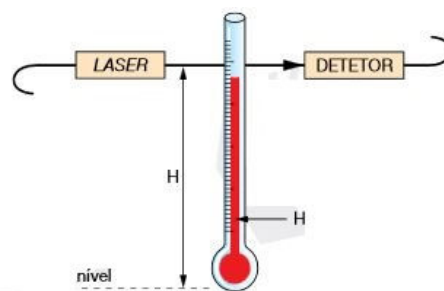
Exercícios

- (Cesgranrio 91) Com o objetivo de recalibrar um velho termômetro com a escala totalmente apagada, um estudante o coloca em equilíbrio térmico, primeiro, com gelo fundente e, depois, com água em ebulição sob pressão atmosférica normal. Em cada caso, ele anota a altura atingida pela coluna de mercúrio: 10,0cm e 30,0cm, respectivamente, medida sempre a partir do centro do bulbo. A seguir, ele espera que o termômetro entre em equilíbrio térmico com o laboratório e verifica que, nesta situação, a altura da coluna de mercúrio é de 18,0cm. Qual a temperatura do laboratório na escala Celsius deste termômetro?
- Em uma certa escala X de temperatura, os pontos fixos do gelo e do vapor correspondem, respectivamente, a 25 X e a 85 X. Sabendo que a temperatura de fusão do enxofre é de 388 K, determine o valor dessa temperatura na escala X.¹³
- Sabemos que o zero absoluto é um valor teórico, ou seja, um valor encontrado por meio de cálculos, e não de forma experimental. Pesquise qual foi, até os dias de hoje, a menor temperatura conseguida de forma experimental e discuta o que poderia ocorrer se o zero absoluto fosse atingido.
- Construiu-se um alarme de temperatura com base numa coluna de mercúrio e num sensor de passagem, como sugere a figura.

¹² Essa condição se faz necessária uma vez que, classicamente, a temperatura é uma grandeza estatística e somente faz sentido quando associada a uma grande quantidade de partículas.

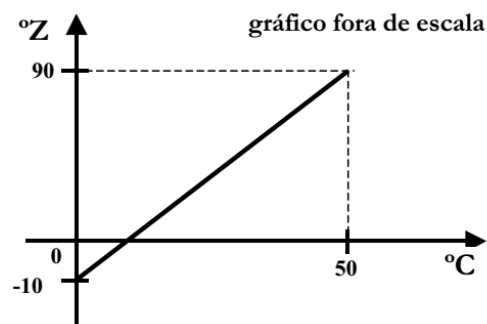
¹³ Disponível em: <<http://soensino.com.br/foruns/viewtopic.php?f=13&t=19463>>. Acesso em 17 de abril de 2017.

A altura do sensor óptico (par laser /detector) em relação ao nível H pode ser regulada de modo que, à temperatura desejada, o mercúrio, subindo pela coluna, impeça a chegada de luz ao detector, disparando o alarme. Calibrou-se o termômetro usando-se os pontos principais da água e um termômetro auxiliar, graduado na escala Celsius, de modo que a $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ a altura da coluna de mercúrio é igual a 8 cm, enquanto a $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ a altura é de 28 cm. A temperatura do ambiente monitorado não deve exceder $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Qual a altura em que o sensor óptico deve ser instalado?¹⁴



5. (EsPCEEx-SP) Comparando-se a escala **Z** com a escala **C** (Celsius) de dois termômetros, obteve-se o gráfico abaixo, que mostra a correspondência entre essas duas escalas. Quando o termômetro graduado em $^{\circ}\text{C}$ estiver registrando 90, o termômetro graduado em $^{\circ}\text{Z}$ estará registrando:

- A) 100
- B) 120
- C) 150
- D) 170
- E) 200



Respostas

1. 40°C
2. 94 X
3. Resposta pessoal
4. 20 cm
5. D

¹⁴ Disponível em: <<https://brainly.com.br/tarefa/289697>>. Acesso em 17 de abril de 2017.

Física – 2ª série - 1º bimestre

Atividade extraclasse 1: Vídeos sobre a estrutura e funcionamento do motor de combustão interna.

Nome _____ Turma _____
Data _____

Objeto da atividade: motor de combustão interna

Objetivo: Proporcionar a compreensão de aspectos básicos da estrutura e funcionamento de um motor por meio de animações que mostrem as partes e peças do motor e como são dispostas para fazer a máquina funcionar.

Ações:

Assista aos vídeos acessíveis nos links indicados a seguir e responda às questões propostas, nesta mesma folha, utilizando o verso, quando for preciso.

Vídeo 1: <http://www.youtube.com/watch?v=emRxXykWB3Y>

Vídeo 2: <http://www.youtube.com/watch?v=eNTqnO1a1yM>

1. Com base no que você assistiu no vídeo 1, divida em etapas o funcionamento básico de um motor de combustão interna. Dê nome a cada uma dessas etapas e descreva o que acontece em cada uma delas.
2. Indique partes do vídeo 1 que não foram compreendidas ou novas questões que surgiram a partir dele.
3. São apresentadas a seguir as funções das partes do motor mostradas no vídeo 2. Indique a qual parte ou peça do motor corresponde cada função descrita. Numere, em ordem crescente, cada parte e função de acordo com a ordem de seu aparecimento no vídeo.

() Transformar o movimento linear dos pistões em movimento circular:

() Captar o óleo do motor no carter e distribuí-lo a todo o motor:

() Guia dos pistões e suporte do eixo do motor:

() Introduzir mais ar em quantidades iguais nos cilindros:

() Armazenar e resfriar o óleo lubrificante:

() Armazenar energia e uniformizar o movimento rotativo:

() Transmitir o movimento dos cames para as válvulas:

() Encaminha os gases da combustão ao sistema de escape do veículo:

4. De um modo geral, de que material é feito o bloco do motor? Por que tem sido utilizado de forma crescente o alumínio na construção do bloco?
5. O que significa afirmar que um bloco de motor constituído de alumínio tem melhor comportamento térmico que o de ferro fundido?
6. Que material tem substituído a utilização de ferro fundido na construção do coletor de admissão? Que tipo de material é esse e quais as suas vantagens em relação ao ferro fundido?
8. O que impede a utilização de polímeros na construção do coletor de escape?
9. Indique partes do vídeo 2 que não foram compreendidas ou novas questões que surgiram a partir dele.

Se você quiser conhecer um pouco mais sobre o motor de combustão interna, acesse:

<http://carros.hsw.uol.com.br/motores-de-carros.htm>

Física – 2ª série – 1º bimestre

Texto 1: Motor de combustão interna, processos físicos, propriedades dos materiais e conceitos da Termodinâmica¹⁵

Alguma vez você abriu o capô de um carro e ficou imaginando o que acontece lá dentro? Para quem não entende do assunto, o motor de um carro pode parecer uma salada de metal, tubos e fios.

O propósito do motor de um carro a gasolina (ou álcool, ou gás) é transformar em movimento a energia liberada pela queima de um combustível. Isso vai fazer o carro andar. O modo mais fácil de criar movimento a partir da gasolina é queimá-la dentro de um motor. Portanto, o motor de carro é um **motor de combustão interna** - combustão que ocorre internamente.

Dois observações:

- Há vários tipos de motores de combustão interna, também chamados de motores a explosão. Motores a diesel são um tipo e turbinas a gás são outro.
- Existem também motores de combustão **externa**. O motor a vapor de trens antigos e navios a vapor é o melhor exemplo de motor de combustão externa. O combustível (carvão, madeira, óleo ou outro) é queimado fora do motor para produzir vapor, e este gera movimento dentro do motor. A combustão interna é muito mais eficiente (gasta menos combustível por quilômetro) do que a combustão externa, e o motor de combustão interna é bem menor que um motor equivalente de combustão externa.

Para compreender o funcionamento básico de um motor de combustão interna a pistão é útil ter uma imagem de como funciona a "combustão interna". Um bom exemplo é um antigo canhão de guerra. Você provavelmente já viu em algum filme soldados carregarem um canhão com pólvora, colocarem uma bala e depois o acenderem. Isso é combustão interna. Mas o que isso tem a ver com motores?

Um exemplo melhor: digamos que você pegue um pedaço comprido de tubo de PVC, talvez com 7,5 cm de diâmetro e uns 90 cm de comprimento e feche uma das extremidades. Então, digamos que você espirre um pouco de WD-40 (anti-corrosivo) dentro do tubo, ou jogue uma gotinha de gasolina e em seguida empurre uma batata para dentro do cano.

Não recomendamos que façam essa montagem. Esse dispositivo é conhecido como **canhão de batatas** (fig.1). Com uma centelha é possível inflamar o combustível. O interessante aqui, e a razão para falarmos de um dispositivo como esse, é que um canhão de batata pode arremessar uma batata a cerca de 150 metros de distância! Um pingo de gasolina armazena um bocado de energia.

Combustão interna

¹⁵ Adaptado de 'Como funcionam os motores de carros', por Marshall Brain - traduzido por HowStuffWorks Brasil (<http://carros.hsw.uol.com.br/motores-de-carros.htm>)

O canhão de batatas usa o princípio básico de qualquer motor de combustão interna convencional (motor a pistão). Pôr uma pequena quantidade de combustível de alta energia (como a gasolina) em um reduzido espaço fechado e gerar uma centelha libera uma grande quantidade de energia, na forma de gás em expansão. Essa energia pode ser usada para fazer uma batata voar 150 metros. Nesse caso, a energia é transformada em movimento da batata. Isso também pode ser usado para fins mais interessantes. Por exemplo, ao se criar um ciclo que permita provocar centenas de explosões por minuto e torne possível empregar essa energia de forma útil estará feita a base de um motor de carro!

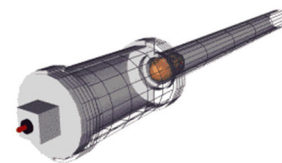


Figura 1: canhão de batatas

Quase todos os carros atualmente usam o que é chamado de **ciclo de combustão de 4 tempos** para converter a energia liberada pela combustão da gasolina em movimento. Ele também é conhecido como **ciclo Otto**, em homenagem a Nikolaus Otto, que o inventou em

1867. Os 4 tempos estão ilustrados na **figura 2**.

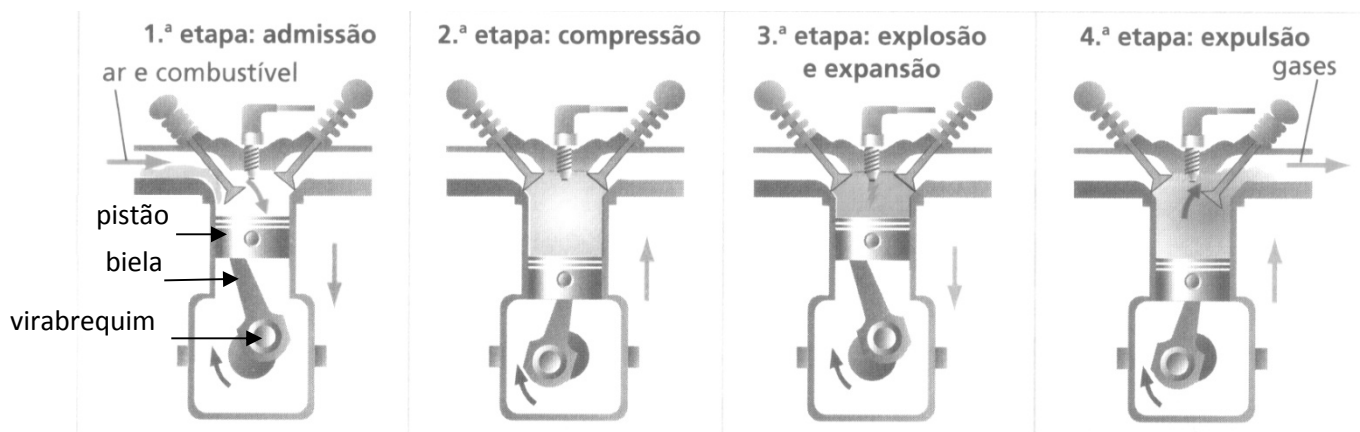


Figura 2: Os tempos do motor de combustão interna

Como são os tempos

Na figura você percebe que uma peça chamada **pistão** substitui a batata no canhão de batata. O pistão está ligado ao **virabrequim** por uma **biela**. Conforme gira, o virabrequim "arma o canhão."

1. A válvula de admissão se abre enquanto o pistão se move para baixo, levando o cilindro a aspirar e se encher de ar e combustível. Essa fase é a **admissão**.
 2. O pistão volta para comprimir a mistura ar-combustível. É a **compressão**, que torna a explosão mais potente.
 3. Quando o pistão atinge o topo do seu curso, a vela de ignição solta uma centelha para inflamar a gasolina. A gasolina no cilindro **entra em combustão**, transformando-se em gases com alta temperatura, que expandem rapidamente e empurram o pistão para baixo.
 4. Assim que o pistão atinge a parte de baixo do seu curso, a válvula de **escapamento** se abre e os gases resultantes da combustão deixam o cilindro através do tubo existente para esse fim.
- Agora o motor está pronto para o próximo ciclo, aspirando novamente ar e combustível.

Observe que o movimento que resulta de um motor de combustão interna é **rotativo**, embora os pistões se movam de forma linear, da mesma forma que o canhão de batata. Em um motor o movimento linear dos pistões é convertido em movimento rotativo pelo virabrequim. É esse movimento rotativo que permite transmitir torque às rodas dos carros, fazendo-as girarem.

O motor de combustão interna é uma máquina térmica

Uma máquina térmica é um dispositivo que converte calor em trabalho. No caso do motor de combustão interna, calor liberado na explosão da mistura 'combustível + ar' expande os gases resultantes da combustão. Parte desse calor é, portanto, utilizado para realizar trabalho sobre o pistão, cujo movimento é transmitido para as rodas do carro, fazendo-o se movimentar.

Nem todo o calor é utilizado para a realização de trabalho. No caso dos motores de combustão interna, esse rendimento é muito baixo, em média, cerca de 30%. Isso significa que da energia liberada por um litro de gasolina, em um motor de carro convencional, 70% são perdidos para a vizinhança: sistema de refrigeração, atmosfera e outras peças do carro.

A escolha dos materiais utilizados na fabricação dos motores deve levar em conta as altas temperaturas produzidas pelo calor liberado pela combustão e não aproveitado na forma de trabalho. Um sistema de refrigeração impede que esses materiais atinjam temperaturas excessivamente altas que provoquem sua fusão.

Portanto, a compreensão da estrutura e funcionamento do motor envolve processos físicos, propriedades de materiais e conceitos que compõem um campo de estudo chamado Termodinâmica. Algumas dessas propriedades, processos e conceitos estão mostrados no quadro abaixo:

PROCESSOS FÍSICOS	CONCEITOS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS
O calor liberado na combustão.	Processos de conversão de energia Calor de combustão
Efeitos das trocas de calor: aquecimento e refrigeração do motor, dilatação das peças do motor, mudança de fase.	Calor, temperatura, processos de transferência de calor, dilatação, condutividade térmica, coeficiente de dilatação, capacidade térmica, calor específico, calor latente de mudança de fase e temperatura de mudança de fase.
As fases do ciclo de um motor.	Comportamento dos gases e transformações termodinâmicas.
Conversão de calor em trabalho.	Calor e trabalho como processos de transferência de energia. 1ª lei da termodinâmica e a conservação da energia. 2ª lei da termodinâmica e a degradação da energia.

O quadro acima retrata o percurso que será seguido tendo o motor de combustão como o objeto da tecnologia que contextualiza o estudo de conceitos e princípios da Termodinâmica, com aplicações em muitas outras situações que envolvem fenômenos térmicos.

Ultrapassando o domínio dos conceitos, há que se destacar que a utilização da tecnologia do motor de combustão nos sistemas de transporte tem **implicações sociais**.

Ao se comparar a energia gasta por km, por pessoa, constata-se que a utilização do automóvel particular gasta uma quantidade bem maior de energia. Isso implica em mais gasto de energia e mais emissões de CO₂ e outros gases e materiais poluentes na atmosfera.

O rendimento médio dos motores de combustão interna é muito baixo. A maior parte da energia liberada na combustão é desperdiçada.

O excesso de automóveis em circulação nas grandes cidades torna a mobilidade urbana uma impossibilidade e isso é um problema que aflige a todos os seus habitantes.

Por que a tecnologia dos motores de combustão tem um rendimento tão baixo? Se há tantas ressalvas quanto ao uso do carro particular e da tecnologia dos motores de combustão, por que há tantos carros particulares circulando e porque essa tecnologia é intensivamente utilizada? Que ações podem ser desenvolvidas em nossa cidade para solucionar o problema da mobilidade?

Essas questões têm relação com a 2ª lei da termodinâmica e serão retomadas durante o estudo dessa lei. Sua discussão concluirá nosso primeiro estudo da Termodinâmica.

O próximo passo nessa caminhada da Termodinâmica, iniciada com uma discussão geral sobre a estrutura e funcionamento do motor de combustão interna, é descrever o processo de conversão de energia que acontece dentro do motor utilizando os conceitos de **energia térmica, calor, temperatura e trabalho**.

Estudo Dirigido

1. Que inovação técnica fundamental foi necessária para aproveitar a energia da combustão na construção de máquinas térmicas?
2. Nomeie e descreva o que acontece em cada etapa do ciclo Otto do motor de combustão interna.
3. Em qual (ou quais etapas) do ciclo Otto há conversão de calor, liberado da combustão, em trabalho?
4. Por que o motor de combustão interna é caracterizado como máquina térmica?
5. O motor de combustão interna pode ser considerado como uma máquina eficiente?
6. Elabore um pequeno texto discutindo o modelo de mobilidade urbana centrado no carro particular do ponto de vista econômico, social e ambiental.

Texto 2: Calor, temperatura e energia térmica

Resposta à questão 1, da problematização inicial:

Ao iniciarmos determinada viagem de automóvel, no início, o tanque está cheio de gasolina. Após percorrermos algumas centenas de quilômetros, este estará vazio. Para você, o que aconteceu com a gasolina?

A gasolina, misturada com o oxigênio do ar, sofreu combustão, uma reação química exotérmica a partir da qual são formadas novas substâncias:

gasolina + oxigênio \rightarrow CO₂ + água + outros produtos + energia

Esses produtos da reação são expelidos pelo escapamento do veículo para o meio ambiente.

Onde ocorre a combustão da gasolina? Em câmaras do motor do carro, chamadas cilindros, cada uma delas fechada por uma tampa móvel, chamada pistão (figura 1).

O que acontece com a energia liberada na combustão? A combustão é uma reação química que produz a formação de novos compostos. Nesse processo parte da energia potencial de ligação dos reagentes é convertida em energia térmica nos produtos dessa reação.

Energia térmica é a soma das energias cinéticas moleculares, isto é, das energias de movimento das moléculas constituintes de um material. Essa energia cinética molecular é diferente da energia cinética de um corpo em queda. No corpo em queda todas as moléculas se movem em conjunto, na mesma direção e sentido. A energia térmica resulta do movimento desordenado das moléculas constituintes de um material. Qualquer que seja a temperatura de um material, suas moléculas estão em contínuo movimento desordenado. A qualquer temperatura, um material possui energia térmica.

A energia convertida (liberada) na combustão encontra-se inicialmente na agitação das moléculas que constituem os produtos da reação. As moléculas de CO₂, vapor d'água e demais produtos da combustão encontram-se em um alto grau de agitação. Que grandeza física indica esse alto grau de agitação molecular?

A temperatura é a grandeza física que indica o grau de agitação molecular de um material. Os produtos da combustão, ao absorverem a energia liberada na reação, adquirem um **alto grau de agitação molecular** e, portanto, encontram-se em **alta temperatura**.

Considere os produtos da reação de combustão como um sistema. **Um sistema é uma porção do universo que destacamos para ser estudada.** Se definimos um sistema, ele implica uma vizinhança. **Vizinhança é o restante do universo circundante ao sistema destacado.** Se considerarmos como sistema os produtos da combustão, sua vizinhança será constituída pelo bloco do motor, pelo sistema de refrigeração do motor, pelas demais peças do carro próximas

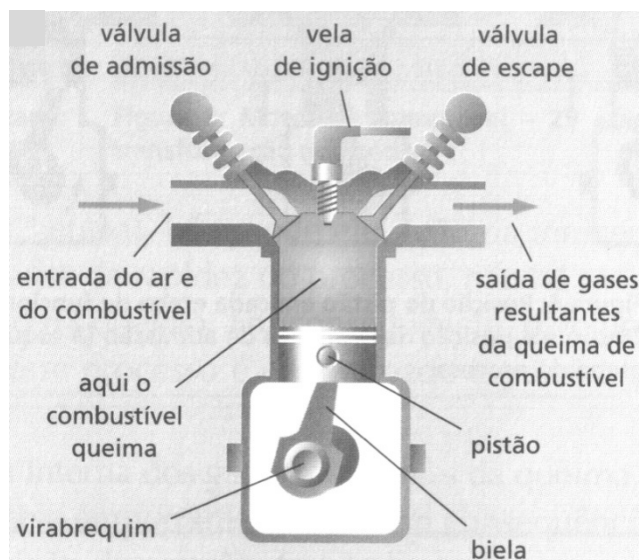


Figura 1 - Partes do motor

ao motor, e pela atmosfera. Nesse caso, sistema e vizinhança encontram-se com temperaturas muito diferentes, o sistema com uma temperatura e agitação molecular muito maiores que a vizinhança. Ocorre então uma transferência de energia do sistema para a vizinhança. **Essa energia transferida devido à diferença de temperatura entre sistema e vizinhança é chamada de calor.**

Nesse processo de transferência de energia as moléculas dos produtos da combustão, com alto grau de agitação, se expandem e movimentam o pistão, a tampa móvel do cilindro. Nesse caso os gases resultantes da combustão exercem **força e produzem o deslocamento do pistão**, portanto, realizam **trabalho**. Logo, parte do calor que se transfere dos produtos da combustão para sua vizinhança é convertido em **trabalho**.

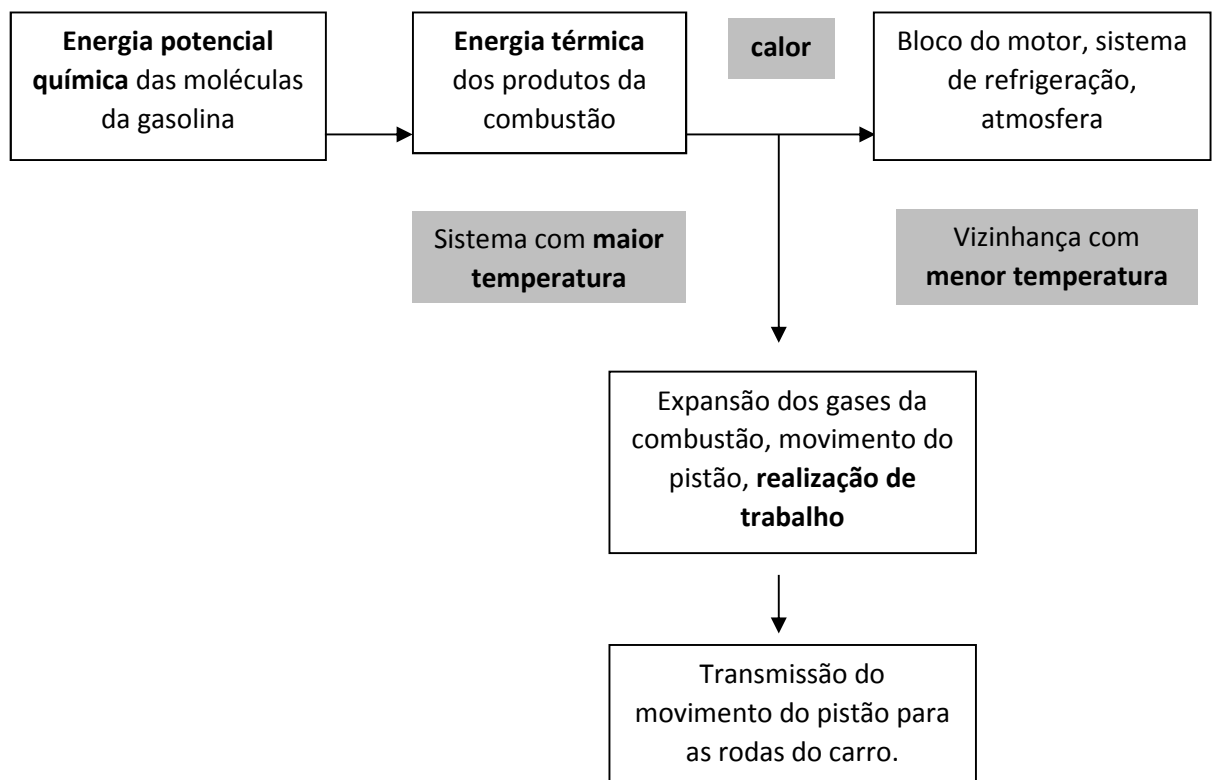
O motor de combustão interna é denominado máquina térmica, um dispositivo que converte calor em trabalho.

Resumindo, na combustão da gasolina:

Energia potencial química é convertida em energia térmica dos produtos da combustão, que apresentam **alto grau de agitação molecular** e, portanto, **alta temperatura**.

Essa **diferença de temperatura** entre sistema (produtos da combustão) e vizinhança (bloco do motor e peças, sistema de refrigeração, atmosfera) faz com que ocorra **transferência de energia (calor)** do sistema (maior temperatura) para a vizinhança (menor temperatura).

Nesse processo, **parte do calor é convertida em trabalho**, pois os gases resultantes da combustão, com alta agitação molecular, se expandem e movimentam o pistão, a tampa móvel do cilindro. Esse movimento do pistão é transferido para as rodas do carro, proporcionando seu movimento.



A Lei Zero da Termodinâmica

Dois corpos, a diferentes temperaturas, que podem trocar calor entre si, tendem ao equilíbrio térmico, caracterizado pela igualdade de temperatura entre eles. Essa afirmação está diretamente relacionada com a LEI ZERO DA TERMODINÂMICA, que pode ser assim enunciada:

Se um corpo A está em equilíbrio térmico com um corpo B, e B está em equilíbrio térmico com outro corpo C, então A e C estão em equilíbrio térmico.

Veja que a Lei Zero da Termodinâmica está estreitamente relacionada com a construção de um termômetro, pois este nada mais é que um dispositivo que fornece uma medida indireta de temperatura, baseada no pressuposto de que, após certo intervalo de tempo, ele entra em equilíbrio térmico com o sistema cuja temperatura se quer medir. No enunciado da Lei Zero da Termodinâmica, anteriormente apresentado, B poderia ser considerado o termômetro que indica a igualdade de temperatura entre A e C.

O que significa dizer que o termômetro faz uma medida indireta de temperatura? Significa que esse dispositivo de medida de temperatura apresenta uma propriedade observável relacionada à agitação térmica molecular. Essa propriedade é chamada VARIÁVEL TERMOMÉTRICA, por exemplo: volume de um líquido ou gás, resistência elétrica de um condutor, cor de um metal, pressão de um gás, entre outras. É com base na variável termométrica que se constrói a escala do termômetro, assunto do próximo texto.

Estudo Dirigido

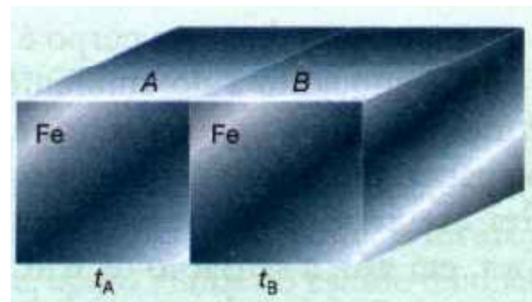
1. Conceitue calor, temperatura e energia térmica.
2. Utilizando os conceitos enunciados em 1, descreva o processo de conversão de energia que acontece em um motor de combustão interna, a partir da combustão da mistura 'combustível + ar'.
3. Diferencie os conceitos calor, temperatura e energia térmica.
4. Conceitue sistema e vizinhança
5. Utilize os conceitos de sistema e vizinhança para descrever o processo de conversão de calor em trabalho no motor de combustão interna.

Exercícios

As respostas às questões a seguir devem ser justificadas com cálculos e/ou comentários escritos:

1. Com base nas definições de calor, temperatura e energia térmica apresentadas no texto, estão corretos os enunciados apresentados abaixo?
 - a) A temperatura é uma medida do calor de um corpo.
 - b) Estou com muito calor, hoje.
2. Considere duas amostras de um mesmo material com massas diferentes e à mesma temperatura.
 - a) Haverá troca de calor entre elas?
 - b) Elas possuem a mesma energia térmica?

3. Dois blocos idênticos A e B, ambos de ferro, são colocados em contato e isolados de influências externas, como mostra a figura ao lado. As temperaturas iniciais dos blocos são, respectivamente, 200 °C e 50 °C.



a) Depois de certo tempo, o que ocorrerá com:

a.1) as energias térmicas de A e B?

a.2) as temperaturas de A e B?

Justifique as respostas aos itens anteriores com base no conceito de calor.

b) É correto afirmar que a igualdade de temperatura entre os blocos é a condição para que seja interrompida a troca de calor entre eles?

4. Para se determinar a temperatura de um pequeno inseto, um grande número deles foi colocado em um recipiente. Em seguida, introduziu-se um termômetro que indicou uma temperatura de 25 °C.

a) Para determinar a temperatura de cada inseto seria necessário conhecer a quantidade de insetos colocada dentro do recipiente?

b) Qual é a temperatura de um dos insetos?

OBS. os exercícios anteriores foram compilados de Alvarenga & Máximo (2006)

Respostas dos exercícios do texto 2

1. a) Incorreto.

b) Incorreto.

2. a) Não.

b) Não.

3. a.1) A energia térmica de A diminui e a energia térmica de B aumenta, uma vez que o bloco A transfere calor para B.

a.2) Pela mesma razão apresentada em a.1, a temperatura de A diminui e a de B aumenta.

b) Sim, pois no equilíbrio térmico entre A e B, cessa a troca de calor entre eles.

4. a) Não.

b) 25 °C.

Texto 3: A dilatação das peças do motor: riscos e cuidados

O que acontece a um material quando sua temperatura aumenta?

Se a temperatura aumenta, a agitação térmica das moléculas constituintes do material aumenta também. Essa maior agitação térmica molecular provoca, na maioria dos materiais, um maior afastamento entre as moléculas. Macroscopicamente, em termos observáveis, aumentam as dimensões do material. Dizemos, portanto, que ele sofreu **dilatação**. A redução da temperatura, nesse caso, provocaria o processo inverso, a contração do material.

Outras consequências do aumento de temperatura de um corpo são: mudanças de estado físico, alteração das propriedades elétricas, mudança na cor, alteração de propriedades ópticas, etc... No presente texto discutiremos com mais profundidade as alterações no volume dos objetos devido à alteração de temperatura.

Algumas partes do motor operam em regime de altas temperaturas como é o caso do pistão, das válvulas de admissão e escapamento, que estão em contato direto com os gases resultantes da combustão. Essas peças sofrem, portanto, variações consideráveis de temperatura, que devem ser previstas no projeto e construção dos motores.

Em um manual sobre motores de combustão interna¹⁶ o fenômeno da dilatação aparece relacionado às seguintes situações envolvendo peças e funcionamento do motor:

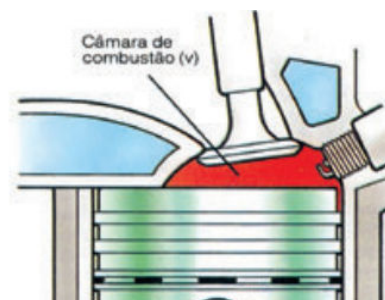
I. *“A união do bloco com o cárter, em razão da necessidade de total vedação, requer uma junta com material que evite vazamentos por razão do aquecimento e dilatação dos metais” (p. 30)*



Figura 2.8: Cárter e junta de vedação

Fonte: Mercedes Benz do Brasil, 2006

II. *“A fim de que a válvula vede bem e, para permitir ajustagens, desgaste, expansão e contração devido a mudanças de temperatura, é necessária sempre alguma folga. Essa folga deve ser a mínima necessária para assegurar que a válvula fique ajustada na sede. Uma folga razoável deve ser aceita para erros de ajustagem,*



¹⁶ TILLMANN, Carlos Antônio da Costa. *Motores de combustão interna e seus sistemas*. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia. Pelotas, RS, 2013

(http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos/ifsul/tecnico_biocombustivel/motores_combustao_interna_e_seus_sistemas.pdf) Acesso em 15/02/2016.

prevendo nessas condições, a dilatação dos materiais e a manutenção da lubrificação” (p. 34).

III. “Em marcha, a dilatação dos pistões é grande. As folgas médias têm um diâmetro maior para os pistões de liga de alumínio devido à maior dilatação dessa liga em relação à fundição ou ao aço. Nos pistões de aço, que não são tão bons condutores de calor, a temperatura eleva-se mais dos que nos pistões de liga de alumínio.

Em temperatura ambiente, o pistão deve ser ajustado no seu cilindro com certa folga, para que, mesmo depois de ter atingido a sua temperatura de marcha, ainda deslize livremente.

As folgas de dilatação ocorridas na fabricação do pistão dependem das seguintes situações:

- do diâmetro do cilindro;
- dos metais que compõem o pistão;
- da forma do pistão;
- do regime de rotação do motor;
- do sistema de refrigeração e de sua eficácia;
- das condições de emprego do motor;
- do tipo de combustível.

Cálculo da dilatação linear

Calcular a dilatação linear de um material sólido significa determinar quantitativamente o quanto aumenta o comprimento desse material ao longo de uma única dimensão.

•
(...)” (p. 36-37)

IV. “De um modo geral, a refrigeração a ar faz com que o motor funcione a temperaturas muito variáveis. A ajustagem dos pistões, segmentos e válvulas exige folgas de dilatação suficientes e um óleo lubrificante de excelente qualidade” (p.83).

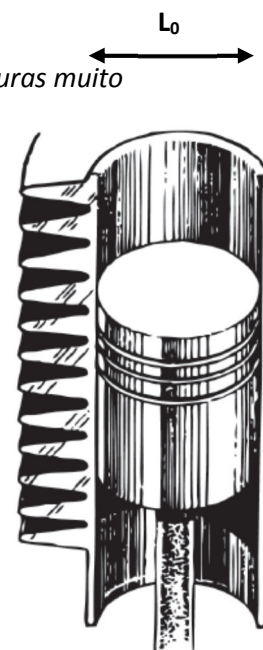
O que o projetista de um motor de combustão deve prever para garantir que o fenômeno da dilatação das peças não implique em maior desgaste dessas peças?

Cálculo da dilatação linear

Calcular a dilatação linear de um material sólido significa determinar quantitativamente o quanto aumenta o comprimento desse material ao longo de uma única dimensão.

No entanto, a dilatação é sempre volumétrica, o que significa que os materiais dilatam ao longo das três dimensões: comprimento, altura e largura.

Ao ter sua temperatura aumentada, o pistão da figura ao lado sofre aumento de comprimento em todas as direções, por exemplo, ao longo do seu diâmetro. Considere que, a uma dada temperatura ambiente t_0 , o comprimento inicial do diâmetro do pistão é L_0 . Pode-se mostrar, por meio de experimentos, que se a temperatura do pistão for aumentada para t , a variação ΔL no comprimento do seu diâmetro é calculada por:



$$\Delta L = \alpha L_0 \Delta t \quad (1)$$

Na equação (1), α é uma propriedade de cada material, chamada coeficiente de dilatação linear e $\Delta t = t - t_0$ é a variação de temperatura do pistão.

Como base na equação (1) e sabendo que α é uma constante, propriedade de cada material, podemos afirmar que a dilatação linear é diretamente proporcional ao comprimento inicial do material e à sua variação de temperatura.



No texto III, extraído do manual sobre motores, foram apresentados fatores que devem ser levados em conta na previsão da folga entre o pistão e a parede interna do cilindro. **Relacione** cada fator indicado aos termos do segundo membro da equação (1).

Outras situações em que o fenômeno da dilatação deve ser levado em conta



Resolva o exercício a seguir:

Um prédio de 100 m, com uma estrutura de aço, tem um vão de 10 cm previsto pelo engenheiro. Esse vão é chamado junta de dilatação. Considere o coeficiente de dilatação linear do aço igual a $3,2 \times 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Que variação de temperatura esse vão permite sem risco para o prédio?¹⁷

Os engenheiros evitam acidentes como o mostrado na figura ao lado ao prever as dilatações que os materiais vão sofrer, deixando folga entre os trilhos¹⁸.

Na fabricação de barris, aros metálicos são aquecidos. Após dilatarem o suficiente envolvem os barris. Ao se resfriarem sofrem contração e ficam bem justos e firmes comprimindo as partes, em geral de madeira, que constituem superfície dos barris.

Não apenas os sólidos, mas também líquidos e gases dilatam quando aquecidos. Os líquidos dilatam mais que os sólidos e os gases dilatam ainda mais que os líquidos. O maior efeito do aumento da agitação molecular nas dimensões de materiais, nos estados líquido e sólido decorre do enfraquecimento progressivo das forças intermoleculares quando se passa do sólido para o líquido e do líquido para o gasoso.

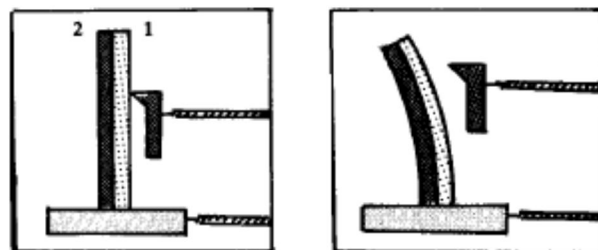


¹⁷ Retirado de GREF (1999)

¹⁸ Extraído de 'Calculando a dilatação', produzido pelo GREF – IFUSP. Disponível em <http://www.laboratoriodefisica.com.br/GREF/termo/termo5.pdf>. Acesso em 15/02/2016.

Algumas substâncias contraem quando são aquecidas. A água é um caso exemplar. Quando aquecida de 0 °C a 4 °C, a água tem o seu volume diminuído. Portanto a densidade da água líquida é máxima a 4 °C. Esse comportamento singular da água faz com que a superfície de um lago gelado se congele a partir da superfície, garantindo a existência de água líquida em regiões mais profundas do lago, essencial para a manutenção da vida aquática naquele local.

A figura ao lado¹⁹ mostra uma lâmina bimetálica: dois metais distintos justapostos e firmemente presos um ao outro. Os metais possuem o mesmo comprimento inicial, porém coeficientes de dilatação diferentes. Ao sofrerem a mesma variação de temperatura, o metal de maior coeficiente de dilatação dilata-se mais e curva a lâmina bimetálica ocupando a face externa da concavidade, justamente por possuir maior extensão. Lâminas bimetálicas são utilizadas em termostatos que regulam, por exemplo, temperatura de aparelhos elétricos. Ao alcançar determinada temperatura, a lâmina bimetálica se curva, interrompendo o circuito elétrico utilizado no aquecimento do dispositivo.



Termostato

Exercícios:



Todas as respostas deverão ser justificadas com cálculos ou comentários escritos.

1. Pesquise e escreva as equações que possibilitam o cálculo da dilatação volumétrica e da dilatação superficial. Indique como se obtém os coeficientes de dilatação superficial e volumétrica a partir do coeficiente de dilatação linear.
2. Algumas vezes, ao se lavar louças, acontece de dois copos ficarem grudados um ao outro. Enuncie um procedimento baseado no fenômeno da dilatação que possibilitará soltar os copos, sem o risco de quebrá-los.
3. Ao fazer chá em minha casa, coloquei a chaleira feita de um vidro comum muito fino diretamente em contato com a chama do fogão. Após alguns minutos a base da chaleira estilhaçou, fazendo vaziar água com açúcar por toda a superfície do fogão. Por que isso aconteceu? Se a chaleira fosse feita de vidro pirex, ela poderia ser colocada em contato direto com a chama? O vidro pirex tem o coeficiente de dilatação bem menor que os coeficientes de vidros comuns.
4. Duas garrafas de vidro contêm, respectivamente, 1L de água e 1L de álcool. Essas garrafas são fechadas por rolhas. As rolhas são vazadas por tubos capilares que ficam em contato com os líquidos no interior das garrafas. Esses tubos são suficientemente longos e têm seção reta de 1 mm². O coeficiente de dilatação volumétrica da água é $2,10 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, e o do álcool é $1,10 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Determine a altura de cada líquido para uma variação de temperatura de 10 °C.
5. Um mecânico pretende soltar uma porca de invar, que se encontra emperrada em um parafuso de ferro. O invar é um liga de ferro e níquel com baixíssimo coeficiente de dilatação,

¹⁹ Ídem.

portanto muito menor que o coeficiente do ferro. Que procedimento você sugeriria ao mecânico?

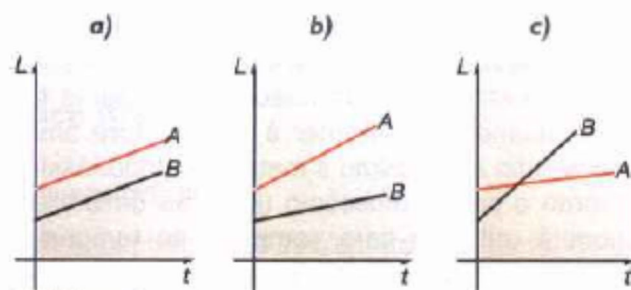
6. Um posto recebeu 5.000 litros de gasolina num dia em que a temperatura era de 35°C . Com a chegada de uma frente fria, a temperatura ambiente baixou para 15°C , assim permanecendo até que a gasolina fosse totalmente vendida. Sabendo-se que o coeficiente de dilatação da gasolina é

$1,1 \times 10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, calcule em litros o prejuízo sofrido pelo dono do posto.

7. O diâmetro externo de uma arruela de metal é de 2,0 cm e seu diâmetro interno mede 1,0 cm. Aquecendo-se a arruela, verifica-se que seu diâmetro externo aumenta de Δx . Então podemos concluir que diâmetro interno:

- a) diminui de Δx . b) diminui de $\Delta x/2$. c) aumenta de $\Delta x/2$. d) aumenta de Δx . e) não varia.

8. Duas barras A e B de um mesmo metal, são aquecidas a partir de 0°C . Entre os gráficos da figura ao lado, indique aquele que mostra corretamente como os comprimentos das duas barras variam enquanto a temperatura é aumentada.



9. Duas barras encontram-se inicialmente à mesma temperatura t_0 . Uma delas tem comprimento

$l_{01} = 10,0 \text{ cm}$ e coeficiente de dilatação linear α_1 e a outra tem comprimento $l_{02} = 12,0 \text{ cm}$ e seu coeficiente de dilatação linear α_2 . Deseja-se que, ao aquecer as duas barras até uma temperatura t , a diferença entre seus comprimentos permaneça sempre igual a 2,0 cm, qualquer que seja o valor de t .

a) Qual deve ser o valor da relação entre os coeficientes α_1 e α_2 para que isso aconteça?

b) Qual dos gráficos do exercício 8 descreve o comportamento das barras? Indique qual reta representa o comportamento da barra 1.

10. Uma barra de aço e um anel de alumínio estão ambos a 20°C . A barra possui um diâmetro de 3,000 cm e o diâmetro interno do anel é 2,994 cm.

a) Sendo ambos igualmente aquecidos, a que temperatura mínima a barra poderá ser introduzida no anel?

b) Qual dos gráficos do exercício 8 descreve o comportamento da barra de aço e do anel de alumínio? Indique qual reta representa o comportamento do anel.

OBS. as questões 5 e 6 foram compilados de GREF (1999). As questões 7 a 10 foram adaptadas de Alvarenga e Máximo (2006).

Respostas dos exercícios

4. A altura da coluna de água vale $2.100 \text{ mm} = 2,10 \text{ m}$ e a de álcool vale $11.000 \text{ mm} = 11 \text{ m}$.

6. 110 L.

7. Letra c.

8. Letra b.

9. $\frac{\alpha_1}{\alpha_2} = 1,2$.

10. 187°C .

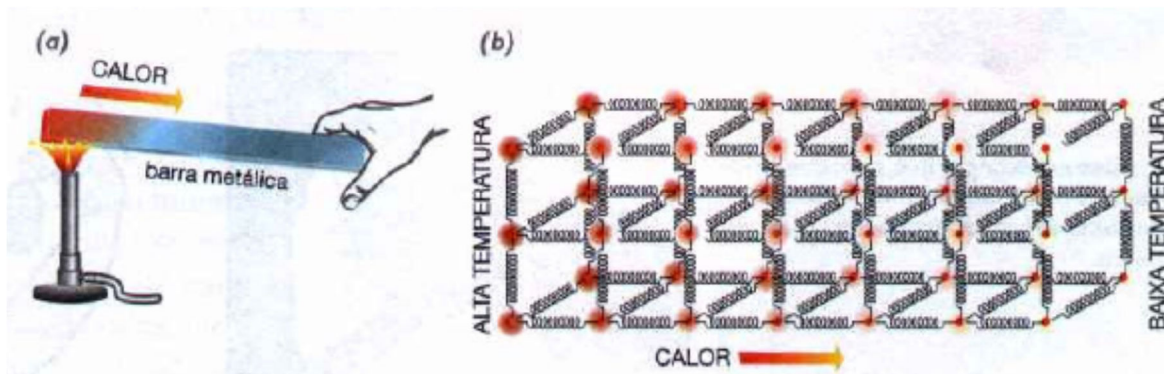
Atividade extraclasse 2: Processos de transferência de calor**Condução**

Figura 3

Uma pessoa aproxima a extremidade de uma barra metálica de uma fonte de calor. Os átomos ou moléculas dessa extremidade adquirem maior energia de agitação. Parte dessa energia é transferida para as partículas da região vizinha a esta extremidade e a temperatura desta região também aumenta. Este processo continua ao longo da barra e, após certo tempo, a pessoa que segura a outra extremidade perceberá uma elevação de temperatura neste local (figura 1.a).

Houve, portanto, transmissão de calor ao longo da barra, que continuará enquanto existir uma diferença de temperatura entre as duas extremidades. A transmissão foi feita pela agitação dos átomos da barra, transferida sucessivamente de um para outro, sem que esses átomos se deslocassem da posição em torno da qual oscilam continuamente (figura 1.b). Tal processo de transmissão de calor é denominado **condução**.

Dependendo da constituição atômica de uma substância, a agitação térmica poderá ser transmitida entre átomos ou entre moléculas, com maior ou menor facilidade, fazendo com que esta substância seja boa ou má condutora de calor. Metais são bons condutores de calor. Isopor, cortiça, porcelana, madeira, ar, gelo, lã, papel são chamados isolantes térmicos porque conduzem mal o calor.

Convecção

Um recipiente com água está em contato com uma chama. A camada de água do fundo do recipiente recebe calor da chama por condução. O volume dessa camada aumenta e sua densidade diminui, fazendo com que ela se desloque para a parte superior do recipiente, sendo substituída por uma camada de água mais fria, mais densa, proveniente da região superior (figura 2).

O processo continua, com uma circulação contínua de corrente de água mais quente para cima e mais fria para baixo, denominada corrente de **convecção**. O calor transmitido, por condução, às camadas inferiores, vai sendo distribuído, por convecção, a toda a massa de líquido, por meio do movimento de translação do próprio líquido. Embora a transmissão de calor por condução possa ocorrer em gases e líquidos, a transferência de calor por convecção é predominante nos fluidos.

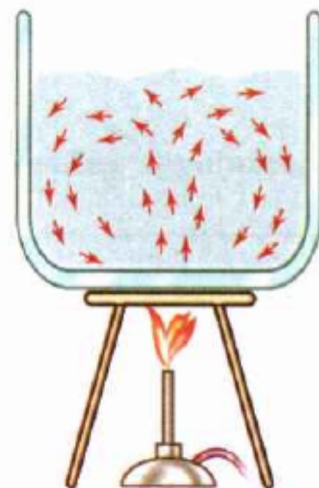


Figura 2

Radiação

Uma lâmpada de filamento se encontra dentro de uma campânula de vidro, onde se fez vácuo. Um termômetro posicionado fora da campânula mostrará um aumento de temperatura, indicando que o vácuo não impediu a transferência de calor. Tal processo não pode ter ocorrido por condução ou convecção, pois ambos dependem da existência de um meio material para ocorrerem. A transmissão de calor do filamento da lâmpada para o termômetro ocorreu por **radiação térmica**. Entre a Terra e o Sol existe vácuo, portanto, o calor do Sol chega até nosso planeta por meio de radiação térmica.

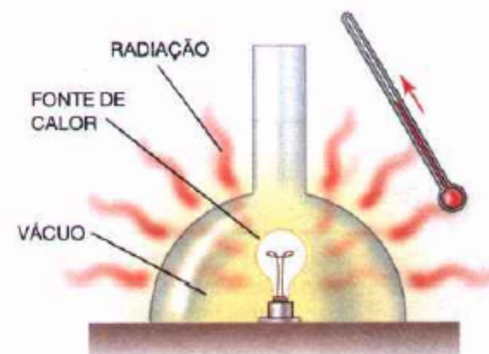


Figura 3

A radiação térmica, ou radiação infravermelha, é um tipo de onda eletromagnética. São também ondas eletromagnéticas as ondas de rádio, as microondas, a luz, a radiação ultravioleta, os raios X e os raios gama. No vácuo todas essas ondas se propagam com a mesma velocidade, $3,00 \times 10^8$ m/s. Essas ondas diferem na frequência com que oscilam seus campos elétrico e magnético. Sabemos que a luz branca é o efeito em nossa visão da superposição de cores da luz. Cada cor corresponde a uma onda eletromagnética com certo valor de frequência. A qualquer temperatura um corpo emite radiação térmica, porém, a frequência da radiação emitida depende da temperatura do corpo.

Na temperatura próxima do zero absoluto, um corpo emite radiação com frequência na região das microondas. Na temperatura ambiente, 300 K, a frequência da radiação se situa na faixa do infravermelho. A uma temperatura de 1000 K, a maior parte da energia irradiada ainda se encontra na faixa de frequência correspondente ao infravermelho, mas já é possível captar ondas com frequência correspondente à cor vermelha. Portanto, a 1000 K, o corpo já se apresenta avermelhado. O Sol, a 5800 K, emite em todas as frequências da luz visível, portanto, luz branca (45%), mas irradia também na faixa do infravermelho (45%) e do ultravioleta (10%). Para temperaturas extremamente elevadas, resultantes, por exemplo, de uma explosão nuclear, a maior parte da radiação se encontra na frequência dos raios X, havendo ainda grandes porções de radiação nas demais frequências, incluindo os raios gama.

O calor que uma pessoa recebe quando está próxima de um corpo aquecido pode chegar até ela pelos três processos: condução, convecção e radiação. Quanto maior for a temperatura do corpo aquecido, maior será a porção de calor transmitida por radiação, por exemplo, quando estamos perto de um forno. Para uma ampla faixa de valores de temperatura em torno da temperatura ambiente, um corpo aquecido emite calor por radiação, predominantemente na frequência do infravermelho. Essa radiação não é percebida pela visão, mas pelo tato e causa a sensação de aquecimento em nossa pele.

Questões: Responda em seu caderno qual processo de transferência de calor é predominante e pode ser usado para explicar os fenômenos e aplicações mostrados na primeira coluna da tabela. Explique os fenômenos e aplicações descritos em 5, 8, 10, 14, 15, 17 e 20.

Fenômenos e aplicações	Condução	Convecção	Radiação
1. Processo de transferência de calor predominante nos fluidos.			
2. Em um aquecedor elétrico, a entrada de água fria é feita na parte inferior e a saída de água quente na parte superior.			
3. Processo de transferência de calor predominante nos sólidos.			

4. Processo de transferência de calor que se realiza com transporte de matéria.			
5. Quem já entrou num carro que tenha ficado estacionado ao Sol por algum tempo vai entender o significado da expressão "cercando o calor". Se o calor "consegue" entrar no carro, porque ele não sai?			
6. Os ventos são causados pela variação da densidade do ar em camadas diferentemente aquecidas. Por isso, durante o dia, nas regiões litorâneas, a brisa sopra do mar para a terra.			
7. Processo de transferência de calor que não depende da existência de um meio material.			
8. Em certos modelos de geladeira, com congelador na parte superior, as prateleiras devem ser feitas de grades.			
9. Um cubo de gelo enrolado em um pano de lã demora menos tempo para derreter do que outro cubo em contato direto com a temperatura ambiente?			
10. Um pedaço de carne assa mais rapidamente quando se introduz nele um espeto metálico.			
11. Um objeto preto colocado ao Sol tem sua temperatura sensivelmente elevada.			
12. Um pássaro eriça suas penas para manter ar entre elas, dificultando a transferência de calor de seu corpo para o ambiente.			
13. Os cabos das panelas normalmente não são feitos de metal.			
14. Ao andar descalço em um dia ensolarado, você percebe que existe uma diferença de temperatura significativa entre um piso claro e um escuro, ainda que ambos sejam feitos do mesmo material.			
15. Sentimos um piso de ladrilho mais frio do que um de madeira. Isso é uma evidência de que o ladrilho tem uma menor temperatura que a madeira?			
16. Em climas quentes, as pessoas usam frequentemente roupas claras.			
17. Um cobertor de lã é quente? Ele produz calor?			
18. Em países de clima frio, plantas tropicais são aclimatadas em galpões de vidro.			
19. Um dispositivo comum, utilizado para acender lâmpadas ou acionar alarmes é o sensor infravermelho, acionado quando uma pessoa passa à sua frente.			
20. É devido ao efeito estufa que o nosso planeta se mantém aquecido durante a noite. Sem esse aquecimento a Terra seria um planeta gelado, com poucas chances de propiciar o surgimento da vida.			
21. Mecanismo pelo qual o calor flui, preferencialmente, através do bloco do motor.			
22. Processo através do qual a maior quantidade de calor flui entre as peças do motor e o fluido de refrigeração.			

Texto 4: Transmissão de calor

1. INTRODUÇÃO

É muito comum as pessoas afirmarem que os cobertores nos aquecem. Seriam, portanto, os cobertores uma “fonte de calor”? Um experimento simples para discutir essa questão é o seguinte: envolva um cubo de gelo com uma flanela (tecido semelhante àquele utilizado nos cobertores). Outro cubo idêntico é colocado ao lado do primeiro, mas não é recoberto por nenhum material. Faça uma previsão sobre o estado dos dois cubos de gelo 15 minutos depois de terem sido abandonados sobre a superfície de uma mesa. Durante esse tempo, leia e realize as ações solicitadas nos itens seguintes.



Previsão	Observação e explicação
----------	-------------------------

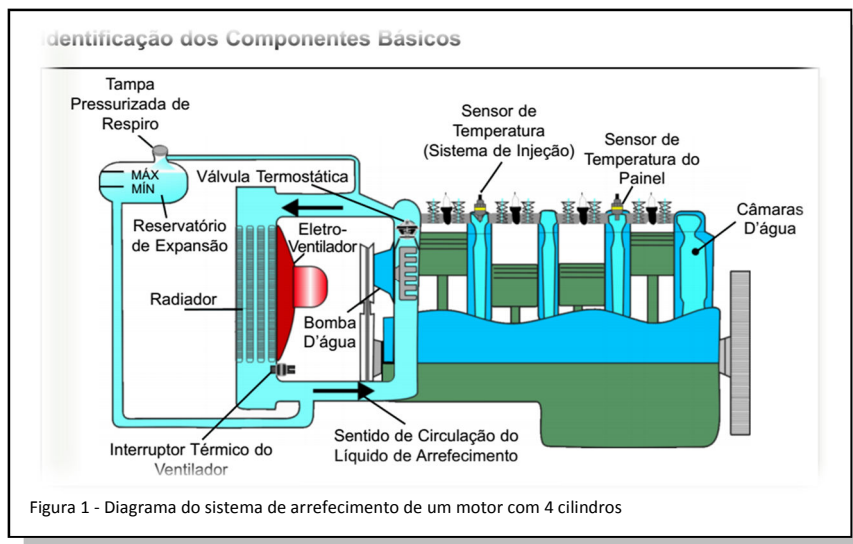
2. O SISTEMA DE ARREFECIMENTO DO MOTOR DO CARRO.

No início de nossos estudos sobre o motor de combustão interna vimos que de cada 100 unidades de energia que colocamos no carro na forma de gasolina, cerca de 1/3 é efetivamente transformado em movimento (energia cinética), cerca de 1/3 dessa energia é liberado na forma de calor pelos gases do escapamento e os outros 1/3 são liberados na forma de calor pelo sistema de resfriamento do motor. Estudaremos agora o sistema de resfriamento, também denominado sistema de arrefecimento, e alguns conceitos físicos a ele associado.

As animações e simulações sobre o funcionamento do motor mostraram que a temperatura dos gases no interior da câmara de combustão é de muito elevada (400°C). Disso resulta uma elevada temperatura no interior do cilindro que precisa ser constantemente resfriado por um sistema de água, óleo ou ar.

A imagem abaixo mostra o diagrama do sistema de arrefecimento a água encontrado em um manual técnico²⁰ típico de um carro. Observe-o atentamente.

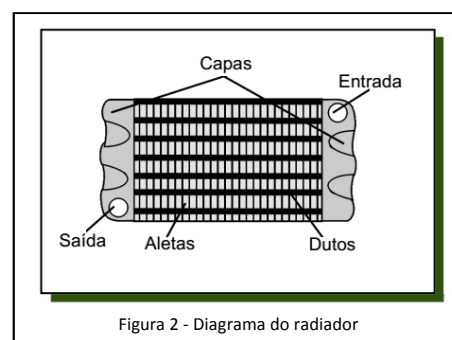
²⁰ <http://www.mte-thomson.com.br/site/biblioteca/manual-de-arrefecimento/> (acesso em fev. 2016)



Observe que o desenho é uma representação do motor de 4 cilindros em corte. Ao lado dos cilindros temos ductos que conduzem água.

Enquanto o motor está frio, a água circula somente em suas galerias internas, para aquecer-se rapidamente. Quando a água que circula ao lado dos cilindros aquece acima de uma determinada temperatura (em torno de 85°C), a válvula termostática se abre e permite a circulação dessa água aquecida para a parte da frente do motor, onde se encontra o radiador. No radiador a água tem sua temperatura reduzida. Quando o valor da temperatura da água, que circula em torno dos cilindros alcança uma temperatura inferior a 85 °C, a válvula fecha-se novamente. No endereço <https://www.youtube.com/watch?v=Th6kFV8t18Y> você encontra uma didática animação sobre esse sistema. Nele, a água representada na cor azul está fria e na cor vermelha está quente.

O radiador (Fig.2) é o componente do sistema que recebe o líquido aquecido e o devolve ao motor com uma temperatura mais baixa. Está posicionado geralmente à frente do motor, de forma a receber o fluxo de ar causado pelo movimento do carro. O radiador possui dutos internos para a circulação do líquido de arrefecimento, providos de aletas que direcionam o fluxo de ar e auxiliam a dissipar o calor, diminuindo a temperatura do líquido.



O ar que entra na parte dianteira do carro, pela grade, pode resfriar a água que se encontra no motor, caso esse ar passe em um ritmo e temperatura adequada. Se isso não ocorrer um ventilador entra em funcionamento (veja a localização na Fig. 1) e resfria a água ali presente. É muito comum o ventilador ser acionado logo após o motorista parar o carro, devido à falta de um fluxo natural de ar para o espaço onde encontra-se o motor.

3. A CONDUÇÃO

3.1. Apresentamos abaixo uma lista de diversos recipientes. Todos têm o mesmo formato e possuem tampa. Em **negrito**, destacamos o material mais importante e mais abundante utilizado na confecção de cada recipiente. Enumere os recipientes em



ordem crescente de eficiência caso nosso objetivo seja manter aquecido, por mais tempo, um litro de café quente.

Tipo de recipiente	Eficiência para “manter aquecido” 1 litro de café.	Eficiência para “manter gelado” 1 litro de limonada
vasilha de isopor com 2 cm de espessura		
vasilha de vidro com 2 cm de espessura		
vasilha de ferro com 2 cm de espessura		

- 3.2. Enumere os mesmos recipientes em ordem crescente de eficiência, caso nosso objetivo seja manter gelado, por mais tempo, um litro de limonada. Use, para isso, a última coluna da tabela acima.

Em nosso dia a dia lidamos com materiais que são bons condutores de calor e outros que são maus condutores de calor (também chamados “isolantes térmicos”). Sabemos que os metais, em geral, são bons condutores de calor. Mas a pergunta é: **será que todos os metais conduzem o calor igualmente?**



- 3.3. Para verificar se há diferenças na condução do calor em metais diferentes, vamos fazer o seguinte: enrolaremos dois pedaços de arame de mesmas dimensões, um de cobre e outro de ferro (veja a figura 3). Colocaremos, então, pedaços de parafina nos ramos livres dos dois arames e aqueceremos a parte enrolada com a chama de um bico de uma vela. Observe a fusão dos pedaços de cera e explique as diferenças. Se puder, utilize a expressão “condutibilidade térmica” para diferenciar os dois metais observados.

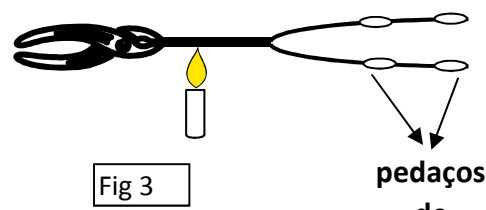


Fig 3

Microscopicamente podemos representar a situação acima da seguinte maneira: as moléculas do metal formam uma rede organizada. Ao fornecermos energia para parte dessa rede (através da vela), a energia térmica das partículas aumenta gradativamente. Como as moléculas estão ligadas umas às outras por forças de grande intensidade, a vibração vai se propagando ao longo do metal até atingir a outra extremidade (Fig. 4). Certamente, a medida que essa vibração vai se propagando, sua intensidade vai diminuindo. Dessa maneira podemos falar em um **gradiente**²¹ de temperatura ao longo das hastes de metal. A condução é um processo de transferência de calor que ocorre preferencialmente nos sólidos e, em baixa intensidade, nos líquidos.

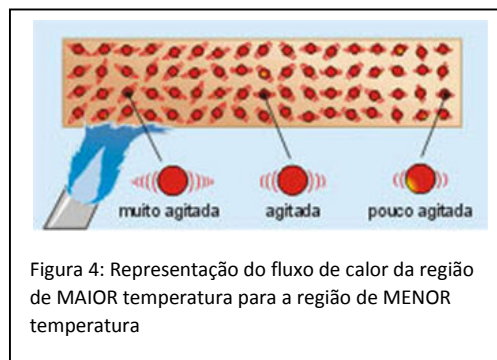
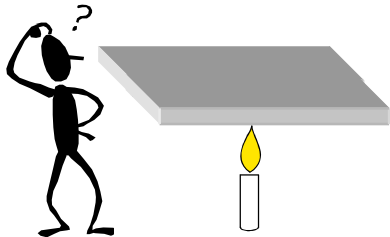


Figura 4: Representação do fluxo de calor da região de MAIOR temperatura para a região de MENOR temperatura

²¹ gradiente - gra.di.en.te : *sm (lat gradiente)* 1 Alteração no valor de uma quantidade (como luz, temperatura, pressão ou intensidade de som) por unidade de medida de distância em uma direção especificada. (fonte: Dicionário Michaelis de Português OnLine - acesso em fev. 2016)



“UMA PEQUENA MÁGICA”

A chama de um fósforo consegue queimar a superfície de um retângulo de papel sem dificuldades. Entretanto, se colocamos o papel em contato com uma superfície metálica isso não ocorrerá. Por que?

4. CONVECÇÃO

Nos líquidos as ligações intermoleculares são fracas quando comparadas com os sólidos. Nos gases elas praticamente inexistem. Por isso a transmissão do calor por condução, nos líquidos, ocorre com grande dificuldade e, nos gases, praticamente não acontece. O calor nos líquidos e nos gases propaga-se, preferencialmente, por CONDUÇÃO.



4.1. Mergulhe um ebulidor elétrico na água que se encontra em uma vasilha transparente (Fig.5). Observe atentamente a água que se encontra sobre o ebulidor. ANTES de ligá-lo. Ligue o observe novamente a água sobre o ebulidor. DESCREVA o que observou e busque uma justificativa para o fato.

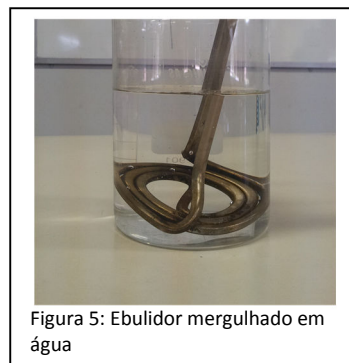
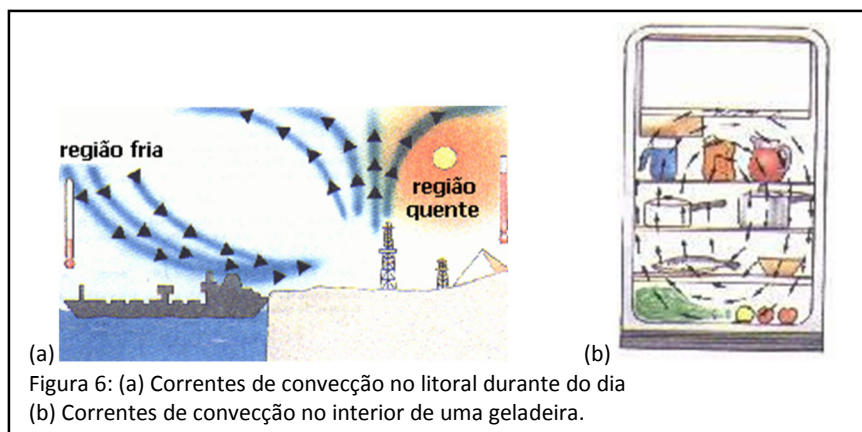


Figura 5: Ebulidor mergulhado em água

Na experiência com o ebulidor, quando este é ligado, a porção da água que se encontra na parte superior é aquecida e dilata-se. Isso faz com que a água fique menos densa e suba. Formam-se as chamadas **CORRENTES DE CONVECÇÃO**, cujo sentido, nos líquidos e gases é ascendente para a parte do líquido (ou gás) com temperatura mais elevada e descendente para a de temperatura mais baixa. Parte do calor liberado por nosso corpo é por convecção, o que explica o fato de não suarmos muito quando andamos de bicicleta (pois o ar ao redor de nosso corpo é constantemente renovado) enquanto transpiramos muito com poucos minutos de exercícios em uma bicicleta ergométrica.

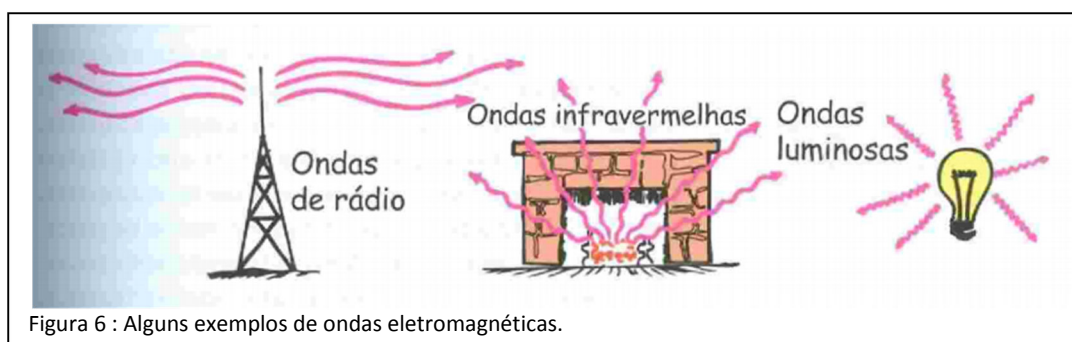
As correntes de convecção tem enorme importância na distribuição do calor no planeta Terra, seja através das correntes de ar na atmosfera, pelas correntes marítimas nos oceanos ou no manto terrestre com o movimento do magma. Brisas oceânicas e correntes de ar no interior da geladeira também são exemplos de correntes de convecção.



5. RADIAÇÃO

Imagine-se próximo de uma churrasqueira que permanece acesa por várias horas. EXPLIQUE por que o calor que chega até você não é por transmissão via CONDUÇÃO. EXPLIQUE por que o calor que chega até você não é por transmissão via CONVECÇÃO.

Existe uma terceira forma de transmitir o calor de um ponto a outro que não depende da presença da matéria. Ela é responsável por transferir a energia de um ponto a outro através de ondas eletromagnéticas. Maiores detalhes dessas ondas serão estudados posteriormente. Ondas como a luz, micro-ondas, ondas de rádio, ultravioleta, infravermelho e outras mais são exemplos desse tipo de onda (fig.6)



Os controles remotos da maioria dos aparelhos eletrônicos disponíveis em nossas residências operam com um led²² de infravermelho. Nossos olhos são sensíveis a determinadas ondas eletromagnéticas (como a luz) mas não são sensibilizados por outras ondas eletromagnéticas como o ultravioleta, raios X, infravermelho, etc.

Os objetos, incluindo nossos corpos, são constituídos de moléculas e estas tem o movimento de vibração e/ou rotação associado à temperatura. Quanto maior a temperatura maior a agitação dos átomos. Porém ao vibrarem, os átomos emitem ondas eletromagnéticas na faixa do infravermelho.

Essa é a propriedade que permitia ao termômetro de infravermelho funcionar. Um sensor em seu interior captava a radiação infravermelha proveniente do objeto que está a sua

²² LED: Diodo Emissor de Luz - È um componente eletrônico semiconductor que tem a propriedade de transformar energia elétrica em luz.

frente e essa radiação produzia uma corrente elétrica no aparelho que a associava a uma determinada temperatura.

Por estar associado à temperatura dos objetos, as ondas de infravermelho são também conhecidas como ondas de calor. Essa radiação tem enorme importância na emissão e absorção de energia pelos objetos. Na Terra, seu efeito mais conhecido é o efeito estufa.

Por ser um tipo de onda eletromagnética o infravermelho não necessita da presença de matéria para se propagar. Ela se propaga pelo vácuo e o estudo de suas características muito dizem sobre as propriedades das moléculas que a deram origem. Na astronomia, medicina e em análises químicas o estudo da radiação infravermelha. tem enorme utilização.



5.1. As câmeras de aparelhos celulares, diferente de nossos olhos, são sensíveis as ondas eletromagnéticas de infravermelho. É fácil verificar isso. Pegue um controle remoto que você saiba que está funcionando corretamente e direcione-o para seus olhos. Aperte os botões dele e (muito provavelmente) você não verá nada! Porém agora, interponha entre seus olhos e o controle, a câmera do aparelho celular; isto é, vire a câmera para o controle e olhe para o painel de seu telefone. Agora ao apertar as teclas do controle remoto o resultado será bem diferente. DESCREVA-O. Altere a tecla que você pressiona e veja se algo muda.

6. OS PROCESSOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR NO MOTOR

CONDUÇÃO: forma através da qual o calor flui através da estrutura sólida do motor.

RADIAÇÃO: forma de transferência de calor através do vácuo e também através de sólidos e fluidos transparentes aos comprimentos de onda na faixa visível e infravermelha. Uma parte do calor transmitido para os cilindros, pelos gases quentes da combustão, flui por esse processo.

CONVECÇÃO: forma de transferência de calor que ocorre entre fluidos a diferentes temperaturas e entre um fluido e uma superfície sólida com movimento relativo. A maior quantidade de calor que flui entre o fluido de trabalho e as peças do motor, e entre estas e o fluido de refrigeração, é transmitida por esse processo.

Exercícios

1. (UFMG) A radiação é o principal processo de transferência de energia no caso
 - a) da chama no fogão para a panela.
 - b) do sol para um satélite de Júpiter.
 - c) do ferro de soldar para a solda.
 - d) da água para um cubo de gelo flutuando nela.
2. (Faap) Uma estufa para flores, construída em alvenaria, com cobertura de vidro, mantém a temperatura interior bem mais elevada do que a exterior. Das seguintes afirmações:
 - I. O calor entra por condução e sai muito pouco por convecção

II. O calor entra por radiação e sai muito pouco por convecção

III. O calor entra por radiação e sai muito pouco por condução

IV. O calor entra por condução e convecção e só pode sair por radiação

A(s) alternativa(s) que pode(m) justificar a elevada temperatura do interior da estufa é(são):

a) I, III

b) I, II

c) IV

d) II, III

e) II

3. (Ufrs) Para que dois corpos possam trocar calor é necessário que

I - estejam a diferentes temperaturas.

II - tenham massas diferentes.

III - exista um meio condutor de calor entre eles.

Quais são as afirmações corretas?

a) Apenas I.

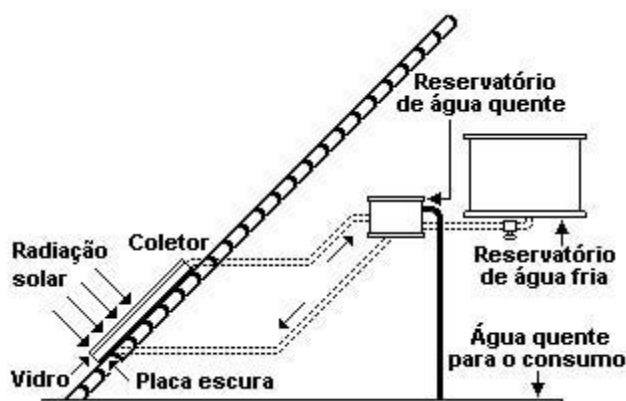
b) Apenas II.

c) Apenas I e II.

d) Apenas I e III.

e) I, II e III

4. (Enem) O resultado da conversão direta de energia solar é uma das várias formas de energia alternativa de que se dispõe. O aquecimento solar é obtido por uma placa escura coberta por vidro, pela qual passa um tubo contendo água. A água circula, conforme mostra o esquema abaixo.



Fonte: Adaptado de PALZ, Wolfgang, "Energia solar e fontes alternativas". Hemus, 1981.

São feitas as seguintes afirmações quanto aos materiais utilizados no aquecedor solar:

I. o reservatório de água quente deve ser metálico para conduzir melhor o calor.

II. a cobertura de vidro tem como função reter melhor o calor, de forma semelhante ao que ocorre em uma estufa.

III. a placa utilizada é escura para absorver melhor a energia radiante do Sol, aquecendo a água com maior eficiência.

Dentre as afirmações acima, pode-se dizer que, apenas está(ão) correta(s):

- a) I
- b) I e II
- c) II
- d) I e III
- e) II e III

5. Assinale a afirmativa errada.

- a) A radiação é o único processo de troca de calor que existe no vácuo.
- b) Nos desertos as pessoas devem usar roupas de lã para impedir a passagem de calor.
- c) Vou ter muito calor se me mudar para o deserto do Saara.
- d) A temperatura que tenho em meu corpo é mais alta que a temperatura de fusão do gelo.

6. (fuvest) Nas geladeiras, o congelador fica sempre na parte de cima para:

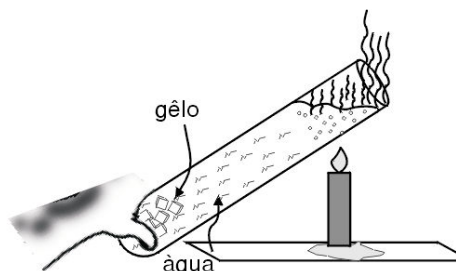
- a) Manter a parte de baixo mais fria que o congelador.
- b) Manter a parte de baixo mais quente que o congelador.
- c) Que o calor vá para a o congelador.
- d) Que o frio vá para o congelador.

7. (Faap) As garrafas térmicas são frascos de paredes duplas, entre as quais é feito o vácuo. As faces destas paredes que estão frente a frente são espelhadas. O vácuo entre as duas paredes tem a função de evitar:

- a. somente a condução
- b. somente a irradiação
- c. a condução e a convecção
- d. somente a convecção
- e. a condução e a irradiação

8. (UFMG) A figura mostra um tubo de ensaio contendo água e um cubo de gelo mantido fixo ao fundo de sua extremidade fechada.

Quando aquecemos a extremidade aberta do tubo com uma chama, a porção superior da água começa a ferver sem que o gelo do fundo se derreta. Várias afirmativas são feitas em relação à situação apresenta



- I) Ao aquecermos a parte superior do tubo de ensaio, não favorecemos a formação de correntes de convecção através da água.
- II) A água é má condutora de calor e a transferência de calor através dela até o bloco de gelo é lenta.
- III) Se aquecêssemos o tubo de ensaio em sua extremidade inferior, haveria a formação de correntes de convecção através da água.
- IV) A água é boa condutora de calor e ferve rapidamente ao ser aquecida.

- a) apenas I, II e IV
- b) apenas I e III
- c) apenas III e IV
- d) apenas I, II e III

9. (UFMG) Você consegue manter seus dedos e mão ao redor da chama de uma vela, como mostra a figura **a**, mas não consegue mantê-la **sobre** a chama como se vê em **b**. Faça a experiência e comprove. Isso acontece porque a maior parte do calor transferido da chama até a sua mão se faz por:

- a) condução
- b) convecção
- c) radiação
- d) condução e radiação



(a)



(b)

10. Uma pessoa, com uma dieta média apropriada, consome e despende por volta de 2000 kcal por dia. Suponha que toda a energia consumida pelo corpo seja despendida em forma de calor para o ambiente. Compare a potência média de liberação de calor por essa pessoa, para o ambiente à sua volta, com a potência elétrica de uma lâmpada de 100 W. Explique porque uma sala repleta de pessoas fica mais “quente”.

Considere: 1cal = 4 joules

Respostas:

1. B 2.D 3.A 4.E 5.C 6.B 7.C 8.D 9.B

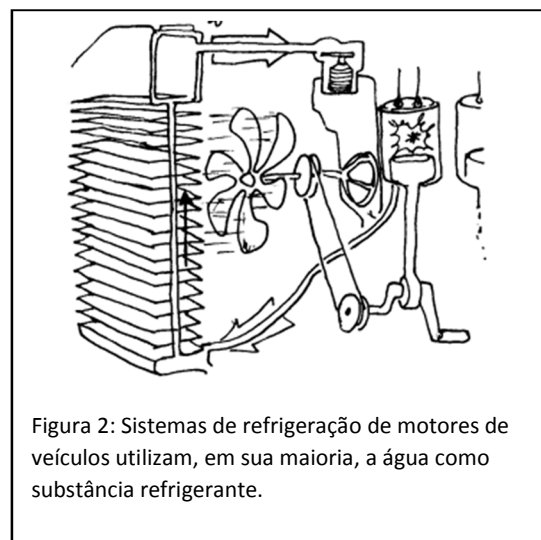
10 A potência média de uma pessoa é igual a, aproximadamente, 93W, quase igual a de uma lâmpada de 100W. Logo, podemos considerar uma pessoa, em termos de aquecimento de ambiente, semelhante a uma lâmpada de 100W.

Texto 5: Calor específico e capacidade térmica**INTRODUÇÃO**

Nos textos anteriores estudamos a importância das propriedades térmicas dos materiais para a construção dos motores de carros. A rapidez com que o calor se propaga pelas peças, a quantidade de energia absorvida pela peça para aumentar sua temperatura, a variação do volume quando aquecido ou resfriado, todas essas questões trazem escolhas que tem profundas consequências no rendimento, durabilidade e consumo de combustível do motor do automóvel.

Nesse texto discutiremos com mais detalhes as propriedades relacionadas à quantidade de calor absorvido ou liberado por um objeto quando sua temperatura varia.

O vídeo estudado no encontro passado (<http://youtube.com/watch?v=V7inC4lOpGs>) mostrou como funciona o sistema de refrigeração do motor de um automóvel. Porém, alguns veículos e, principalmente as motocicletas, não utilizam um sistema tão complexo como o apresentado pelo vídeo. Para resfriar esses motores, o ar é que circula ao redor das aletas que envolvem os cilindros. É um sistema mais simples, porém seria mais eficiente? Por que os motores mais "fortes" necessitam ser resfriados por água e não por ar?

**O CONCEITO DE "CALOR ESPECÍFICO"**

Por definição, 1 caloria é a quantidade de energia necessária para variar, em 1°C, a temperatura de

1 grama de água. Podemos utilizar esta definição para determinarmos a quantidade de energia absorvida (ou liberada) por uma determinada massa de água quando a sua temperatura varia.



QUESTÃO 1: Utilizando o conceito de caloria acima exposto, complete a tabela abaixo.

TABELA 1 - AQUECIMENTO/RESFRIAMENTO DA ÁGUA

quantidade de calor (Q)	massa (m)	variação de temperatura (Δt)	
1 caloria	1 grama	1°C	=<= definição
?	1 grama	5°C	
?	2 gramas	1°C	
?	2 grama	5°C	
5 calorias	1 grama	?	
1 caloria	6 gramas	?	
5 calorias	6 gramas	?	
?	massa m	Variação de temperatura Δt	

Observe que uma primeira conclusão que poderíamos chegar após preencher os dados da tabela é que a quantidade de calor Q necessária para variar a temperatura da água seria igual ao produto massa x variação de temperatura, isto é, $Q = m \cdot \Delta t$. Porém essa relação somente seria válida para a água, uma vez que outras substâncias, quando utilizamos 1g de amostra, podem absorver mais ou menos de 1 caloria para variar sua temperatura em 1°C. A relação acima está incompleta, existe um problema de unidade.

Vejamos os valores para o ar, muito utilizados para resfriar os blocos de motores de motocicletas. Para variar em 1°C a massa de 1g de ar é necessário 0,24 cal.

Podemos resumir esses valores no seguinte quadro:

Substância/metal	quantidade de calor (Q)	massa (m)	variação de temperatura (Δt)
ÁGUA	1 caloria	1 grama	1°C
AR	0,24	1 grama	1°C

Denominamos CALOR ESPECÍFICO (c) de uma substância a quantidade de calor Q necessária para variar em 1°C a temperatura de 1g dessa substância. Logo, o calor específico apresentado na tabela acima é de:

- calor específico da água ($c_{\text{água}}$) = $1,0 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$
- calor específico da ar (c_{ar}) = $0,24 \frac{\text{cal}}{\text{g}^\circ\text{C}}$



QUESTÃO 2: Você consegue agora explicar por que a maioria dos motores utiliza a água como substância refrigerante ao invés de utilizar o ar?

A quantidade de calor (Q) “absorvida” ou “liberada” por uma substância, durante um processo de “aquecimento” ou “resfriamento”, pode ser calculada pela expressão:

Quantidade de calor = massa x calor específico da substância x variação de temperatura

ou, em termos simbólicos:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta t$$

Substância	Calor específico (pressão constante) (cal/g.°C)
água a 20°C	1
água a 90°C	1,005
álcool	0,6
alumínio	0,21
ar	0,24
chumbo	0,031
cobre	0,091
ferro	0,11
gelo	0,5
hidrogênio	3,4
latão	0,092
madeira (pinho)	0,6
mercúrio	0,03
nitrogênio	0,247
ouro	0,032
prata	0,056
tijolo	0,2
vapor d'água	0,48
vidro	0,2
zinco	0,093

Podemos utilizar a expressão acima, válida para calcularmos a quantidade de calor absorvida/liberada **por uma substância** quando conhecemos o valor da massa e da variação de temperatura. A tabela 2 apresenta os valores do calor específico c de diferentes materiais. Observe que o valor do calor específico da água é muito grande quando comparado com outras substâncias ou elementos. Esse fato tem importantes consequências para a criação e manutenção de vida em nosso planeta.



QUESTÃO 3: (Uel) Os cinco corpos, apresentados na tabela a seguir, estavam à temperatura ambiente de 15°C quando foram, simultaneamente, colocados num recipiente que continha água a 60°C .

Ao atingirem o equilíbrio térmico, o corpo que recebeu maior quantidade de calor foi o de

- alumínio.
- chumbo.
- cobre.
- ferro.
- latão.

MATERIAL	MASSA (g)	CALOR ESPECÍFICO (cal/g.°C)
alumínio	20	0,21
chumbo	200	0,031
cobre	100	0,091
ferro	30	0,11
latão	150	0,092

1. CAPACIDADE TÉRMICA

Voltemos ao motor de carro. Imagine que a temperatura ambiente seja de 20°C e que depois de 10 minutos de funcionamento do motor, sua temperatura apresente um valor igual a 80°C. Qual a quantidade de calor necessária para provocar tal aquecimento?

Se pudéssemos obter os dados (massa e material) de todos os componentes do motor do carro poderíamos utilizar a equação fundamental da calorimetria $Q = m.c.\Delta t$ para cada componente e, posteriormente somar todas as contribuições das peças individuais. A figura 4 nos mostra que isso é uma maneira de resolver o problema extremamente trabalhosa, pois teríamos que utilizar a equação para o pistão, volante do motor, cames, válvulas, velas, balancim, bloco do motor,

Para resolver essa situação podemos pensar no motor como um só objeto (mesmo sendo feito dos componentes 1, 2, 3, ...) e utilizar um artifício matemático:



Figura 4: Componentes de um motor de automóvel

$$Q_{\text{TOTAL}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = (m_1.c_1.\Delta t) + (m_2.c_2.\Delta t) + (m_3.c_3.\Delta t) \dots = (m_1c_1 + m_2c_2 + m_3c_3 + \dots)\Delta t.$$

A soma dos efeitos dos diversos materiais, cada um com uma massa e calor específico, que acima está agrupado entre os parênteses, pode ser expressa como uma grandeza, denominada CAPACIDADE TÉRMICA (C) do objeto. A expressão acima pode, então, ser reescrita da seguinte maneira:

$$Q = (m_1c_1 + m_2c_2 + m_3c_3 + \dots)\Delta t$$

$$Q = C.\Delta t, \text{ ou}$$

$$C = \frac{Q}{\Delta t}$$

Uma análise dimensional da Capacidade Térmica nos mostra que sua unidade, no S.I. é joule/K. Outra unidade muito utilizada é a cal/°C.

Quando dizemos que um objeto tem capacidade térmica de 30 cal/°C não estamos preocupados com quais materiais esse objeto tem, mas sim nos aspectos gerais de seu comportamento térmico, isto é, sabemos que ele absorve ou libera 30 calorias quando sua temperatura varia (para mais ou para menos) em 1°C.

Apesar de desenvolvermos o conceito de capacidade térmica utilizando um objeto com vários componentes, como o motor de um carro, seu conceito se aplica mesmo em objetos constituídos por apenas uma substância ou elemento.

Nesse caso, podemos estabelecer uma relação entre capacidade térmica e calor específico de uma substância, a partir da equação fundamental da calorimetria. Considere que um corpo, de massa (**m**) e capacidade térmica (**C**), feito de uma mesma substância, cujo calor específico é (**c**), troque com a vizinhança uma quantidade de calor (**Q**), sofrendo uma variação de temperatura (**Δt**). Com base na equação fundamental, podemos escrever:

$$Q = mc\Delta t \rightarrow \frac{Q}{\Delta t} = mc \rightarrow$$

$$c = \frac{C}{m} \text{ ou } C = c \cdot m$$



QUESTÃO 4:

Um bloco metálico está inicialmente a uma temperatura de 20°C. Recebendo uma quantidade de calor $Q = 330\text{cal}$, sua temperatura altera para 50°C.

- Qual é o valor da capacidade térmica do bloco?
- Diga, com suas palavras, o significado do resultado que você encontrou em (a).
- Quantas calorias deveriam ser fornecidas a ele para que sua temperatura se elevasse de 20°C para 100°C?
- Quantas calorias seriam liberadas pelo bloco se sua temperatura baixasse de 100°C para 0°C?

QUESTÃO 5:

Considere que a massa do bloco metálico da questão 3 seja de 50 g.

- Determine o calor específico do metal de que é feito o bloco?
- Com base no resultado obtido em a, identifique o tipo de metal de que é feito o bloco.

2. TROCAS DE CALOR - CALORÍMETRO

O conceito de calor específico (c) e o de capacidade térmica (C) são utilizados para estudar as trocas de calor que ocorrem entre os objetos. Nenhum objeto somente emite ou somente absorve energia térmica: alguns absorvem mais que liberam (e portanto sua temperatura tende a subir), outros liberam mais que absorvem (e portanto sua temperatura tende a reduzir) e outros liberam uma quantidade de energia igual a que absorvem, logo, sua temperatura permanece constante.

No motor do carro, podemos imaginar que o bloco do motor recebe energia térmica dos gases resultantes da combustão e, parte dessa energia é liberada para o ar. Todo um sistema de arrefecimento é construído para manter a temperatura do bloco constante.

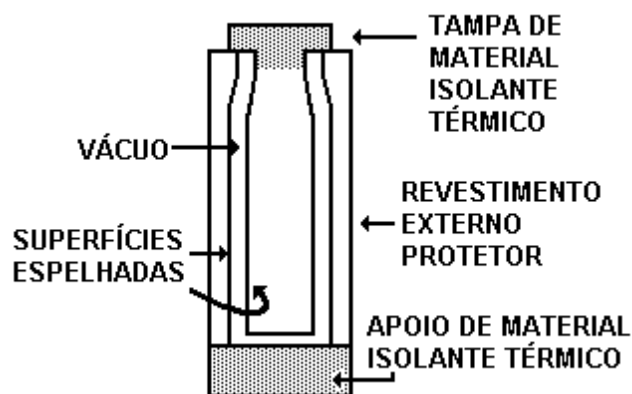
2.1. A chama de uma vela e a chama de uma boca de fogão apresentam uma mesma temperatura. No entanto não conseguimos ferver uma panela cheia de água com a chama da vela, mas conseguimos com a chama de um fogão. Explique o fato.



No estudo das formas de transmissão de calor verificamos que a garrafa térmica (vaso de Dewar) evita a transferência de calor por condução, convecção e radiação, ou seja, podemos considerar que os objetos que se encontram dentro dele como isolados termicamente. Todo aparelho utilizado para estudar as trocas de calor entre objetos que estão isolados é denominado CALORÍMETRO.

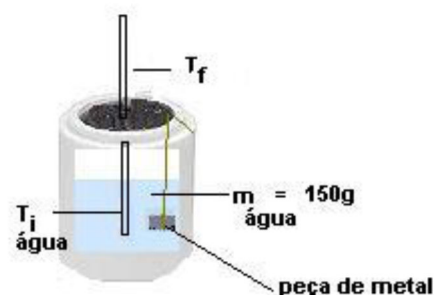
É muito comum, no nosso dia a dia, misturarmos 2 líquidos que estão a diferentes temperaturas para poder esfriar (ou esquentar) um pouco mais o líquido inicial. Pense em uma xícara de chá muito quente que desejamos esfriar adicionando um pouco de água fria. Podemos obter o resultado esperado depois de algumas tentativas, porém, às vezes, uma precisão na temperatura final é necessária (e desejável). Nessa atividade estudaremos a troca de calor entre os objetos, utilizando um calorímetro.

O calorímetro é um aparelho isolado termicamente do meio ambiente e muito utilizado nos laboratórios de ensino para fazer estudos sobre a quantidade de calor trocado entre dois ou mais corpos de temperaturas diferentes. É um recipiente de formato bem simples, construído para que não ocorra troca de calor entre o mesmo e o meio ambiente. Existem vários formatos de calorímetro, mas todos são constituídos basicamente de um recipiente de paredes finas que é envolvido por outro recipiente fechado de paredes mais grossas e isolantes. O calorímetro evita a entrada ou saída de calor assim como na garrafa térmica, por exemplo.



A) Coloque dentro do calorímetro _____ g de água da torneira (m_1), feche o calorímetro, agite levemente e espere o conjunto entrar em equilíbrio térmico. Anote a temperatura inicial do conjunto. ($t_1 =$ _____ °C).

B) Na mesa central do laboratório temos um grande béquer de vidro contendo um bloco de alumínio, de massa m_2 igual a _____ g. O bloco está preso com barbante e pode ser retirado de lá puxando pelo barbante. A água no interior encontra-se fervendo a uma temperatura t_2 de _____ °C. É razoável pressupor que essa também seja a temperatura inicial do bloco de alumínio.



C) Retire um bloco de alumínio de dentro do béquer com água fervente e rapidamente transfira-o para o interior do calorímetro.

D) Feche o calorímetro e agite-o levemente para que as trocas de calor aconteçam mais rapidamente. Depois de alguns minutos meça a nova temperatura de equilíbrio do conjunto calorímetro-água-bloco de alumínio ($t_{\text{final}} =$ _____ °C).

- E) Por que a transferência do bloco de alumínio, do béquer com água fervente para o calorímetro deve ser feita rapidamente e não de maneira lenta?
- F) Considerando os elementos calorímetro/bloco de alumínio/água, explicita quais recebem ou liberam calor durante a troca de energia dentro do calorímetro.
- G) Utilizando as temperaturas iniciais e finais do calorímetro e sua respectiva capacidade térmica, determine o valor da quantidade de calor ($Q_{\text{calorímetro}}$) absorvido por ele.
- H) Utilizando as temperaturas iniciais e finais da água dentro do calorímetro, determine o valor da quantidade de calor ($Q_{\text{água}}$) absorvido por ela.
- I) Qual a quantidade de calor liberada pelo bloco de alumínio ($Q_{\text{alumínio}}$)? Determine o valor do calor específico do alumínio, **EXPLICITANDO** seu raciocínio.
- J) Explique o significado físico da resposta do item anterior.

3. EQUIVALENTE MECÂNICO DO CALOR

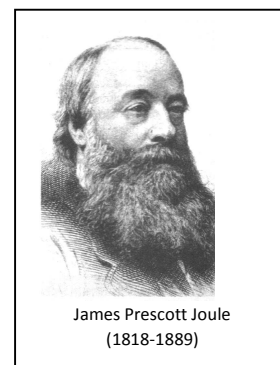
3.1. Introdução

James Prescott Joule (1818-1889) nasceu na Inglaterra, em Salford. Filho de um rico cervejeiro, Joule teve uma infância doente, o que lhe impediu de levar uma vida ativa. Refugiou-se nos livros e seu pai lhe ofereceu os melhores professores. A unidade de energia do sistema internacional (S.I) é uma homenagem a seus trabalhos na determinação do equivalente mecânico do calor. Para recordar a importância dos trabalhos de Joule, vale rever alguns conceitos básicos da mecânica.

Na ausência de forças externas, um corpo em movimento permanece em movimento retilíneo uniforme. Porém, ao lançarmos um livro, com determinada velocidade, sobre a superfície horizontal de uma mesa, observamos que seu movimento cessa. Sabemos que, nessas condições reais, existe uma força contrária ao movimento, o atrito, que reduz gradativamente, sua velocidade inicial. E a energia cinética inicial do livro? Perdeu-se?

Joule propôs que a energia cinética do objeto cujo movimento é cessado era transformado em energia térmica. O movimento ordenado do livro era transformado em movimento desordenado das partículas que formam a superfície e o livro. O valor da energia cinética inicial do livro deve ser exatamente igual à quantidade de calor produzido, pois esta é uma forma de energia.

Joule imaginou que uma dada quantidade de energia, de qualquer natureza, produziria sempre a mesma quantidade de calor. Montou, então, uma série de experiências (figura 1) para obter a equivalência matemática das diversas formas de energia. Na montagem mostrada, um objeto de massa m era abandonado de uma altura h e seu movimento transferido para o interior de um recipiente contendo água. Essa era agitada pelas pás. Em linguagem moderna, a energia potencial gravitacional era transformada em energia térmica da água.



James Prescott Joule
(1818-1889)

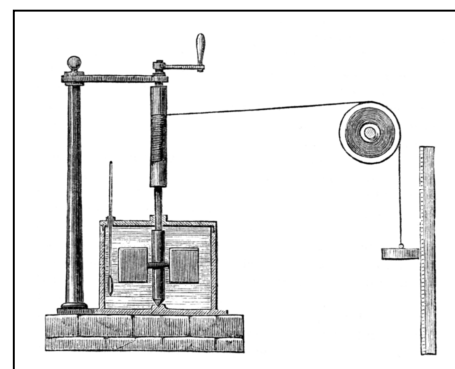


Figura 1 – diagrama do dispositivo utilizado por Joule.

3.2. Equivalente mecânico do calor²³

Lorde Kelvin, famoso cientista cujo nome é utilizado como unidade de temperatura na escala absoluta, descreve um de seus encontros com Joule, passeando pelo pico do Mont Blanc, o pico mais alto da Europa:

“... e quem encontro subindo senão Joule, com um longo termômetro na mão, e uma carruagem com um senhora não muito distante. Ele me disse que estava recém-casado, e que ia medir a diferença de temperatura existente entre os extremos da cachoeira.”



- A. Comparando a temperatura das águas no alto da cachoeira com a temperatura das águas na base da cachoeira, você espera que Joule tenha encontrado um valor maior, menor ou igual? Justifique?

Na catarata do Iguaçu, a água caindo de 80 m, produz uma variação de temperatura de $1/8$ de °C, ou seja, aproximadamente $0,125$ °C. Foi com números pequenos como este que Joule apresentou parte de seu trabalho para a comunidade científica, tentando convencê-los da transformação das diferentes formas de energia. Iremos fazer uma experiência semelhante à de Joule, trocando água por bolinhas de chumbo. Como é necessário que a massa caia de uma grande altura para produzir significativa variação de temperatura (vide exemplo da catarata), iremos fazer sucessivas quedas para simular um efeito único de uma queda a grande altura.²⁴



- A. Coloque dentro do longo tubo de PVC, ____ g de bolinhas de chumbo. Meça a temperatura inicial das esferas ($t_i =$ ____ °C). Meça o tamanho do tubo de PVC, isto é, a altura de queda as bolinhas de chumbo quando elas caírem ($h =$ ____ cm = ____ m).
- B. Tampe o tubo com uma rolha de plástico e gire o tubo de vidro de 180° , provocando a queda das bolinhas de chumbo. Repita este procedimento 99 vezes, simulando uma queda de uma altura de $100 \times$ ____ cm = ____ m.
- C. Após a 100ª queda, meça rapidamente a temperatura das esferas de chumbo introduzindo o termômetro na abertura ao lado ($t_f =$ ____ °C).
- D. Qual a transformação de energia apresentada pelas esferas de chumbo do momento em que você vira o tubo até o momento no qual elas atingem o fundo do tubo?



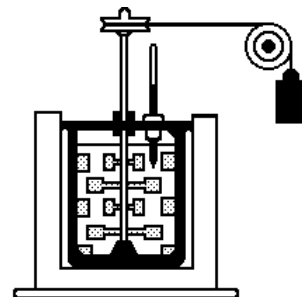
²³ Apesar de não ser tratado nesse texto, o princípio de conservação de energia é fundamental para compreensão da equivalência entre calor e trabalho, devendo ser apresentado pelo professor. Essa equivalência também gera o contexto inicial para o estudo das máquinas térmicas.

²⁴ Importante enfatizar como o aumento de temperatura é muito pequeno comparado com a quantidade de vezes que devemos virar o tubo de PVC. De outra forma podemos pensar que, fazendo uma analogia, um pai poderia esquentar uma mamadeira apenas balançando-a.

-
-
-
- E. Determine o valor da energia potencial gravitacional, em joules, apresentado pelas esferas de chumbo ao cair da altura total.
- F. Determine a quantidade de calor (em caloria) que seria necessária para provocar nas esferas de chumbo a variação de temperatura registrada. Sabe-se que para elevar a temperatura de 1g de chumbo em 1°C é necessário 0,033 cal. (0,033 cal/(g.°C))
- G. Compare os valores encontrados nos itens E e F e determine o equivalente mecânico do calor, ou seja, a relação joule-caloria.
- H. É correto afirmar que, nesse experimento, as esferinhas de chumbo absorveram calor?

Exercícios

- 1) (Pucsp) A experiência de James P. Joule, determinou que é necessário transformar aproximadamente 4,2J de energia mecânica para se obter 1cal. Numa experiência similar, deixava-se cair um corpo de massa 50kg, 30 vezes de uma certa altura. O corpo estava preso a uma corda, de tal maneira que, durante a sua queda, um sistema de pás era acionado, entrando em rotação e agitando 500g de água contida num recipiente isolado termicamente. O corpo caía com velocidade praticamente constante. Constatava-se, através de um termômetro adaptado ao aparelho, uma elevação total na temperatura da água de 14°C.



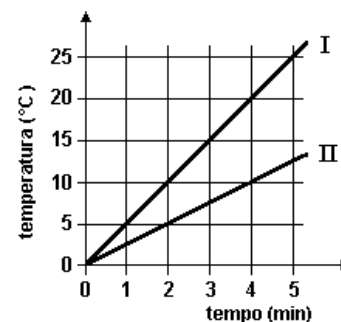
Determine a energia potencial total perdida pelo corpo e de que altura estava caindo.

Despreze os atritos nas polias, no eixo e no ar.

Dados: calor específico da água: $c=1\text{cal/g } ^\circ\text{C}$ $g = 9,8\text{m/s}^2$.

- a) $E_p = 7000\text{J}$; $h = 0,5\text{m}$.
- b) $E_p = 29400\text{J}$; $h = 2\text{m}$.
- c) $E_p = 14700\text{J}$; $h = 5\text{m}$.
- d) $E_p = 7000\text{J}$; $h = 14\text{m}$.
- e) $E_p = 29400\text{J}$; $h = 60\text{m}$.

- 2) (Vunesp) Massas iguais de água e óleo foram aquecidas num calorímetro, separadamente, por meio de uma resistência elétrica que forneceu energia térmica com a mesma potência constante, ou seja, em intervalos de tempo iguais cada uma das massas recebeu a mesma quantidade de calor. Os gráficos na figura adiante representam a temperatura desses líquidos no calorímetro em função do tempo, a partir do instante em que iniciou o aquecimento.



- a) Qual das retas, I ou II, é a da água, sabendo-se que seu calor específico é maior que o do óleo? Justifique sua resposta.
- b) Determine a razão entre os calores específicos da água e do óleo, usando os dados do gráfico.
- 3) (Fuvest) Um atleta envolve sua perna com uma bolsa de água quente, contendo 600g de água à temperatura inicial de 90°C. Após 4 horas ele observa que a temperatura da água é de 42°C. A perda média de energia da água por unidade de tempo é:
- Dado: $c = 1,0 \text{ cal/g} \cdot ^\circ\text{C}$
- a) 2,0 cal/s
 b) 18 cal/s
 c) 120 cal/s
 d) 8,4 cal/s
 e) 1,0 cal/s
- 4) (Unicamp) Um rapaz deseja tomar banho de banheira com água à temperatura de 30°C, misturando água quente e fria. Inicialmente, ele coloca na banheira 100L de água fria a 20°C. Desprezando a capacidade térmica da banheira e a perda de calor da água para a vizinhança da banheira, pergunta-se:
- a) quantos litros de água quente, a 50°C, ele deve colocar na banheira?
- b) se a vazão da torneira de água quente é de 0,20L/s, durante quanto tempo a torneira deverá ficar aberta?
- 5) (Fatec) Um frasco contém 20g de água a 0°C. Em seu interior é colocado um objeto de 50g de alumínio a 80°C. Os calores específicos da água e do alumínio são respectivamente 1,0cal/g°C e 0,10cal/g°C.
- Supondo não haver trocas de calor com o frasco e com o meio ambiente, a temperatura de equilíbrio desta mistura será
- a) 60°C
 b) 16°C
 c) 40°C
 d) 32°C
 e) 10°C
- 6) (Fei) Um calorímetro contém 200ml de água, e o conjunto está à temperatura de 20°C. Ao ser juntado ao calorímetro 125g de uma liga a 130°C, verificamos que após o equilíbrio térmico a temperatura final é de 30°C. Qual é a capacidade térmica do calorímetro?

Dados:

calor específico da liga: 0,20cal/g°C

calor específico da água: $1\text{ cal/g}^\circ\text{C}$

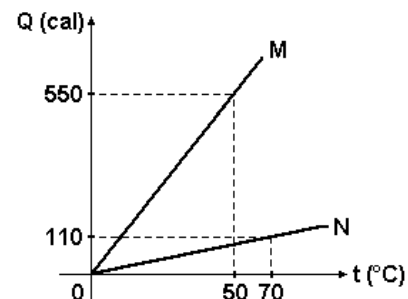
densidade da água: 1000 kg/m^3

- a) $50\text{ cal}^\circ\text{C}$
- b) $40\text{ cal}^\circ\text{C}$
- c) $30\text{ cal}^\circ\text{C}$
- d) $20\text{ cal}^\circ\text{C}$
- e) $10\text{ cal}^\circ\text{C}$

- 7) (Uel) O gráfico a seguir representa o calor absorvido por dois corpos sólidos M e N em função da temperatura.

A capacidade térmica do corpo M, em relação do corpo N, vale

- a) 1,4
- b) 5,0
- c) 5,5
- d) 6,0
- e) 7,0



- 8) (Unaerp) Você vai acampar por três dias e leva bujões de gás de 2kg; o calor de combustão do GLP (gás liqüefeito de petróleo) é 600 cal/g . Suponha que não haja perdas. Você utilizará o gás para aquecer 10L de água, desde 16°C até 100°C , por dia. O número de bujões necessários será:

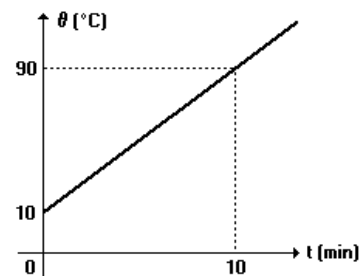
Dados: densidade da água = 1 kg/L

- a) 2
 - b) 1
 - c) 5
 - d) 4
- 9) (Fuvest) Num forno de microondas é colocado um vasilhame contendo 3kg d'água a 10°C . Após manter o forno ligado por 14 min, se verifica que a água atinge a temperatura de 50°C . O forno é então desligado e dentro do vasilhame d'água é colocado um corpo de massa 1kg e calor específico $c=0,2\text{ cal/(g}^\circ\text{C)}$, à temperatura inicial de 0°C . Despreze o calor necessário para aquecer o vasilhame e considere que a potência fornecida pelo forno é continuamente absorvida pelos corpos dentro dele. O tempo a mais que será necessário manter o forno ligado, na mesma potência, para que a temperatura de equilíbrio final do conjunto retorne a 50°C é:

- a) 56 s
- b) 60 s
- c) 70 s
- d) 280 s
- e) 350 s

- 10) (Mackenzie) Um corpo de massa 100g é aquecido por uma fonte térmica de potência constante e igual a 400 cal/min. O gráfico a seguir mostra como varia no tempo a temperatura do corpo. O calor específico da substância que constitui o corpo, em cal/g°C, é:

- a) 0,6
b) 0,5
c) 0,4
d) 0,3
e) 0,2



- 11) (Uel) Os cinco corpos, apresentados na tabela a seguir, estavam à temperatura ambiente de 15°C quando foram, simultaneamente, colocados num recipiente que continha água a 60°C.

Ao atingirem o equilíbrio térmico, o corpo que recebeu maior quantidade de calor foi o de

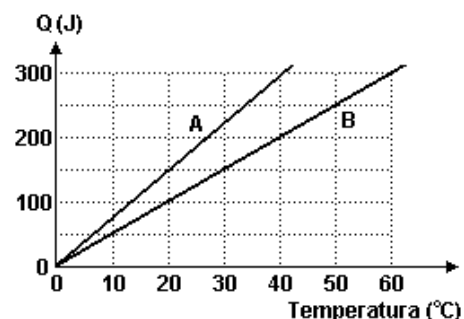
- a) alumínio.
b) chumbo.
c) cobre.
d) ferro.
e) latão.

MATERIAL	MASSA (g)	CALOR ESPECÍFICO (cal/g°C)
alumínio	20	0,21
chumbo	200	0,031
cobre	100	0,091
ferro	30	0,11
latão	150	0,092

- 12) (Vunesp) A figura mostra as quantidades de calor Q absorvidas, respectivamente, por dois corpos, A e B, em função de suas temperaturas.

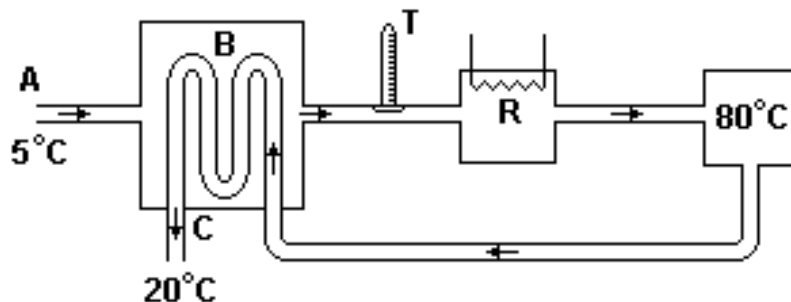
a) Determine a capacidade térmica C_A do corpo A e a capacidade térmica C_B do corpo B, em J/°C.

b) Sabendo que o calor específico da substância de que é feito o corpo B é duas vezes maior que o da substância de A, determine a razão m_A/m_B entre as massas de A e B.



- 13) (Fuvest) O processo de pasteurização do leite consiste em aquecê-lo a altas temperaturas, por alguns segundos, e resfriá-lo em seguida. Para isso, o leite percorre um sistema, em fluxo constante, passando por três etapas:

I) O leite entra no sistema (através de A), a 5°C, sendo aquecido (no trocador de calor B) pelo leite que já foi pasteurizado e está saindo do sistema.



II) Em seguida, completa-se o aquecimento do leite, através da resistência R, até que ele atinja 80°C.

Com essa temperatura, o leite retorna a B.

III) Novamente, em B, o leite quente é resfriado pelo leite frio que entra por A, saindo do sistema (através de C), a 20°C.

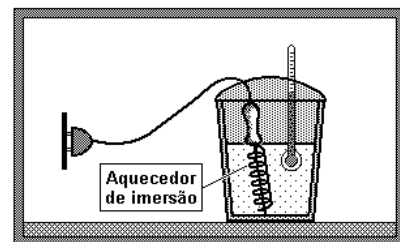
Em condições de funcionamento estáveis, e supondo que o sistema seja bem isolado termicamente, pode-se afirmar que a temperatura indicada pelo termômetro T, que monitora a temperatura do leite na saída de B, é aproximadamente de

- a) 20°C
- b) 25°C
- c) 60°C
- d) 65°C
- e) 75°C

- 14) (Pucsp) Um aquecedor de imersão (ebulididor) dissipa 200W de potência, utilizada totalmente para aquecer 100g de água, durante um minuto.

Qual a variação de temperatura sofrida pela água? Considere $1\text{cal}=4\text{J}$ e $c(\text{água})=1\text{cal/g}^\circ\text{C}$.

- a) 120° C
- b) 100° C
- c) 70° C
- d) 50° C
- e) 30° C



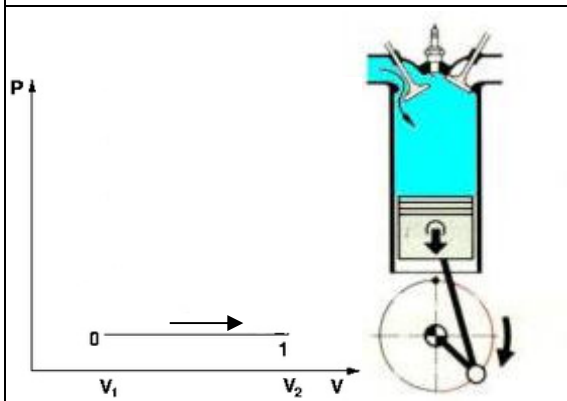
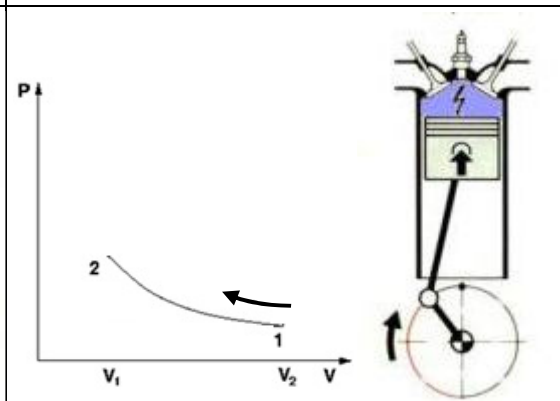
GABARITO

- 1) [B]
- 2) a) II b) 2
- 3) [A]
- 4) a) 50 litros b) 250L
- 5) [B]
- 6) [A]
- 7) [E]
- 8) [E]
- 9) [C]
- 10) [B]
- 11) [E]
- 12) a) $C_A = 7,5 \text{ J/}^\circ\text{C}$ e $C_B = 5 \text{ J/}^\circ\text{C}$ b) $m_A/m_B = 3$
- 13) [D]
- 14) [E]

Física – 2ª série

Texto 6: Ciclo Otto e conservação da energia – A primeira lei da termodinâmica**1. A energia se conserva no motor de combustão interna?**

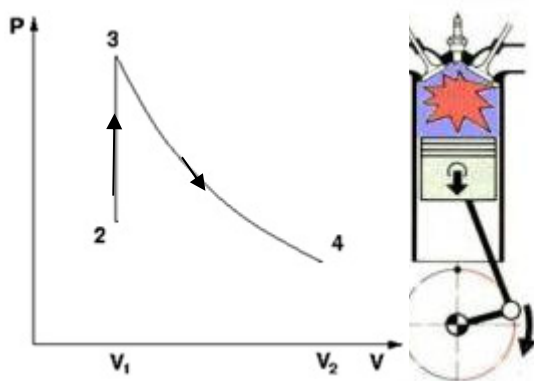
No funcionamento do motor de combustão, a energia sofre um processo de conversão, assumindo diferentes formas, porém se conservando, como prevê o Princípio de Conservação da Energia. Recordemos esse processo de conversão/conservação da energia representando o Ciclo Otto em um gráfico ‘pressão x volume’.

<p>1º tempo: admissão da mistura.</p> <p>Abertura da válvula de admissão: enquanto o volume do gás aumenta, a pressão fica praticamente constante. Quando o sistema passa por uma transformação em que a pressão permanece constante, dizemos que ele sofreu uma transformação isobárica, mostrada no trecho 0-1, do gráfico.</p>	<p>2º tempo: compressão da mistura.</p> <p>Enquanto o volume diminui, a pressão e a temperatura aumentam. A troca de calor com a vizinhança é desprezível, porque a compressão se realiza RAPIDAMENTE. Quando a troca de calor entre sistema e vizinhança é desprezível, dizemos que aconteceu uma transformação adiabática. Nesse segundo tempo do ciclo Otto, aconteceu uma compressão adiabática, mostrada no trecho 1-2, do gráfico.</p> <p>No ponto de compressão máxima e menor volume ocupado pela mistura combustível, ocorre uma centelha elétrica.</p>
	

3º tempo: explosão da mistura.

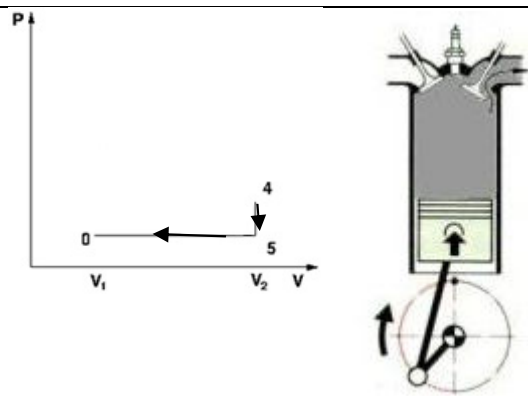
Na etapa 2-3, o volume do gás fica praticamente constante e ocorre um grande aumento de temperatura e pressão. Quando um sistema passa por uma transformação em que o volume permanece constante, dizemos que ele sofreu uma **transformação isovolumétrica**. Na etapa 2-3, mostrada no gráfico, a mistura combustível sofreu um aquecimento isovolumétrico.

Na etapa 3-4, os gases resultantes da combustão se expandem RAPIDAMENTE, a temperatura e pressão sofrem redução devido à realização de trabalho pelo pistão (**expansão adiabática** 3-4).

**4º tempo: escape dos gases.**

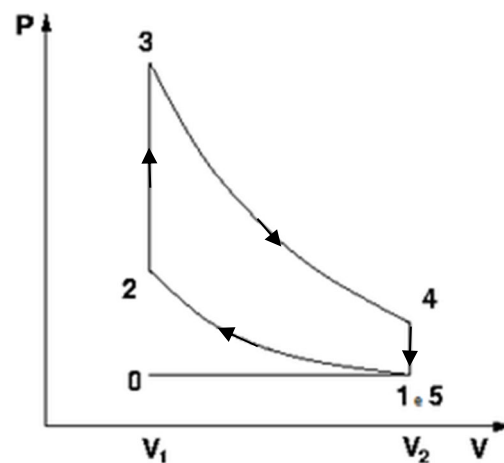
Na etapa 4-5, a abertura da válvula de escape provoca uma redução na pressão e na temperatura, com o volume ficando praticamente constante (**resfriamento isovolumétrico** 4-5).

Na etapa 5-0, o pistão se desloca para cima empurrando os gases resultantes da combustão para fora do cilindro. A redução do volume combinada à saída dos gases faz com que a transformação aconteça à pressão constante (**compressão isobárica** 5-0).



No ciclo completo do motor, indicado no gráfico ao lado, o calor liberado na combustão é parcialmente convertido em trabalho no terceiro tempo. Nas outras etapas (1º, 2º e 4º tempos), o pistão é empurrado devido ao giro do virabrequim. O calor liberado pela combustão, não convertido em trabalho é eliminado como **energia interna U** dos gases resultantes da combustão, que saem pelo escapamento a temperaturas muito altas e, também, aquecem as peças do motor, que são refrigeradas continuamente, trocando calor com o meio ambiente.

Portanto, a energia ou quantidade de calor **Q** liberada na combustão da mistura (ar + combustível) foi apenas parcialmente convertida em trabalho **W** e o restante se distribuiu entre as moléculas dos produtos da combustão provocando um aumento da sua energia interna **ΔU** . A equação da **Primeira Lei da Termodinâmica** estabelece uma relação entre **Q , W e ΔU** e é uma forma de expressar a conservação da energia:



$$Q = \Delta U + W$$

2. Os conceitos envolvidos na primeira lei da termodinâmica

2.1. Energia Interna

No primeiro estudo que fizemos do motor de combustão interna, vimos que a energia liberada na combustão da mistura (ar + combustível) é convertida em energia térmica dos produtos da combustão e que, apenas, aproximadamente 1/3 dessa energia é convertida em trabalho. Naquela oportunidade, conceituamos energia térmica de um sistema como a soma das energias cinéticas médias das moléculas constituintes desse sistema.

Podemos perguntar: de onde vem esta energia? Ela é proveniente do novo estado de organização dos átomos e moléculas constituintes dos produtos da combustão que tem, agora, menor energia potencial de ligação do que tinham os reagentes. A diferença dessas energias representa a energia que é liberada na reação na forma de energia térmica desses produtos. A soma de todas as formas de energia contidas em um sistema é conceituada como **energia interna (U)**. Compõem a energia interna de um sistema a energia térmica de seus átomos e moléculas assim como suas energias potenciais de ligação.

ENERGIA INTERNA (U) = ENERGIA TÉRMICA + ENERGIA POTENCIAL DE LIGAÇÃO

A intensa variação de energia interna dos produtos resultantes da combustão se expressa por sua elevada temperatura. **No caso dos gases, há uma estreita correlação entre energia interna e temperatura.** Se a energia interna aumenta, isso implica aumento de temperatura; se ela diminui, assim também acontece com a temperatura; se a energia interna permanece constante, constante também continua a temperatura de um gás.

2.2. A equivalência entre calor e trabalho

Com base na primeira da termodinâmica, podemos afirmar uma **equivalência entre calor e trabalho**:

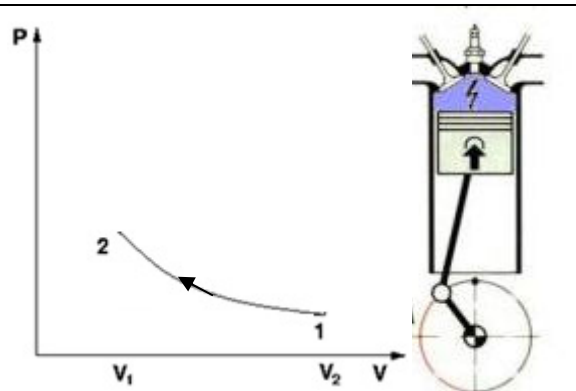
Calor e trabalho são processos de transferência de energia que podem alterar a temperatura e, portanto, a energia interna de um sistema.

Retomemos algumas etapas do Ciclo Otto:

Na etapa 1-2, a mistura combustível sofre uma compressão rápida. A rapidez dessa compressão torna desprezível a troca de calor com a vizinhança. Trata-se, portanto de uma compressão adiabática. Na compressão adiabática 1-2, a mistura combustível sofre um aumento de pressão e temperatura. **O aumento de temperatura significa aumento de energia interna.**

O que causou esse aumento de energia interna?

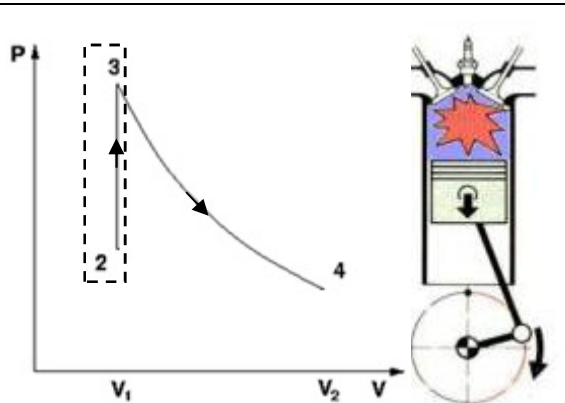
O trabalho que o virabrequim realizou sobre a mistura combustível, ao reduzir o seu volume dentro do cilindro.



Na etapa 2-3, acontece a explosão da mistura combustível. O processo é extremamente rápido e, por isso, podemos considerar que, nessa etapa, o pistão praticamente não se movimenta. O volume V_1 determinado pela posição mais alta do pistão fica constante. Por isso, a transformação é chamada isovolumétrica. Nessa etapa (2-3), não há realização de trabalho, uma vez que não há deslocamento do pistão. Mas há uma grande liberação de calor para os gases resultantes da explosão. Nessa etapa, o aumento de temperatura e pressão é ainda mais expressivo. Portanto, a energia interna do sistema também aumentou significativamente, juntamente com o aumento de temperatura.

O que proporcionou esse significativo aumento da energia interna?

O calor liberado pela combustão.



Na compressão adiabática 1-2, a temperatura e a energia interna do sistema foram aumentadas por meio de realização de trabalho.

No aquecimento isovolumétrico 2-3, a energia interna e a temperatura foram aumentadas por meio de absorção de calor.

As etapas 1-2 (compressão adiabática) e 2-3 (aquecimento isovolumétrico) são exemplos da equivalência entre calor e trabalho como processos que podem alterar a temperatura e, portanto, a energia interna de um sistema.

Dessa equivalência entre calor e trabalho decorre a relação do equivalente mecânico do calor determinada por James Prescott Joule, hoje expressa por:

$$1 \text{ cal} = 4,18 \text{ J.}$$

Joule (J) e caloria (cal) são, portanto, unidades de energia, a primeira reconhecida como unidade de energia pelo Sistema Internacional de Unidades (SI) e a segunda, uma unidade frequentemente usada em estudos de calorimetria e termoquímica.

2.3. A convenção de sinais de calor (Q) e trabalho (W) na equação da primeira lei da termodinâmica

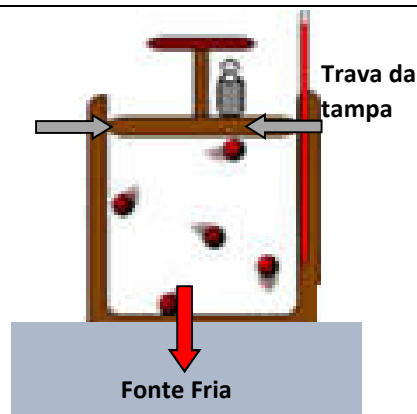
No aquecimento isovolumétrico 2-3 (tempo 3 do ciclo Otto):

- O trabalho trocado com a vizinhança é zero. Não há deslocamento do pistão.
- A energia interna aumenta ($\Delta U > 0$).
- Aplicando a equação da primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow Q = \Delta U + 0 \rightarrow Q = \Delta U \rightarrow Q > 0, \text{ pois } \Delta U > 0$$

Portanto, calor absorvido pelo sistema é calor positivo.

Apresentamos as características de um **resfriamento isovolumétrico**, diferente daquele apresentado no ciclo Otto. No exemplo, mostrado na figura ao lado, não acontece escapamento do gás e ele se encontra dentro de um recipiente cujas paredes não podem se mover.



- O trabalho trocado com a vizinhança é zero. Não há deslocamento das paredes do recipiente.
- A energia interna diminui ($\Delta U < 0$).
- Aplicando a equação da primeira lei da termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow Q = \Delta U + 0 \rightarrow Q = \Delta U \rightarrow Q < 0, \text{ pois } \Delta U < 0$$

Portanto, **calor liberado pelo sistema é calor negativo.**

Na **compressão adiabática 1-2** (tempo 1 do ciclo Otto):

- O calor trocado com a vizinhança é zero.
- O trabalho é realizado **sobre o sistema** (mistura ar + combustível) pela vizinhança (virabrequim).
- A energia interna do sistema aumenta ($\Delta U > 0$).
- Aplicando a equação da primeira lei da termodinâmica temos:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow 0 = \Delta U + W \rightarrow W < 0, \text{ pois } \Delta U > 0$$

Portanto, **trabalho realizado sobre o sistema é trabalho negativo.**

Na **expansão adiabática 3-4** (tempo 3 do ciclo Otto):

- O calor trocado com a vizinhança é zero.
- O trabalho é realizado **pelo sistema** (gases resultantes da combustão) sobre a vizinhança (pistão, virabrequim, volante do motor e engrenagens).
- A energia interna do sistema diminui ($\Delta U < 0$).
- Aplicando a equação da primeira lei da termodinâmica temos:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow 0 = \Delta U + W \rightarrow W > 0, \text{ pois } \Delta U < 0$$

Portanto, **trabalho realizado pelo sistema é trabalho positivo.**

Em síntese, a equação da primeira lei da termodinâmica escrita na forma $Q = \Delta U + W$ implica a seguinte convenção de sinais:

Calor absorvido pelo sistema	$Q > 0$
Calor liberado pelo sistema	$Q < 0$
Trabalho realizado pelo sistema	$W > 0$
Trabalho realizado sobre o sistema	$W < 0$

Exemplo

1. Suponha que um sistema realize uma transformação termodinâmica, trocando energia com sua vizinhança. Calcule a variação de energia interna do sistema nos seguintes casos:

a) O sistema absorve 100 cal de calor e realiza um trabalho de 200 J.

$$Q = 100 \text{ cal} = 100 \times 4,18 \text{ J} = 418 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U + W \rightarrow 418 = \Delta U + 200 \rightarrow \Delta U = 218 \text{ J.}$$

Nessa transformação, Q e W são ambos positivos. Dos 418 J absorvidos, 200 foram convertidos em trabalho. O restante, 218 J, foi utilizando para elevar a energia interna do sistema.

b) O sistema absorve 100 cal de calor e 200 J de trabalho é realizado sobre ele.

$$Q = 100 \text{ cal} = 100 \times 4,18 \text{ J} = 418 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U + W \rightarrow 418 = \Delta U - 200 \rightarrow \Delta U = 418 + 200 = 618 \text{ J}.$$

O calor com sinal positivo significa energia absorvida pelo sistema. Trabalho com sinal negativo também significa energia absorvida, pois a vizinhança realizou trabalho sobre o sistema. Por isso a energia interna do sistema sofreu um aumento dado pela soma do calor absorvido e trabalho realizado pela vizinhança.

c) O sistema libera 100 J de calor e 200 J de trabalho é realizado sobre ele.

$$Q = -100 \text{ cal} = -100 \times 4,18 \text{ J} = -418 \text{ J}$$

$$Q = \Delta U + W \rightarrow -418 = \Delta U - 200 \rightarrow \Delta U = -418 + 200 = -218 \text{ J}$$

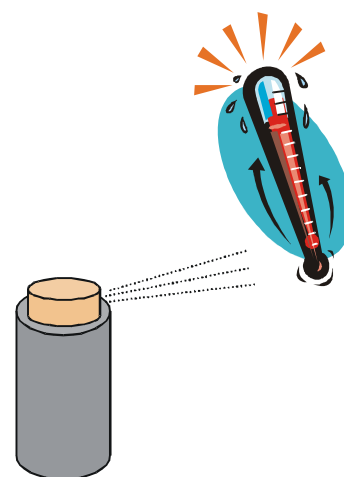
O sistema perdeu para a vizinhança 418 J de calor e recebeu 200 J na forma de trabalho. Ao final, perdeu mais que ganhou. A energia interna sofreu uma redução de 218 J.

2.4. Transformações adiabáticas no cotidiano e a Primeira Lei da Termodinâmica²⁵

A) Trata-se de uma experiência curiosa, mas muito fácil de ser realizada. Inicialmente, não iremos nos preocupar em buscar uma “explicação” para ela. Contentaremos-nos, apenas, em realizá-la. Coloque a palma de uma de suas mãos em frente a sua própria boca. Faça o ar passar pela menor abertura possível que puder produzir em seus lábios e sinta a temperatura do ar que sai de sua boca com a palma da mão. Agora, abra bem os lábios e sopre novamente o ar em direção à palma da mão. Você percebe a diferença na temperatura do ar proveniente da boca nas duas situações? Em caso positivo, descreva-a, no seu caderno.



B) Com um aerossol, não tóxico e não poluente, é possível fazer uma outra exploração interessante. Inicialmente, a substância contida no interior do aerossol deverá estar em equilíbrio térmico com sua vizinhança, isto é, deverá estar à temperatura ambiente. Deixe o frasco de aerossol sobre a mesa e segure um termômetro na direção em que sairá o jato de aerossol. Mire e dispare o jato de tal forma que ele possa atingir o bulbo do termômetro. Observando o valor registrado no termômetro, responda: a substância que se expande rapidamente e entra em contato com o termômetro sofre alguma variação de temperatura durante essa expansão?



Inicialmente, muitos de nós temos dificuldade em entender como a substância contida no interior do frasco de aerossol sofre um rápido resfriamento, quando apertamos a válvula do frasco e permitimos sua expansão. Afinal, estamos acostumados à ideia de que uma substância só pode sofrer um

²⁵ O texto e as figuras dessa seção foram extraídos e adaptados de **CALOR, TRABALHO E ENERGIA INTERNA: A 1ª LEI DA TERMODINÂMICA**, produzidos pelo prof. Hélder Figueiredo de Paula, do COLTEC – UFMG.

resfriamento ao liberar calor para uma vizinhança a uma temperatura inferior à sua. Mas será que essa condição existia na experiência com o aerossol, isto é, é possível identificar um corpo mais frio que possa ter absorvido calor?

Tanto o ar originário dos pulmões, que passa por uma pequena abertura entre os lábios (situação A), quanto a substância contida no aerossol (situação B), sofreram um processo de resfriamento que é chamado de “expansão adiabática”. Conforme destacado nas transformações adiabáticas que acontecem no ciclo Otto, um sistema sofre uma transformação “adiabática” quando se expande ou é comprimido sem “absorver”, nem “liberar” calor para o ambiente que o cerca. A rigor, as transformações adiabáticas só poderiam ocorrer para sistemas totalmente isolados termicamente. Alguns processos reais, entretanto, realizam-se com muita rapidez, de tal forma que é possível considerá-los como processos “adiabáticos”. Esse é justamente o caso da transformação sofrida pelo líquido à alta pressão, contido no interior de um aerossol, que se expande e se transforma em vapor ao passar para o lado de fora do frasco.

Ao pressionarmos a válvula do aerossol, permitimos que a substância contida no interior do frasco, à alta pressão, expanda-se rapidamente e empurre o ar atmosférico. Ao expandir-se e empurrar o ar atmosférico à sua frente, a substância realiza trabalho (exerce força sobre o ar atmosférico e provoca seu deslocamento). A queda de temperatura da substância, verificada nessas circunstâncias, não pode ser atribuída às trocas de calor. Na verdade, nem o ar atmosférico nem qualquer outro corpo na vizinhança do frasco estavam mais frios que a substância e, portanto, ela não poderia perder energia “liberando calor”.

Funcionários da cozinha de grandes restaurantes e indústrias, que usam fornos a gás, costumam deparar-se com um fenômeno curioso. Quando os grandes bujões estão com a válvula aberta e os queimadores todos abertos, o gás GLP passa pela válvula sofrendo rápida expansão e queda de temperatura. Assim, a superfície metálica dos bujões fica completamente gelada, chegando ao “absurdo” de apresentar uma fina camada de gelo no seu entorno. Os bujões de veículos movidos a gás natural veicular (GNV), tem um sistema de aquecimento na válvula de saída que impede o congelamento. Não tão grande, mas também claramente perceptível, é a queda na temperatura do cilindro de um extintor de incêndio quando a válvula da abertura é pressionada²⁶.

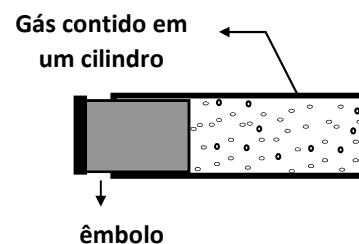
A queda de temperatura verificada em uma “expansão adiabática” pode ser justificada pela **Primeira Lei da Termodinâmica**, que é outra forma de enunciar o **Princípio de Conservação de Energia**. Qualquer substância ou material possui uma **Energia Interna** associada ao movimento (Energia Cinética) e à interação entre seus átomos ou moléculas (Energia Potencial de ligação). A Energia Interna de um corpo tende a variar quando ele perde ou “absorve” **calor** de sua vizinhança. Assim, quando um corpo entra em contato com outros corpos com temperatura superior à sua, ele recebe calor dessa “vizinhança” e isso tende a aumentar a Energia Interna do corpo. Em contrapartida, quando um corpo entra em contato com outros corpos com

²⁶ Em todos esses processos a expansão rápida ou “adiabática” ocorre porque o sistema passa de um ambiente a alta pressão para outro de pressão menor. Afinal, as substâncias mantidas nos recipientes dos aerossóis só encontram-se liquefeitas por que são mantidas sob alta pressão. Sob pressão atmosférica normal, tais substâncias, assim como o gás GLP dos bujões de cozinha, apresentam-se na forma de vapor. Ao pressionarmos as válvulas dos recipientes que contém essas substâncias permitimos sua expansão. Ao expandir-se elas realizam trabalho sobre suas vizinhanças às custas de sua energia interna.

temperatura inferior à sua, ele perde calor para essa “vizinhança” e isso tende a diminuir sua Energia Interna.

Acontece que a Energia Interna de um corpo pode variar mesmo quando não existem diferenças entre a temperatura inicial do corpo e a temperatura de sua vizinhança. Essa possibilidade é particularmente importante para corpos ou substâncias que se encontram no estado gasoso. Afinal, no estado gasoso, as substâncias podem sofrer grandes variações de volume quando exercem ou sofrem a ação de forças na interação com outros corpos situados em sua vizinhança.

Quando não há trocas de calor, um gás pode trocar energia com sua vizinhança por meio da realização de trabalho. O Trabalho é o processo de troca de energia que se dá pela realização de forças e deslocamentos. Um gás contido em um cilindro, isolado termicamente da vizinhança, pode realizar trabalho sobre um êmbolo ao expandir-se. **A temperatura do gás diminui, pois parte de sua energia interna transforma-se no trabalho que ele realiza sobre sua vizinhança.** É o que acontece na etapa de expansão adiabática do motor de combustão interna.



De forma inversa, um gás pode sofrer a ação de uma força capaz de comprimi-lo. Nesse caso, ao ser comprimido, sem trocar calor com a vizinhança, o gás sofrerá certa elevação de temperatura. **Sua temperatura aumenta, pois o trabalho realizado sobre o gás aumenta sua energia interna.** É o que acontece na etapa de compressão adiabática do motor de combustão interna.

Exercício



1. Responda as questões a seguir para a expansão adiabática 3-4, do ciclo Otto do motor de combustão:

a) Por que ela pode ser considerada adiabática?

b) A energia interna dos gases resultantes da combustão aumenta, diminui ou permanece constante durante essa expansão? Justifique o que acontece com a energia interna considerando a possibilidade ou não dos gases resultantes da combustão trocarem calor ou trabalho com a vizinhança.

2) A figura ao lado mostra que, ao se abrir rapidamente uma garrafa de refrigerante, forma-se uma nuvenzinha, indicando que o gás aprisionado na parte superior da garrafa condensou.

a) Que tipo de transformação termodinâmica aconteceu com o gás, ao se abrir a tampa da garrafa?

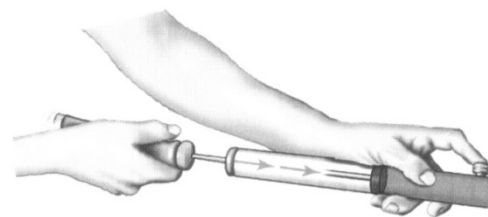
b) O que provocou a condensação do gás? Justifique com base na equação da primeira lei da termodinâmica



3. a) Que tipo de transformação termodinâmica acontece quando se comprime rapidamente o ar dentro de uma bomba, como mostrado na figura ao lado?

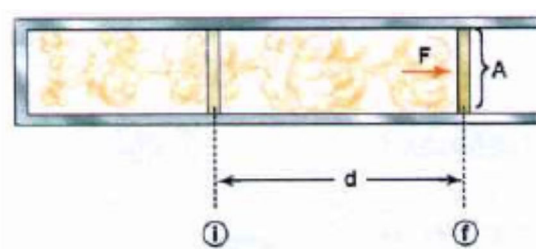
b) O que acontece com a temperatura do gás dentro da bomba, durante essa compressão? Justifique com base na equação da primeira lei da termodinâmica.

c) Aproveite para ver o filme, que mostra o que acontece a um pequeno pedaço de algodão dentro de um tubo de plástico transparente, quando o êmbolo comprime rapidamente o ar no interior desse tubo. Acesse o filme em: <https://www.youtube.com/watch?v=CU4dslenJbU>.



3. Trabalho realizado por um gás em uma variação de volume

Um gás encontra-se em um recipiente com um êmbolo móvel cuja área é A , conforme figura ao lado. O êmbolo pode se deslocar livremente, com atrito desprezível. Ao receber calor da vizinhança, o gás expande, à pressão constante p , exercendo sobre o êmbolo uma força F e deslocando-o de uma distância d .



Uma vez que a expansão é isobárica (pressão constante), a força F exercida pelo gás sobre o êmbolo é constante, pois:

$$p = \frac{F}{A} \rightarrow F = p \cdot A.$$

Se a força é constante, para calcular o trabalho W , realizado pela força F , podemos aplicar a equação $W = Fd \cos \alpha$, em que α é o ângulo entre o vetor força \vec{F} e o deslocamento \vec{d} .

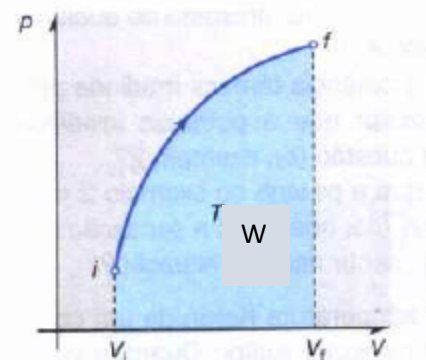
No caso da figura: $\alpha = 0 \rightarrow \cos \alpha = 1$. Então temos que:

$$W = Fd \rightarrow W = p \cdot A \cdot d$$

$(A \cdot d)$ é justamente a variação de volume ΔV , promovida pelo gás, ao deslocar o êmbolo de ' d ', na expansão. Ao final, o trabalho realizado pelo/sobre um gás em uma variação de volume, à **pressão constante**, pode ser escrita por:

$$W = p \cdot \Delta V.$$

No caso da variação de volume de um gás acontecer com pressão variável, a equação acima não se aplica. O cálculo do trabalho será feito a partir da área sob o gráfico pressão x volume que representa a transformação em questão, conforme figura ao lado.



Exemplo

2. Suponha que na figura da página 8, o gás se expandiu, exercendo uma pressão constante de 2 atm, desde o volume 200 cm³ até o volume 500 cm³. Qual o trabalho, em J, realizado pelo gás nessa expansão?

Para obter o trabalho em J, temos que converter as unidades de pressão e volume para o SI:

$$2 \text{ atm} = 2 \times 1,01 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} = 2,02 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

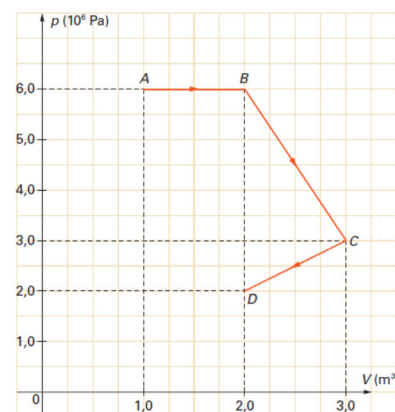
$$1 \text{ cm}^3 = 1 \times (10^{-2} \text{ m})^3 = 10^{-6} \text{ m}^3 \rightarrow 200 \text{ cm}^3 = 200 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = 2,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$500 \text{ cm}^3 = 5,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3$$

Uma vez que a pressão é constante, a equação $W = p\Delta V$ pode ser aplicada:

$$W = 2,02 \times 10^5 \frac{\text{N}}{\text{m}^2} \times 3,00 \times 10^{-4} \text{ m}^3 = 6,06 \times 10 \frac{\text{N}\cdot\text{m}^3}{\text{m}^2} = 60,6 \text{ N}\cdot\text{m} = 60,6 \text{ J}$$

3. Temos ao lado o gráfico $p \times V$ da transformação de um sistema termodinâmico. Determine o trabalho realizado nas etapas AB, BC e CD e o trabalho total realizado na transformação.



Cálculo do trabalho na etapa AB:

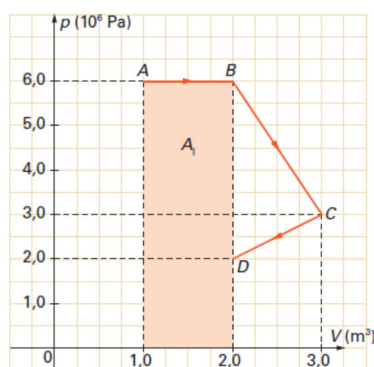
Calcula-se a área sob o trecho AB do gráfico.

$A_I = \text{área do retângulo sob o segmento AB}$

$$A_I = 1,0 \text{ m}^3 \times 6,0 \times 10^6 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$A_I = 6,0 \times 10^6 \text{ N}\cdot\text{m}$$

$$W_{AB} = A_I \rightarrow W_{AB} = 6,0 \times 10^6 \text{ J}$$



Cálculo do trabalho na etapa BC:

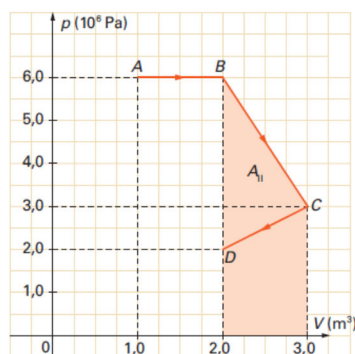
Calcula-se a área sob o trecho BC do gráfico.

$A_{II} = \text{área do trapézio sob o segmento BC}$

$$A_{II} = \frac{(6,0 \times 10^6 + 3,0 \times 10^6)}{2} \times 1,0$$

$$A_{II} = 4,5 \times 10^6 \text{ J}$$

$$W_{BC} = A_{II} \rightarrow W_{BC} = 4,5 \times 10^6 \text{ J}$$



Cálculo do trabalho na etapa CD:

Calcula-se a área sob o trecho CD do gráfico.

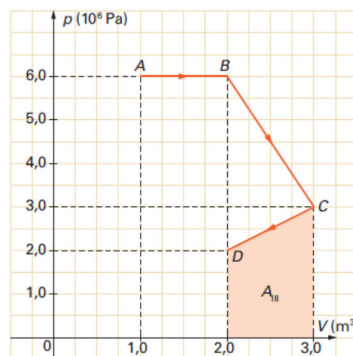
$A_{III} = \text{área do trapézio sob o segmento CD}$

$$A_{III} = \frac{(3,0 \times 10^6 + 2,0 \times 10^6)}{2} \times 1,0$$

$$A_{III} = 2,5 \times 10^6 \text{ J}$$

$W_{CD} = -A_{III}$ (pois se trata de uma compressão)

$$W_{CD} = -2,5 \times 10^6 \text{ J}$$



O trabalho total será a soma dos trabalhos em cada etapa:

$$W_T = W_{AB} + W_{BC} + W_{CD} = (6,0 + 4,5 - 2,5) \times 10^6 \text{ J} \rightarrow W_T = 8,0 \times 10^6 \text{ J}$$



Exercícios

4. Um sistema sofre uma transformação na qual ele absorve 50 cal de calor e se expande, realizando um trabalho de 320 J.

- Qual é, em joules, o calor absorvido pelo sistema? (Considere 1 cal = 4,2 J)
- Calcule a variação de energia interna que o sistema experimentou.

5. Suponha que um gás, mantido a volume constante, liberasse 170 cal de calor para sua vizinhança.

- Qual o trabalho realizado pelo gás?
- Qual foi, em calorias, a variação de energia interna do gás?
- A energia interna do gás aumentou, diminuiu ou não variou?

6. Um gás é comprimido sob uma pressão constante de $5,0 \times 10^4 \text{ N/m}^2$, desde um volume inicial de $3,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$, até um volume final de $1,5 \times 10^{-3} \text{ m}^3$.

- Houve trabalho realizado pelo gás ou sobre o gás?
- Calcule este trabalho.
- Se o gás liberou 100 J de calor durante a compressão, determine a variação de sua energia interna.

7. Com base na equação para o cálculo do trabalho em uma variação de volume a pressão constante, justifique a convenção de sinais para o trabalho, que foi apresentada com base na equação da primeira lei da termodinâmica.

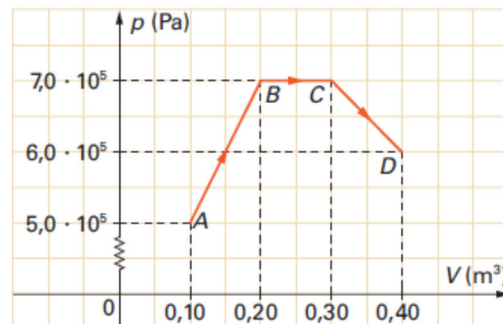
8. Suponha que após a expansão, o gás do exemplo 2 tenha sido comprimido, conservando a mesma pressão, até retornar ao volume de 200 cm^3 . Determine o trabalho realizado nessa transformação e justifique o sinal atribuído ao trabalho calculado.

9. Considere um gás dentro de um cilindro provido de um pistão. O gás é aquecido, mas seu volume permanece constante.

- O gás está exercendo força sobre o pistão?
- O que ocorre com o valor desta força durante o aquecimento?

- c) Há deslocamento do pistão?
 d) Qual o valor do trabalho realizado nesta transformação?

10. O gráfico p (Pa) x V (m^3) é uma transformação num sistema termodinâmico. Determine o trabalho realizado nos trechos AB, BC e CD e o trabalho total realizado na transformação.



OBS. as questões 4 a 6 forma compiladas de Alvarenga e Máximo (2006); e as questões 3 e 10 de Gaspar (2002).

Respostas dos exercícios

- a) Porque a expansão dos gases movimentando o pistão ocorre em um intervalo de tempo muito curto, de modo que se pode desprezar o calor trocado entre os gases resultantes da combustão e a vizinhança, nesse intervalo de tempo.

b) A energia interna diminui, pois gastam essa energia interna para movimentar o pistão, realizando trabalho e, conforme indicado em (a), nesse pequeno intervalo de tempo despreza-se a troca de calor com a vizinhança.
- a) Expansão adiabática.

b) A redução da energia interna e da temperatura provocaram a condensação do gás.
- a) Compressão adiabática. b) A temperatura aumenta.
- a) 210 J. b) -110 J.
- a) zero. b) -170 cal. c) A energia interna diminuiu.
- a) Houve realização de trabalho sobre o gás. b) - 60 J. c) - 40 J.
- a) - 60,6 J, pois se trata de uma compressão (diminuição de volume), trabalho realizado sobre o gás.
- a) Sim. b) Aumenta, na medida em que aumenta a pressão do gás sobre as paredes do recipiente. c) Não. d) Zero.
- $W_{AB} = 6,0 \times 10^4 \text{ J}; W_{BC} = 7,0 \times 10^4 \text{ J}; W_{CD} = 6,5 \times 10^4 \text{ J}; W_{total} = 2,0 \times 10^5 \text{ J};$

Física – 2ª série

Texto 7: Aplicações da 1ª lei da termodinâmica a transformações termodinâmicas diversas**1. Um gás pode realizar trabalho e sua energia interna permanecer constante?**

A resposta é afirmativa. Vejamos como justificar essa resposta com base na equação da primeira lei da termodinâmica:

Se a **energia interna** fica **constante**, então $\Delta U = 0$. Logo:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow Q = 0 + W \rightarrow Q = W$$

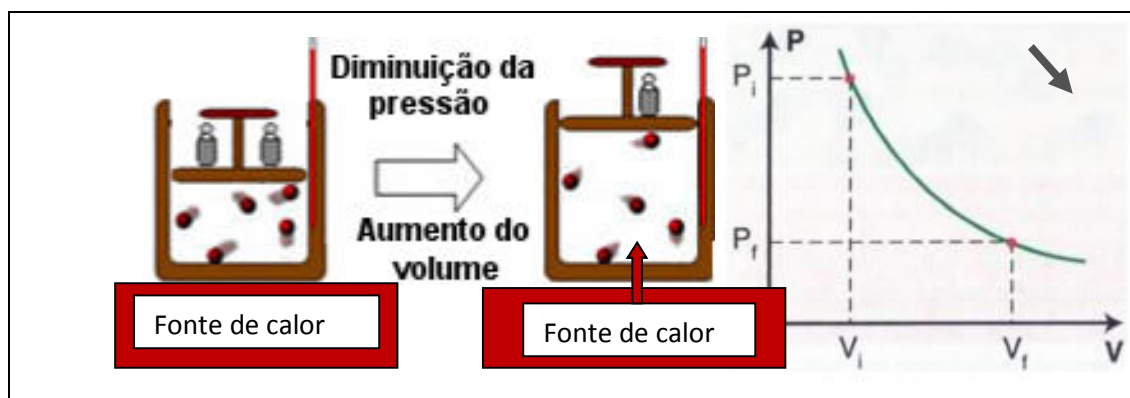
Como interpretar o resultado $Q = W$?

A energia que o sistema cede para a vizinhança na forma de trabalho, ele absorve na forma de calor. Nessa igualdade calor e trabalho são positivos: o trabalho é realizado pelo sistema e o calor é absorvido pelo sistema.

Se a energia interna do gás permanece constante, o que acontece com a sua temperatura? Lembrando da estreita correlação entre temperatura e energia interna para um gás, **se a energia interna permanece constante, a temperatura do gás também permanece constante**. Por isso, a transformação termodinâmica de um gás, cuja energia interna permanece constante, é chamada **transformação isotérmica**.

1.1. Um exemplo de transformação isotérmica

As transformações isotérmicas, em geral, são produzidas em condições controladas no laboratório. Considere um recipiente, com uma tampa móvel (êmbolo), contendo um gás. A tampa móvel pode se deslocar com atrito desprezível pelas paredes do recipiente. Sobre o êmbolo móvel são colocados pequenos pesos. O recipiente está colocado sobre uma fonte de calor²⁷, de grande capacidade térmica, que pode ceder ou absorver calor para o recipiente, mantendo o gás a uma temperatura constante. A base do recipiente é constituída de um material com ótima condutividade térmica.



²⁷ Lembrando que só há processos de transferência de calor entre dois corpos quando existe gradiente de temperatura entre eles.

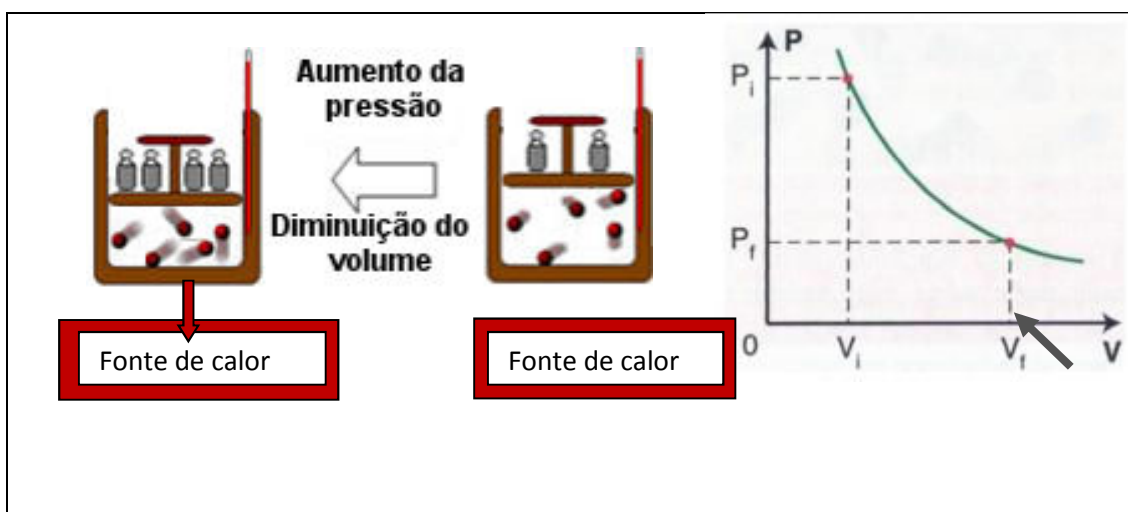
O gás e a fonte de calor se encontram à mesma temperatura inicial t_0 . Um dos pesos é, então, retirado, de modo que o êmbolo se desloca lentamente para cima. Há um aumento de volume, de V_i para V_f , combinado com uma redução da pressão exercida pelo gás, de P_i para P_f . Nessa condição pressão P e volume V variam de forma que o **produto PV é constante** ao longo da curva mostrada no gráfico $P \times V$. Essa curva é uma hipérbole. Nas condições do experimento ela é chamada de isoterma, uma vez que a pressão e o volume variam, sob **temperatura constante**.

Nessa transformação termodinâmica, gás realiza trabalho sobre a vizinhança ao deslocar o êmbolo para cima. Essa realização de trabalho pelo gás se faz com ele utilizando sua energia interna. Porém a fonte de calor repõe essa energia interna gasta para realizar trabalho, cedendo calor para o gás.

Sob essas condições, acontece, portanto, uma **expansão isotérmica**. O gás realiza trabalho, na expansão, deslocando o êmbolo para cima. A energia interna gasta na realização de trabalho é repostada pelo calor absorvido da fonte térmica (**$Q = W$ e ambos são positivos**). **A energia interna fica constante e, conseqüentemente, sua temperatura.**

Se pesos forem colocados, um a um, ocorrerá o processo inverso, isto é, uma **compressão isotérmica**. Agora a vizinhança realiza trabalho sobre o sistema. Entra energia no sistema (o gás) por meio de trabalho. Para o gás se manter à mesma temperatura da fonte térmica, ele cede calor para ela na quantidade igual à energia recebida na forma de trabalho realizado pela vizinhança

(**$Q = W$ e ambos são negativos**). **A energia interna do gás permanece constante e, por conseguinte, sua temperatura.**



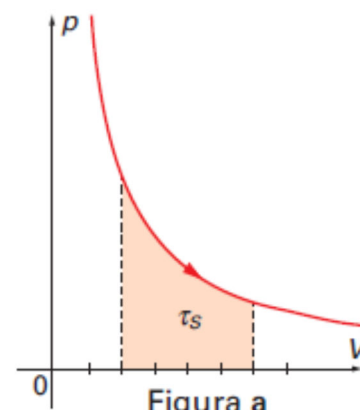
Exemplo

O gráfico $p \times V$, ao lado, é uma isoterma representando uma transformação termodinâmica realizada por um gás. A área hachurada no gráfico é igual a 300 J.

a) Por que o gás necessariamente troca calor com a vizinhança nessa transformação?

b) Determine a quantidade de calor trocado com a vizinhança e indique se foi calor absorvido ou liberado pelo gás. Justifique a resposta a partir da equação da Primeira Lei da Termodinâmica.

c) É correto afirmar que nessa transformação $p \propto \frac{1}{V}$?



Solução:

a) O gás troca calor necessariamente com a vizinhança porque se trata de uma expansão isotérmica, em que a temperatura e a energia interna do gás permanecem constantes. Ao expandir, o gás gasta energia interna. Para que esta fique constante, o gás precisa absorver calor da vizinhança em quantidade igual ao trabalho realizado na expansão.

b) Expansão isotérmica $\rightarrow U$ constante $\rightarrow \Delta U = 0$

$$Q = \Delta U + W \rightarrow Q = 0 + W \rightarrow Q = W \rightarrow \mathbf{Q = 300 J}$$

A área hachurada, no gráfico, corresponde ao trabalho realizado na expansão. Uma vez que se trata de uma expansão, é trabalho realizado pelo gás, portanto, trabalho positivo. Consequentemente, o calor também é positivo, indicando, conforme explicado em (a) que o gás absorveu calor na expansão.

c) Sim, pois o produto pV é constante em uma transformação isotérmica, isto é, se o volume dobrar a pressão é dividida por 2, de modo que o produto pV permanece constante.

Considere que para um volume inicial V_0 , a pressão seja p_0 . Se na expansão, o volume passa a ser $V_1 = 2V_0 \rightarrow p_1 = \frac{p_0}{2}$, como será demonstrado a seguir. Para uma transformação isotérmica:

$$pV = \text{constante} \rightarrow p_0V_0 = p_1V_1 \rightarrow p_0V_0 = p_12V_0 \rightarrow \mathbf{p_1 = \frac{p_0}{2}}$$

2. Um sistema pode realizar trabalho e sua energia interna aumentar?

A resposta é afirmativa. Vejamos como justificar essa resposta com base na equação da primeira lei da termodinâmica:

Isolando o termo ΔU na equação da primeira lei temos: $\Delta U = Q - W$. Se a **energia interna aumenta**, então:

$$\Delta U > 0 \rightarrow Q - W > 0 \rightarrow \mathbf{Q > W}$$

Como interpretar $Q > W$?

Nessa inequação, W é positivo, pois o gás realiza trabalho sobre a vizinhança. Nesse caso gasta energia interna, nessa realização de trabalho. Para a energia interna do gás aumentar, é

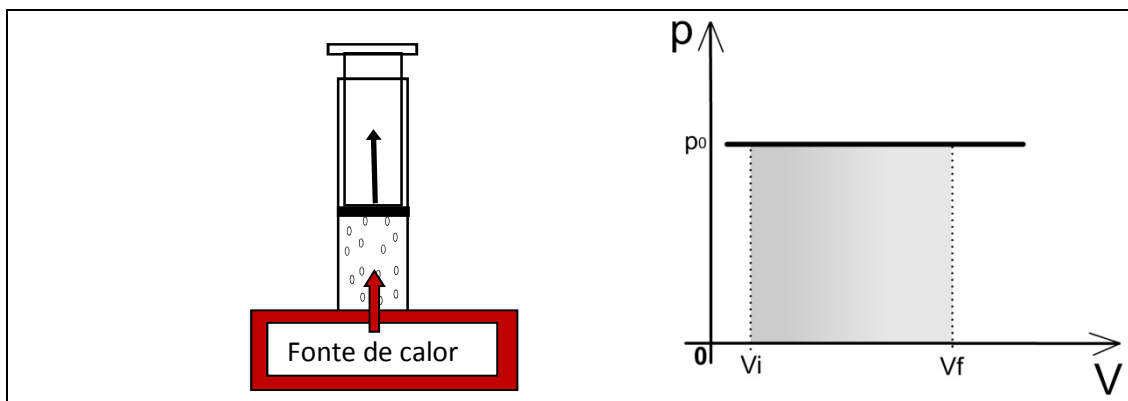
necessário que ele receba da vizinhança uma quantidade de calor maior que o trabalho realizado ($Q > W$ e ambos são positivos).

Um exemplo de transformação em que $Q > W$ é a **transformação isobárica**. Na transformação isobárica, a **pressão exercida pelo gás permanece constante**.

2.1 Um exemplo de transformação isobárica

A transformação isobárica de um gás também é produzida, geralmente, em condições controladas no laboratório.

Um gás é mantido dentro de um recipiente com uma tampa móvel, que pode se deslocar, livremente, com atrito desprezível. A base do recipiente está em contato com uma fonte de calor que se mantém a uma temperatura superior ao gás. Na medida em que essa fonte cede calor para o gás, este se expande e desloca o êmbolo para cima, com a pressão se mantendo constante e de mesmo valor que a atmosférica. O deslocamento do êmbolo para cima aumenta o volume ocupado pelo gás. Isso deveria implicar uma redução de pressão. Porém essa permanece constante, justamente, porque a temperatura do gás aumenta e, conseqüentemente, sua energia interna.



Essa manutenção do valor da pressão, apesar do aumento de volume, pode ser mais bem explicada se interpretarmos a **pressão em termos do comportamento das moléculas de um gás**. A pressão exercida por um gás nas paredes do recipiente, que o contém, resulta do grande número de colisões que as moléculas do gás realizam com essas paredes. Cada molécula que bate contra as paredes do recipiente exerce sobre ele uma força. Entretanto, o número de moléculas que constitui o gás é infinitamente grande, resultando em uma força média, exercida pelo gás sobre as paredes do recipiente. Essa força média, que resultará na pressão exercida pelo gás, depende, portanto, da energia cinética com que as moléculas atingem as paredes do recipiente e de quantas colisões acontecem em certo intervalo de tempo:

- **Quanto maior a energia cinética das moléculas, maior a força média exercida pelo gás e maior a pressão.**
- **Quanto maior o número de colisões das moléculas com as paredes, maior a força média exercida pelo gás e maior a pressão.**

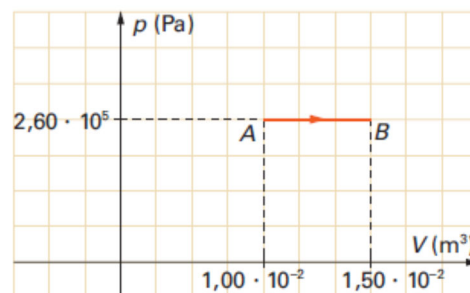
No caso da expansão isobárica, o aumento de volume não implica em redução da pressão, porque a energia interna do gás aumenta, ou seja, aumenta sua temperatura e, portanto, a energia cinética média das moléculas. Esse aumento na energia cinética média das moléculas compensa o aumento do volume do recipiente, mantendo constante a pressão. Por isso na expansão isobárica, a energia interna deve aumentar e conseqüentemente, o gás absorver uma

quantidade de calor maior do que o trabalho que realiza na expansão ($\Delta U > 0 \rightarrow Q > W$, e **ambos são positivos**).

Na compressão isobárica, ocorre o processo inverso. Uma diminuição no volume ocupado pelo gás deveria resultar em um aumento de pressão. Para que a pressão fique constante, a energia interna do gás deve diminuir, logo, o gás deve liberar para a vizinhança uma quantidade de calor maior que o trabalho realizado sobre ele, na compressão ($\Delta U < 0 \rightarrow Q - W < 0 \rightarrow Q < W$, e **ambos são negativos**).

Exemplo

O gráfico $p \times V$, ao lado, representa a expansão isobárica de um gás. Nessa transformação, a energia interna do gás aumenta em 1940 J. (Adaptado de Gaspar 2002)



- Por que o sistema, necessariamente, absorveu calor nessa transformação?
- Calcule o trabalho realizado pelo gás na expansão.
- Determine a quantidade de calor absorvida pelo gás nessa transformação.

Solução:

a) Trata-se de uma expansão isobárica. O volume do gás aumenta e sua pressão permanece constante. Para que isso aconteça, a energia cinética média das moléculas do gás deve aumentar e, portanto, sua energia interna. Se a energia interna aumenta, então $\Delta U > 0$. De acordo com a equação da 1ª Lei da Termodinâmica:

$$Q = \Delta U + W \rightarrow \Delta U = Q - W \rightarrow Q - W > 0 \rightarrow Q > W.$$

Uma vez que se trata de uma expansão: $W > 0 \rightarrow Q > 0$. Se o calor trocado com a vizinhança é maior que o trabalho e este é um número positivo, então o calor é positivo. O sistema, portanto, absorveu calor da vizinhança.

b) A pressão exercida pelo gás é constante. O trabalho pode ser calculado pela equação $W = p\Delta V$, que corresponde à área sob o segmento AB.

$$W = p\Delta V \rightarrow W = 2,60 \times 10^5 \frac{N}{m^2} \times (1,50 \times 10^{-2} - 1,00 \times 10^{-2})m^3 \rightarrow$$

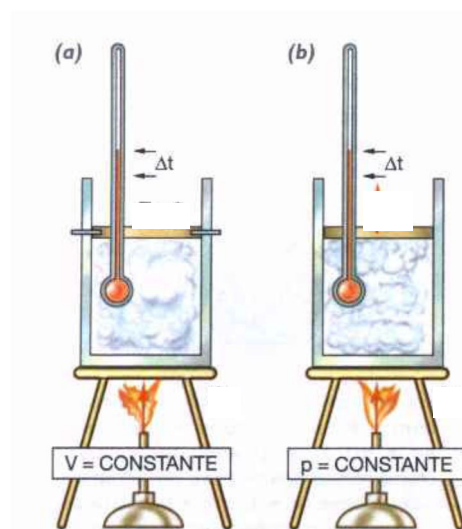
$$W = 2,60 \times 10^5 \times 0,50 \times 10^{-2} N \cdot m \rightarrow W = 1,30 \times 10^3 J.$$

$$c) Q = \Delta U + W \rightarrow Q = 1,94 \times 10^3 + 1,30 \times 10^3 \rightarrow Q = 3,24 \times 10^3 J$$

Portanto o calor absorvido é parcialmente transformado em trabalho realizado na expansão ($1,30 \times 10^3 J$) e o restante ($1,94 \times 10^3$) é distribuído entre as moléculas do gás para aumentar sua energia interna.

Uma questão desafio:

Duas amostras (a) e (b), de mesma massa e de um mesmo gás, sofrem respectivamente um aquecimento isovolumétrico (a) e uma expansão isobárica (b). Nas condições iniciais, as amostras têm a mesma temperatura e ocupam o mesmo volume. Sabemos que em ambas as transformações, a temperatura aumenta e, conseqüentemente, a energia interna aumenta também. Considere que essas duas transformações sejam realizadas de modo a proporcionar a mesma variação de temperatura. Compare os calores absorvidos nas transformações, indicando se há uma igualdade entre eles ou se um deles é maior. (Adaptado de Alvarenga e Máximo, 2006).



Resposta:

No aquecimento isovolumétrico (a): $Q_a = \Delta U_a + W_a$. Não há realização de trabalho, o volume do recipiente é constante, não há deslocamento de suas paredes: $Q_a = \Delta U_a + 0 \rightarrow Q_a = \Delta U_a$. Portanto, no aquecimento isovolumétrico, todo o calor absorvido é usado para aumentar a energia interna da amostra de gás de ΔU_a .

Na expansão isobárica (b): $Q_b = \Delta U_b + W_b$. Há realização de trabalho positivo pelo gás, pois se trata de uma expansão. Portanto, o calor absorvido na transformação, além de promover o aumento da energia interna do gás, é convertido também em trabalho realizado na expansão.

Se a variação de temperatura das amostras é a mesma então: $\Delta U_a = \Delta U_b$

Temos, portanto, que:

$$\left. \begin{array}{l} \Delta U_a = \Delta U_b \\ Q_a = \Delta U_a \\ Q_b = \Delta U_b + W_b \end{array} \right\} \rightarrow Q_b = Q_a + W_b \rightarrow Q_b > Q_a$$

Portanto, o calor absorvido na expansão isobárica é maior que no aquecimento isovolumétrico, embora a variação de temperatura para essas transformações seja a mesma.

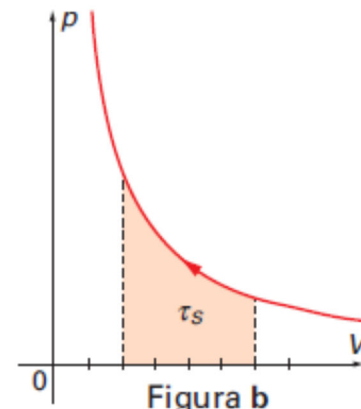
Exercícios

As respostas às questões a seguir devem ser justificada com cálculos e/ou comentários escritos.

1. O gráfico $p \times V$, ao lado, é uma isoterma representando uma transformação termodinâmica realizada por um gás. No processo, o gás troca com a vizinhança 300 J de calor.

a) Por que nesta transformação o gás, necessariamente, libera calor para a vizinhança?

b) Determine a área hachurada no gráfico e indique seu significado físico.

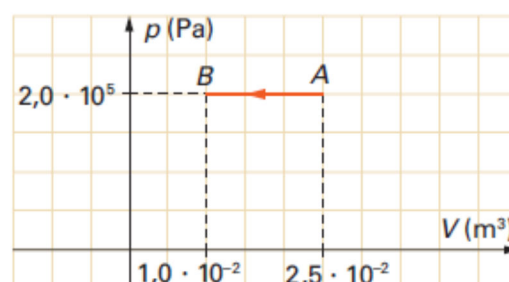


2. O gráfico $p \times V$ representa o trecho AB de uma transformação isobárica de um sistema termodinâmico constituído por uma amostra de gás. Durante a compressão, o gás libera para a vizinhança $7,60 \times 10^3 \text{ J}$.

a) Calcule o trabalho realizado sobre o gás na transformação AB.

b) Determine a variação de energia interna da amostra.

c) A temperatura do gás aumentou, diminuiu ou permaneceu a mesma, após essa transformação?

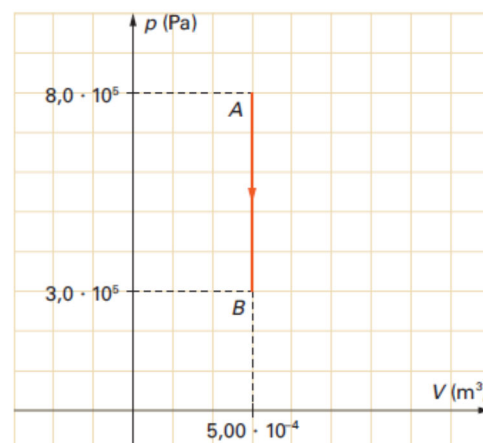


3. No gráfico $p \times V$, ao lado, está representada uma transformação isovolumétrica de uma amostra de gás. A energia interna da amostra diminui de 3000 J, após a transformação.

a) A amostra troca energia com a vizinhança na forma de trabalho?

b) Determine o calor que a amostra troca com a vizinhança, indicando se é calor cedido ou calor absorvido.

c) A temperatura do gás aumentou, diminuiu ou permaneceu a mesma, após essa transformação?

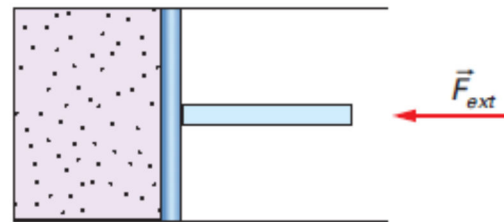


4. Considere situação experimental e a discussão sobre os calores absorvidos à pressão constante (Q_p) e à volume constante (Q_v) tratados na 'questão para pensar', na p. 5.

a) Com base na equação fundamental da calorimetria, escreva as equações que calculam, respectivamente os calores específicos à pressão constante (c_p) e à volume constante (c_v) das amostras de gás do experimento. Indique o significado de cada termo da equação.

b) O valor de c_p é maior, menor ou igual ao de c_v ?

5. No sistema da figura, um agente externo comprime um gás aprisionado em um cilindro por meio de um êmbolo de paredes adiabáticas. Das condições dadas a seguir, em qual delas é possível fazer com que esse sistema sofra uma transformação isotérmica?



a) Quando todas as paredes forem adiabáticas, isto é, com isolamento térmico praticamente perfeito.

b) Quando pelo menos uma parede permitir a troca de calor entre sistema e vizinhança.

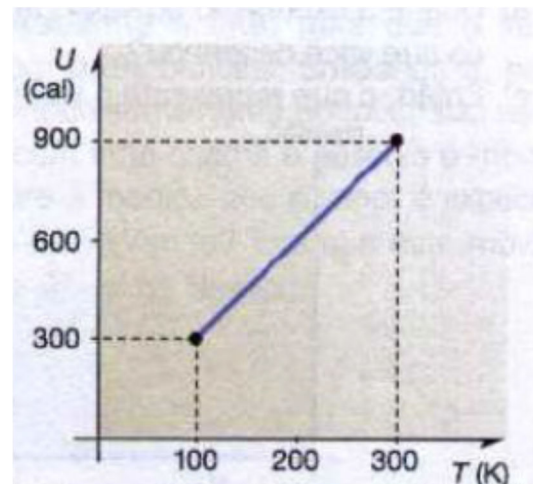
6. Uma massa de água de 200 kg, cai de uma altura de 300 m até atingir o repouso, dentro de um reservatório. Responda às questões seguintes, considerando que: 1 cal é igual a 4,2 J; o calor específico da água é $1 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$; a aceleração da gravidade é 10 m/s^2 .

a) Calcule o trabalho realizado pelas paredes laterais e pelo fundo do reservatório, de modo a levar toda essa massa de água ao repouso. Despreze as forças dissipativas durante a queda e considere adiabático o processo de acomodação da água no poço, até ela atingir o repouso. Justifique seu raciocínio explicando todas as etapas de conversão de energia desde a altura de 300 m até a água atingir o repouso no reservatório.

b) Determine a elevação de temperatura provocada pelo trabalho realizado sobre a massa de água. Justifique seu raciocínio seria maior, menor ou igual à quantidade de calor trocada na transformação considerando, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, os processos que podem elevar a energia interna de um sistema.

7. a) O gráfico deste problema mostra como a energia interna de 4g de gás hélio, mantido a volume constante, varia com sua temperatura absoluta. Calcule o calor específico, em $\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$, a volume constante, desse gás. Justifique sua resposta com base na primeira lei da termodinâmica.

Considere que essa amostra de gás hélio sofra uma expansão isobárica, que promova nela a mesma variação de temperatura, de 100 K para 300 K.



b) Ela absorveria ou cederia calor para a vizinhança?

c) A variação de energia interna seria maior, menor ou igual à variação mostrada no gráfico ao lado?

d) A quantidade de calor trocada com a vizinhança isovolumétrica?

8. Uma amostra de gás sofre uma transformação termodinâmica na qual ela pode trocar calor Q e/ou trabalho W com a vizinhança. Indique as afirmativas corretas e as erradas, com base na Primeira Lei da Termodinâmica.

a) $Q = W$, se a transformação for isotérmica.

b) $Q = \Delta U$, se a transformação for isovolumétrica.

c) $\Delta U = 0$, se a transformação for adiabática.

d) $Q > W$ se a transformação for uma expansão isobárica.

e) $Q = 0$ se a transformação for isotérmica.

9. Um gás se expande rapidamente, empurrando a tampa do cilindro que o contém. Indique as afirmativas corretas e as erradas, com base na Primeira Lei da Termodinâmica.

a) O calor que o gás troca com a vizinhança é desprezível.

b) A expansão é praticamente adiabática.

c) A temperatura do gás permanece constante.

d) A pressão do gás diminui enquanto seu volume aumenta.

e) A pressão (p) e o volume (V) variam de tal modo que o $pV = \text{constante}$.

10. Sobre uma expansão adiabática, são feitas as seguintes afirmações. Indique as afirmativas corretas e as erradas, com base na Primeira Lei da Termodinâmica.

a) O trabalho realizado pelo gás foi positivo.

b) A energia interna do gás não variou.

c) O gás realiza trabalho usando parte de sua energia interna.

d) A energia interna diminui de uma quantidade igual ao trabalho realizado pelo gás.

e) O trabalho realizado pelo gás é igual à quantidade de calor que ele absorve.

11. É correto afirmar que:

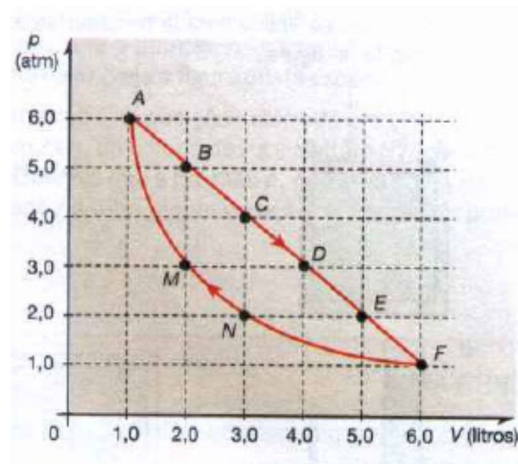
a) sempre que um gás recebe calor, sua temperatura sofre um acréscimo?

b) se um gás recebe calor e sua energia interna não varia, seu volume aumenta obrigatoriamente?

12. Certa amostra de gás passa de um estado A a um estado F por uma transformação termodinâmica ABCDEF e retorna à condição inicial por uma transformação FNMA, conforme figura ao lado. É correto afirmar que:

a) Na compressão FNMA o sistema libera calor, mas sua temperatura permanece constante?

b) A temperatura do gás em B é menor que a temperatura do gás em M?



Respostas dos exercícios

1. b) A área hachurada no gráfico corresponde ao valor do trabalho realizado sobre o sistema, durante a compressão. Se valor é igual

ao calor liberado para a vizinhança: 300 J.

2. a) $-3,00 \times 10^3 \text{ J}$.

b) $-4,60 \times 10^3 \text{ J}$.

c) A temperatura do gás diminuiu.

3. a) Não.

b) A amostra libera 3000 J de calor.

c) A temperatura do gás diminuiu.

4. a) $c_p = \frac{Q_p}{m \cdot \Delta t}$; $c_V = \frac{Q_V}{m \cdot \Delta t}$.

b) $c_p > c_V$.

5. a) Impossível.

b) Possível.

6. a) $-6,0 \times 10^5 \text{ J}$.

b) $0,71^\circ\text{C}$.

7. a) $0,75 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}$.

b) Absorveria calor.

c) Igual.

d) Maior.

8. a) Correta.

b) Correta.

c) Errada.

d) Correta.

e) Errada.

9. a) Correta.

b) Correta.

c) Errada.

d) Correta.

e) Errada.

10. a) Correta.

b) Errada.

c) Correta.

d) Correta.

e) Errada.

11. a) Incorreto.

b) Correto.

12) a) Correto.

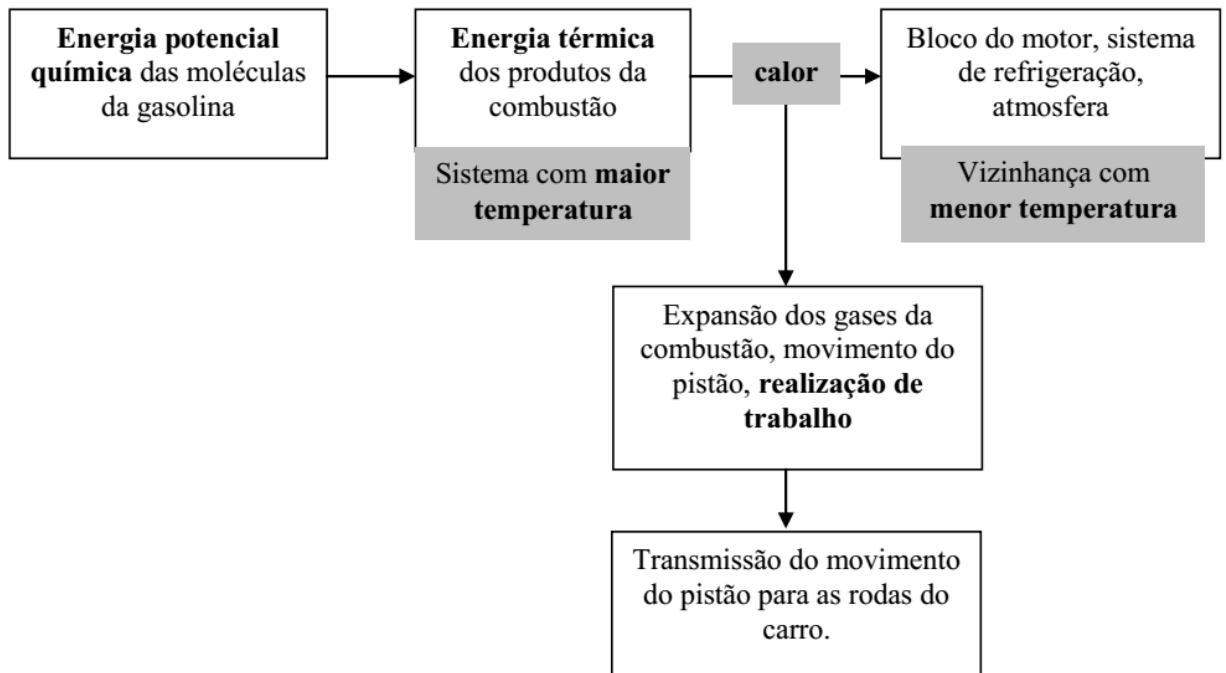
b) Incorreto.

As questões 1, 2, 3, e 5 foram compiladas e adaptadas de Gaspar (2002), enquanto as restantes de Alvarenga e Máximo (2006).

Texto 8: Rendimento do motor de combustão interna: os limites da 2ª lei da termodinâmica.

1. INTRODUÇÃO

Vamos voltar a figura do texto 2 que apresentava as transformações de energia no motor de combustão interna. Releia cada um dos quadros.

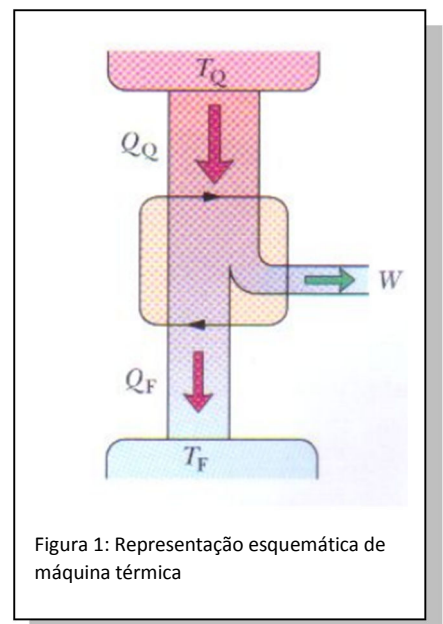


Podemos redesenhar o diagrama acima, de uma forma mais simples como representado na figura 1. Nela temos algumas partes que estão detalhadas a seguir.

Fonte quente: Também denominado Reservatório Quente - Em nosso estudo do motor do carro, quem faz o papel da fonte quente são os gases aquecidos resultantes da combustão. A fonte quente encontra-se a temperatura T_Q .

Máquina térmica: é todo sistema que transforma calor em trabalho. Pode ser o motor de um carro, um reator nuclear de uma usina, o gerador de uma usina termelétrica, etc.

Fonte Fria: Também denominado Reservatório Frio - Em nosso estudo do motor do carro, quem faz o papel da fonte fria são todas as peças do motor, incluindo seu sistema de refrigeração. Em uma usina termelétrica ou nuclear utiliza-se a água do rio, lago ou mar como substância refrigerante e o ambiente é a fonte fria. A fonte fria encontra-se a temperatura T_F .



Uma energia Q_Q é transferida em forma de calor da fonte quente a uma temperatura T_Q para a substância de trabalho. Uma energia Q_F é transferida na forma de calor da substância de

trabalho para a fonte fria à temperatura T_F . Um trabalho W é realizado pela máquina térmica (na realidade pela substância de trabalho) sobre o ambiente.

Observe na figura 1 que a largura dos "ramos" por onde passam Q_Q , Q_F e W , estão relacionados aos valores dessas grandezas, isto é, $Q_Q = W + Q_F$ (Conservação da energia). Essa representação nos faz pensar sobre uma transformação na qual a máquina térmica possa transformar TODA energia recebida da fonte quente em trabalho, isto é, uma máquina que tivesse rendimento de 100%. Isso seria desejável, mas seria possível?

Para responder a essa pergunta, discutiremos algumas situações sob dois aspectos:

- A situação viola o Princípio de Conservação da Energia?
- A situação pode efetivamente acontecer?

2. UM PROBLEMA COM A CONSERVAÇÃO DA ENERGIA



Abaixo são descritas algumas situações que envolvem objetos que estão isolados da vizinhança. Para cada situação diga se o que ocorre viola (V) ou não (NV) o princípio de conservação da energia e se a situação é possível (P) ou não (NP) de acontecer.

- **SITUAÇÃO 01:** Um bloco de alumínio a 80°C é mergulhado na água que se encontra a 10°C . Após um determinado tempo o bloco e a água estão a 15°C . (V) (NV) (P) (NP)
- **SITUAÇÃO 02:** Um bloco de alumínio encontra-se em equilíbrio térmico com a água, ambos a 15°C . Após um determinado tempo o bloco de alumínio está a 80°C e a água está a 10°C . (V) (NV) (P) (NP)
- **SITUAÇÃO 03:** Uma caixa de sapato possui uma parede interna que a divide em duas partes iguais. Há uma pequena abertura nessa parede divisória que permite a passagem de um grão de feijão. De cada lado da caixa colocam-se 2 grãos de feijão, um preto e outro branco. A caixa é balançada por algum tempo e em seguida aberta. Verifica-se que de um lado da caixa tem 2 feijões pretos e do outro 2 feijões brancos. (V) (NV) (P) (NP)
- **SITUAÇÃO 04:** Uma caixa de sapato possui uma parede interna que a divide em duas partes iguais. Há uma pequena abertura nessa parede divisória que permite a passagem de um grão de feijão. De cada lado da caixa colocam-se 2000 grãos de feijão, 1000 pretos e 1000 brancos. A caixa é balançada por algum tempo e em seguida aberta. Verifica-se que de um lado da caixa tem apenas feijões pretos e do outro apenas feijões brancos. (V) (NV) (P) (NP)
 - A situação 01 é possível e não viola o princípio de conservação da energia. Aliás este foi o procedimento utilizado por nós para determinarmos o valor do calor específico de um metal e o que a situação 01 descreve é o funcionamento de um calorímetro. Um objeto de maior temperatura cede energia (calor) para um objeto de menor temperatura, até que ambos fiquem em equilíbrio térmico.
 - A situação 02 não viola o princípio de conservação da energia. Observe que um objeto cede energia para outro, a energia térmica de um objeto aumenta e a do outro diminui. Nada contra a conservação da energia, mas ... isso acontece? É possível? Não. É necessário algo a mais.... A 1ª Lei da Termodinâmica - que nada mais é que a conservação da energia aplicada, especialmente, às transformações gasosas - não é suficiente para nos mostrar quais fenômenos podem acontecer ou não. O fato de uma situação não violar a Conservação da Energia não é garantia para que ele aconteça.

- A situação 03 não é difícil de ser reproduzida e, dadas as condições iniciais temos poucas possibilidades de "estados" ao abrir a caixa, na verdade oito novas situações possíveis (você consegue dizer quais são essas 8 possibilidades?)
- Quanto a situação 04 ela não viola a conservação da energia, mas é muito estranha. Por mais tempo que ficássemos balançando a caixa, por mais vezes que a abrissemos, não teríamos muita esperança de encontrar 2.000 feijões pretos de um lado e outros 2.000 feijões brancos de outro. A situação não viola a Lei da Conservação da Energia, existe uma probabilidade matemática muito pequena e por isso dizemos que ela simplesmente não acontece. Mostraremos que as situações 02 e 04 estão relacionadas, mas o que importa agora é você perceber que necessitamos de algo a mais, além da Conservação da Energia (1ª Lei da Termodinâmica) para explicar por que certos fenômenos ocorrem e outros não. Precisamos conhecer a 2ª LEI DA TERMODINÂMICA.

3. A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA

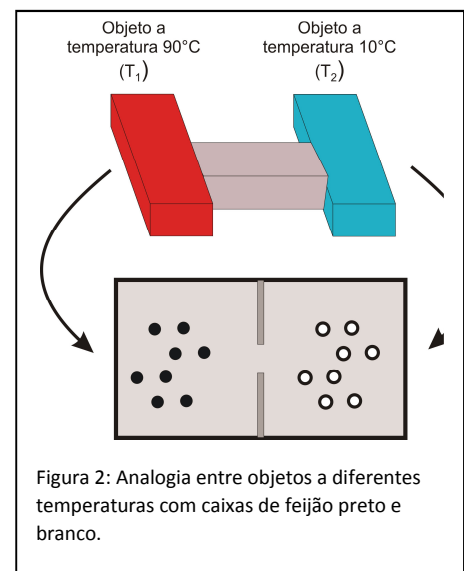
Vamos explorar com um pouco mais de detalhes a situação 01 na qual 2 objetos isolados e de diferentes temperaturas, após algum tempo de contato, alcançam o equilíbrio térmico. Para isso vamos fazer uma analogia utilizando também a caixa de sapatos com os feijões.

O objeto de temperatura mais alta (90°C) é representado na caixa de sapato pelos feijões pretos, isto é, eles representam as moléculas com maior energia de vibração. Já o objeto de menor temperatura é representado pelos feijões brancos - menor energia de vibração.

Quando os objetos são colocados em contato, o calor flui, NATURALMENTE, do objeto de maior temperatura para o objeto de menor temperatura e, ao final do processo, o valor da energia de vibração (média) das moléculas dos dois objetos é igual - equilíbrio térmico.

Em nosso modelo da caixa de sapato isso equivale a sacudirmos as caixas por um tempo e depois, ao abri-la, encontrarmos, do lado esquerdo e do lado direito, um número igual de feijões brancos e pretos (Figura 2). Mas isso somente será verdadeiro se houver um grande número de feijões. Se tivermos a relação de um átomo para cada feijão, então nosso modelo faz sentido.

Dizemos que ambos processos descritos acima, o calor fluindo do objeto de maior temperatura para o objeto de menor temperatura e os feijões se misturando de forma homogênea, são fenômenos **IRREVERSÍVEIS**. Por mais que esperássemos as colisões entre as partículas que compõem os 3 objetos mostrados na figura 2 (o de temperatura T_1 , o de temperatura T_2 e o de ligação), a probabilidade de que após inúmeras colisões as partículas de um corpo estivessem todas com enorme energia de vibração enquanto que as partículas do outro corpo estivessem baixa energia de vibração é praticamente ZERO! Seria o mesmo que jogar todas as peças de um quebra-cabeças dentro de uma caixa, sacudir, sacudir, e, ao abrir a caixa, o quebra-cabeças estivesse montado. Existe a probabilidade matemática, mas o evento simplesmente não acontece. A natureza escolhe uma ordem para os acontecimentos.



A 2ª Lei da termodinâmica estabelece um sentido obrigatório para o calor, **espontaneamente**, se propagar. Observe que esse sentido obrigatório é consequência da enorme quantidade de partículas que compõem os objetos. O tópico da Física que trabalha com esses conceitos, considerando o grande número de objetos envolvidos, é denominado Mecânica Estatística, e foi desenvolvida inicialmente por 2 cientistas, Boltzmann e Gibbs. Existem várias formas de enunciar a 2ª Lei e uma delas é:

2ª Lei da Termodinâmica
O calor flui, naturalmente, de uma fonte quente para uma fonte fria

4. A 2ª LEI DA TERMODINÂMICA E AS MÁQUINAS TÉRMICAS

Ao representarmos uma máquina térmica por meio da figura 1, perguntamos se uma máquina térmica, ao longo de um ciclo, pode converter integralmente o calor recebido da fonte quente Q_1 (ou Q_Q) em W (figura 3) . Veremos que, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, é impossível que isso aconteça.

Mas para mostrar essa impossibilidade, precisamos retomar a figura 1, modificada para representar o fluxo de calor e trabalho de um refrigerador (figura 4). Nessa figura, calor é retirado da fonte fria, por meio de realização de trabalho e rejeitado para uma fonte quente. Veja que não é um processo espontâneo. É preciso realização de trabalho sobre o sistema e o calor Q_Q , rejeitado para a fonte quente é calculador por: $Q_Q = Q_F + W$.

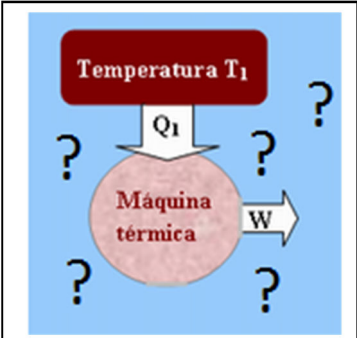


Figura 3: Uma máquina térmica pode converter integralmente calor em trabalho?

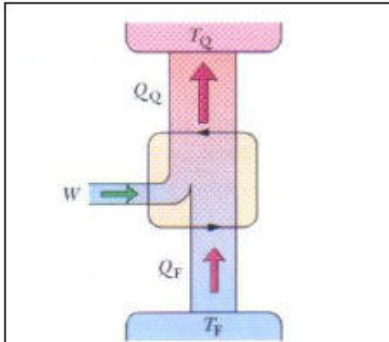


Fig. 4: Diagrama de um refrigerador

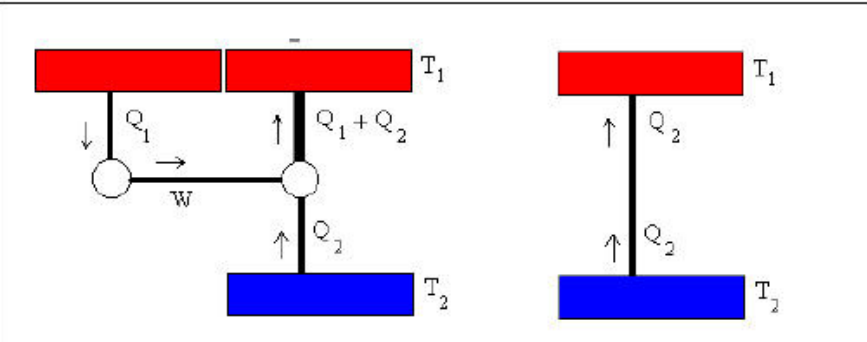


Fig. 5: Diagrama de uma máquina com rendimento 100% ligada a um refrigerador. A consequência disso seria a transferência de calor, naturalmente, da fonte fria para a quente.

A máquina térmica representada na figura 3 é a nossa pretensa máquina de rendimento 100%, que sabemos de antemão, contraria a Segunda Lei da Termodinâmica. A figura 5 mostra essa máquina térmica, de rendimento, 100% ligada a um refrigerador. Qual seria o efeito dessa combinação de dispositivos? Calor fluindo espontaneamente de uma fonte fria para uma fonte quente, uma vez que o trabalho que faz funcionar o refrigerador é alimentado pela própria fonte quente que recebe, sem dispêndio adicional de energia o calor que sai da fonte fria.

A máquina de rendimento 100% leva a uma situação que contradiz o enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, segundo a qual o calor não pode fluir espontaneamente de uma

fonte fria para uma fonte quente. Decorre daí um segundo enunciado para a Segunda Lei da Termodinâmica:

É impossível para uma máquina térmica, operando em ciclos, converter integralmente calor em trabalho.

Máquinas térmicas como o motor de carro, os motores de um avião a jato, os reatores nucleares e os geradores em uma usina termelétrica são máquinas que operam de modo a, após realizar um ciclo, retornarem às condições iniciais (Lembram-se do ciclo Otto?)

A 2ª Lei da Termodinâmica não permite que - em uma máquina que opera em ciclos - todo calor retirado da fonte quente seja convertido em trabalho; parte deve ser rejeitada para uma fonte fria. E mais, ela também impõe um limite teórico para o rendimento dessa máquina. Não é uma questão de reduzir o atrito entre as peças, utilizar novos materiais, tudo isso pode ser feito, mas mesmo assim existirá um limite teórico, menor do 100%, para o rendimento máximo que essa máquina pode alcançar.

O rendimento é uma grandeza que mede a eficiência com que uma máquina térmica converte calor em trabalho. Ele é definido como a fração do calor recebido da fonte a alta temperatura que é efetivamente transformada em trabalho. O rendimento pode ser assim expresso:

$$\text{Rendimento} = R = \frac{W_{\text{do sistema}}}{Q_{\text{quente}}}$$

onde $W_{\text{do sistema}}$ é o trabalho realizado em cada ciclo pela máquina e Q_{quente} é a quantidade de calor que a máquina recebe da fonte mais quente em cada ciclo. Substituindo W do sistema por $Q_{\text{quente}} - Q_{\text{fria}}$, obteremos:

$$\text{Rendimento máximo} = R_{\text{max.}} = \frac{Q_{\text{quente}} - Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}} = 1 - \frac{Q_{\text{fria}}}{Q_{\text{quente}}}$$

Como Q_{fria} nunca é igual a zero, o rendimento de qualquer dispositivo que transforma calor em trabalho é sempre menor que 1. Foi o físico Sadi Carnot que ao estudar as máquinas a vapor em sua época mostrou que o rendimento máximo depende apenas das temperaturas absolutas T_Q e T_F da fonte quente e fria, respectivamente.

$$\text{Rendimento máximo} = R_{\text{max.}} = \frac{T_{\text{quente}} - T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}} = 1 - \frac{T_{\text{fria}}}{T_{\text{quente}}}$$

Isso significa que, quando um reservatório quente estiver a 400K (127°C) e o reservatório frio estiver 300K (27°C), o rendimento máximo dessa máquina será de $R_{\text{max.}} = (400K - 300K)/400K = 1/4$ ou 25%.

Quanto maior T_{quente} em relação a T_{frio} , ou seja, quanto maior é o desnível de temperatura, tanto maior é o rendimento máximo. Portanto, se se quer dissipar pouco calor, é necessário que a máquina funcione entre uma temperatura muito alta e uma muito baixa.

5. ORDEM E DESORDEM²⁸

O segundo princípio da Termodinâmica impõe limitações muito severas às transformações de calor em trabalho. No entanto, nada nos impede de transformar trabalho em calor com uma eficiência de 100%.

Concluimos que o trabalho mecânico e o calor são duas formas diferentes de energia em trânsito, mas podemos considerar que o trabalho é uma forma "superior", que se utiliza como se deseje, ao passo que o calor é uma energia de qualidade "inferior". Para poder utilizar o calor, somos torçados a convertê-lo em trabalho, com um desperdício que é inevitável. É como se estivéssemos trocando uma moeda "fraca" por outra "forte": ao fazê-lo, sempre acabamos perdendo algum dinheiro.

Tudo isso pode ser interpretado em termos de ordem e desordem. O calor não é senão a transferência da agitação das moléculas de um corpo para as de outro. Aquecer um corpo equivale, portanto, a aumentar sua energia interna, cedendo energia cinética desordenada a um enorme número de corpos microscópicos. Essa energia cinética é bem diferente, por exemplo, da energia de uma pedra que cai sobre uma mola e a comprime: nesse caso, a energia pode ser completamente transformada em trabalho.

O aquecimento de um corpo é um processo desordenado, em que a transferência de energia resulta em inúmeros choques caóticos que ocorrem entre as moléculas. Já a queda de uma pedra sobre uma mola é um fenômeno que envolve apenas 2 corpos e transcorre de modo ordenado: a pedra perde sua própria energia cinética realizando um trabalho sobre a mola, que adquire, assim, energia elástica. É bem compreensível, então, que os processos ordenados sejam de maior interesse prático do que os processos desordenados.

O segundo princípio da Termodinâmica exprime, portanto, a impossibilidade prática de ocorrer um processo durante o qual a energia interna desordenada seja convertida integralmente em energia ordenada. O processo inverso, porém não só é possível, como de fato acontece habitualmente.

Existe, portanto, na natureza, uma assimetria que favorece a transformação de energia ordenada em energia desordenada e impede que o processo inverso se realize espontaneamente.

Essa "preferência" da natureza permite estabelecer uma gradação entre as diferentes formas de energia.

Em geral, uma forma de energia é tanto mais proveitosa quanto mais se preste a ser convertida em outras formas. É isso o que torna valiosas a energia mecânica (potencial e cinética) e a energia elétrica. A energia interna, porém, é muito menos proveitosa, sobretudo quando o sistema apresenta baixa temperatura. Basta pensar, por exemplo, na inutilidade prática da enorme energia interna armazenada na água do mar, já que sua temperatura é baixa em relação à de outros corpos aos quais poderia ceder calor.

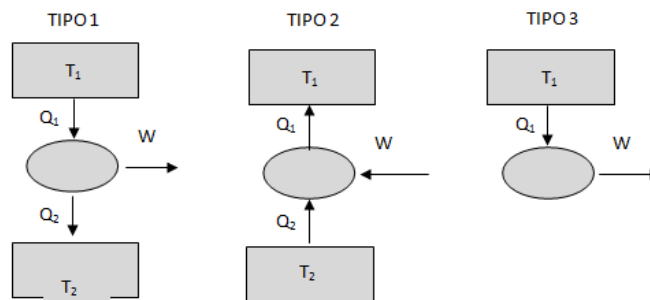
Para concluir, podemos interpretar o segundo princípio da Termodinâmica como uma seta que orienta a evolução dos fenômenos no decorrer do tempo: a tendência natural favorece as transformações que resultam em formas de energia cada vez menos ordenadas. Enquanto o primeiro princípio da Termodinâmica afirma que, em qualquer processo, a

²⁸ AMALDI, Ugo. *Imagens da física*. São Paulo: Scipione, 1997. p. 201-202

quantidade total de energia permanece sempre igual, o segundo princípio estabelece que a *qualidade* dessa energia piora cada vez mais.

Exercícios

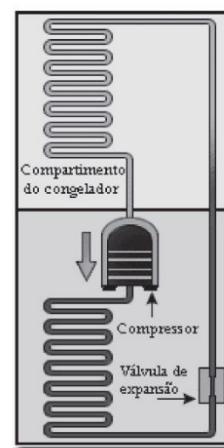
- Os modelos a seguir representam tipos diferentes de máquinas térmicas, onde T_1 e T_2 representam, respectivamente, as temperaturas da fonte quente e fonte fria. As quantidades de calor transferidas entre as fontes e as máquinas são Q_1 e Q_2 e W é o trabalho.



Analisando os modelos, pode-se perceber que o esquema

- 1 apresenta organização referente a um refrigerador, onde o calor é retirado da fonte quente e enviado para a fonte fria.
- 1 representa uma máquina que é possível existir, onde o trabalho pode ser determinado por $W = Q_1 - Q_2$.
- 2 apresenta uma máquina térmica, onde o sentido do trabalho realizado está representado de forma incorreta.
- 2 representa uma máquina térmica que é possível existir, onde o trabalho pode ser determinado por $W = Q_1 + Q_2$.
- 3 representa uma máquina térmica que é possível existir, onde calor retirado da fonte quente é integralmente convertido em trabalho. que converte, integralmente, todo o calor recebido em trabalho.

2. (Enem 2009) A invenção da geladeira proporcionou uma revolução no aproveitamento dos alimentos, ao permitir que fossem armazenados e transportados por longos períodos. A figura apresentada ilustra o processo cíclico de funcionamento de uma geladeira, em que um gás no interior de uma tubulação é forçado a circular entre o congelador e a parte externa da geladeira. É por meio dos processos de compressão, que ocorre na parte externa, e de expansão, que ocorre na parte interna, que o gás proporciona a troca de calor entre o interior e o exterior da geladeira.



Disponível em <http://home.howstuffworks.com>. Acesso em: 19 out. 2008 (adaptada).

Nos processos de transformação de energia envolvidos no funcionamento da geladeira,

- A) a expansão do gás é um processo que cede a energia necessária ao resfriamento da parte interna da geladeira.
- B) o calor flui de forma não-espontânea da parte mais fria, no interior, para o mais quente, no exterior da geladeira.
- C) a quantidade de calor cedida ao meio externo é igual ao calor retirado da geladeira.
- D) a eficiência é tanto maior quanto menos isolado termicamente do ambiente externo for o seu compartimento interno.
- E) e) a energia retirada do interior pode ser devolvida à geladeira abrindo-se a sua porta, o que reduz seu consumo de energia.

3. (Enem 2009) O manual de instruções de um aparelho de ar-condicionado apresenta a seguinte tabela, com dados técnicos para diversos modelos:

Capacidade de refrigeração kW/(BTU/h)	Potência (W)	Corrente elétrica - ciclo frio (A)	Eficiência energética COP (W/W)	Vazão de ar (m ³ /h)	Frequência (Hz)
3,52/(12.000)	1.193	5,8	2,95	550	60
5,42/(18.000)	1.790	8,7	2,95	800	60
5,42/(18.000)	1.790	8,7	2,95	800	60
6,45/(22.000)	2.188	10,2	2,95	960	60
6,45/(22.000)	2.188	10,2	2,95	960	60

Considere-se que um auditório possua capacidade para 40 pessoas, cada uma produzindo uma quantidade média de calor, e que praticamente todo o calor que flui para fora do auditório o faz por meio dos aparelhos de ar-condicionado.

Nessa situação, entre as informações listadas, aquelas essenciais para se determinar quantos e/ou quais aparelhos de ar-condicionado são precisos para manter, com lotação máxima, a temperatura interna do auditório agradável e constante, bem como determinar a espessura da fiação do circuito elétrico para a ligação desses aparelhos, são

- A) vazão de ar e potência.
- B) vazão de ar e corrente elétrica - ciclo frio.
- C) eficiência energética e potência.

- D) capacidade de refrigeração e frequência.
- E) capacidade de refrigeração e corrente elétrica – ciclo frio.

4. (Enem – 2012 - modificada) Aumentar a eficiência na queima de combustível dos motores a combustão e reduzir suas emissões de poluentes é a meta de qualquer fabricante de motores. É também o foco de uma pesquisa brasileira que envolve experimentos com plasma, o quarto estado da matéria e que está presente no processo de ignição. A interação da faísca emitida pela vela de ignição com as moléculas de combustível gera o plasma que provoca a explosão liberadora de energia que, por sua vez, faz o motor funcionar.

Disponível em: www.inovacaotecnologica.com.br. Acesso em: 22 jul 2010 (adaptado).

No entanto, a busca da eficiência referenciada no texto apresenta como fator limitante

- A) o tipo de combustível, fóssil, que utilizam. Sendo um insumo não renovável, em algum momento estará esgotado.
 - B) um dos princípios da termodinâmica, segundo o qual o rendimento de uma máquina térmica, mesmo a ideal, nunca atinge o ideal 100%.
 - C) o funcionamento cíclico de todos os motores. A repetição contínua dos movimentos exige que parte da energia seja transferida ao próximo ciclo.
 - D) as forças de atrito inevitável entre as peças. Tais forças provocam desgastes contínuos que com o tempo levam qualquer material à fadiga e ruptura.
 - E) a temperatura em que eles trabalham. Para atingir o plasma, é necessária uma temperatura maior que a de fusão do aço com que se fazem os motores.
5. (FCMMG 2008) - Os motores dos automóveis são considerados máquinas térmicas e possuem três elementos: uma fonte quente, uma fonte fria e a própria máquina térmica.

Num motor, pode-se afirmar que:

- A) é realizado trabalho sobre a máquina térmica, cedendo calor para as duas fontes.
 - B) a máquina térmica realiza trabalho, absorvendo calor das fontes quentes e frias.
 - C) a máquina absorve calor da fonte quente, realiza trabalho e cede calor para a fonte fria.
 - D) é realizado trabalho sobre a máquina térmica, cedendo calor apenas para a fonte fria.
6. (FCMMG 2015) - Um pesquisador de uma empresa de motores construiu uma máquina térmica que realiza um trabalho de $24 \times 10^6 \text{ J}$, trabalhando entre uma fonte quente a 300K, extraíndo $20 \times 10^6 \text{ cal}$ dela e rejeitando $12 \times 10^6 \text{ cal}$ para a fonte fria a 240K. (Considere que $1 \text{ cal} = 4 \text{ J}$).
- Entregando o projeto para o supervisor da empresa, este fez algumas verificações nos dados fornecidos da nova máquina e constatou que:
- A) seu rendimento era superior a 50%.
 - B) seu rendimento de Carnot era inferior a 10%.
 - C) ela era incompatível com a 2ª Lei da Termodinâmica, pois seu rendimento era superior ao da máquina de Carnot.
 - D) ela estava de acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, pois o trabalho realizado era maior que o calor cedido à fonte fria.
7. (UFMG - 2000) As máquinas térmicas funcionam em ciclos. Em cada ciclo, elas absorvem calor de uma fonte quente, produzem trabalho e cedem calor a uma fonte fria.

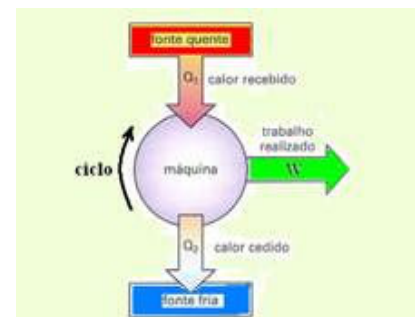
Uma indústria precisa adquirir uma máquina que opere com a fonte quente a 600 K e com a fonte fria a 300 K. Foram-lhe apresentadas três propostas, resumidas abaixo, de máquinas com características básicas diferentes.

Para cada proposta, **explique** se o funcionamento da máquina descrita é compatível com as leis da Física. Em caso afirmativo, **calcule** a eficiência da máquina.

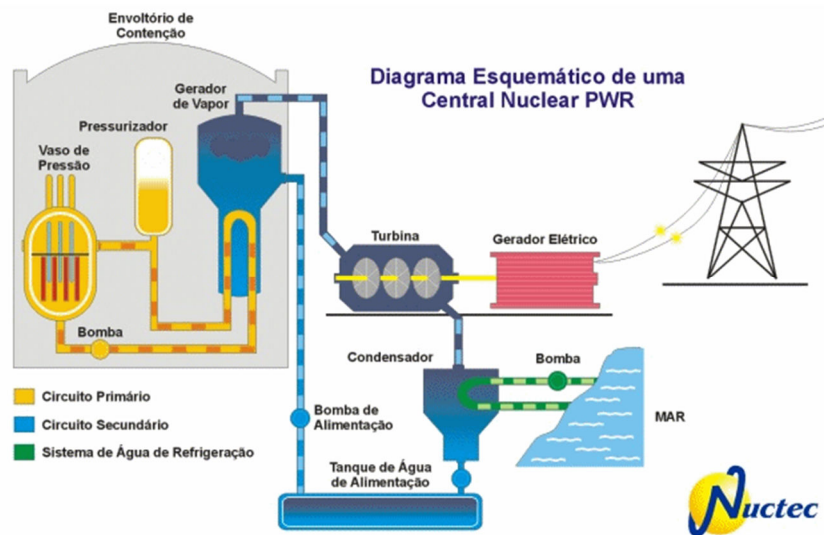
1. Proposta I: Em cada ciclo, a máquina retira 400 J da fonte quente, realiza 200 J de trabalho e cede 250 J para a fonte fria.
 2. Proposta II: Em cada ciclo, a máquina retira 400 J da fonte quente e realiza essa mesma quantidade de trabalho.
 3. Proposta III: Em cada ciclo, a máquina retira 400 J da fonte quente, realiza 100 J de trabalho e cede 300 J para a fonte fria.
8. Uma máquina térmica de Carnot recebe de uma fonte quente 1000 cal por ciclo. Sendo as temperaturas das fontes quente e fria, respectivamente, 127 °C e 427 °C, determinar
- A) o rendimento da máquina
 - B) o trabalho, em joules, realizado pela máquina em cada ciclo
 - C) a quantidade de calor, em joules, rejeitada para a fonte fria
- Usar como equivalência 1 cal = 4,2 J
9. (FGV-SP) Sendo 27°C a temperatura da água do mar na superfície e de 2°C em águas profundas, qual seria o rendimento teórico de uma máquina térmica que aproveitasse a energia correspondente?
10. (UFF-RJ) O esquema a seguir representa o ciclo de operação de determinada máquina térmica cujo combustível é um gás.

Quando em funcionamento, a cada ciclo o gás absorve calor (Q_1) de uma fonte quente, realiza trabalho mecânico (W) e libera calor (Q_2) para uma fonte fria, sendo a eficiência da máquina medida pelo quociente entre W e Q_1 . Uma dessas máquinas, que, a cada ciclo, realiza um trabalho de $3,0 \cdot 10^4$ J com uma eficiência de 60%, foi adquirida por certa indústria. Em relação a essa máquina, conclui-se que os valores de Q_1 , de Q_2 e da variação da energia interna do gás são, respectivamente:

- a) $1,8 \cdot 10^4$ J ; $5,0 \cdot 10^4$ J ; $3,2 \cdot 10^4$ J
- b) $3,0 \cdot 10^4$ J ; zero ; zero
- c) $3,0 \cdot 10^4$ J ; zero ; $3,0 \cdot 10^4$ J
- d) $5,0 \cdot 10^4$ J ; $2,0 \cdot 10^4$ J ; zero
- e) $5,0 \cdot 10^4$ J ; $2,0 \cdot 10^4$ J ; $3,0 \cdot 10^4$ J



11. (UEL-PR) O reator utilizado na Usina Nuclear de Angra dos Reis – Angra II – é do tipo PWR (Pressurized Water Reactor). O sistema PWR é constituído de três circuitos: o primário, o secundário e o de água de refrigeração. No primeiro, a água é forçada a passar pelo núcleo do reator a pressões elevadas, 135 atm, e à temperatura de 320°C. Devido à alta pressão, a água não entra em ebulição e, ao sair do núcleo do reator, passa por um segundo estágio, constituído por um sistema de troca de calor, onde se produz vapor de água que vai acionar a turbina que transfere movimento ao gerador de eletricidade. Na figura estão indicados os vários circuitos do sistema PWR.



Considerando as trocas de calor que ocorrem em uma usina nuclear como Angra II, é correto afirmar:

- A) O calor removido do núcleo do reator é utilizado integralmente para produzir trabalho na turbina.
- B) O calor do sistema de refrigeração é transferido ao núcleo do reator através do trabalho realizado pela turbina.
- C) Todo o calor fornecido pelo núcleo do reator é transformado em trabalho na turbina e, por isso, o reator nuclear tem eficiência total.
- D) O calor do sistema de refrigeração é transferido na forma de calor ao núcleo do reator e na forma de trabalho à turbina.
- E) Uma parte do calor fornecido pelo núcleo do reator realiza trabalho na turbina, e outra parte é cedida ao sistema de refrigeração.

Obs. questão 8 disponível em: < <http://www.mscabral.pro.br/alunos/lei2exerc.htm>>. Acesso em 17 de abril de 2017.

Capítulo 12: Leis da Termodinâmica

1. A
2. B
3. A
4. B
5. C
6. C
7. .
8. A) 43% B) 1806J C) 2394J
9. 8%
10. D
11. E

Texto 9: Uso intensivo da tecnologia do motor de combustão interna, mobilidade urbana e degradação da energia.

Quando estudamos a Segunda Lei da Termodinâmica, aprendemos que ela implica uma assimetria nos processos de conversão de energia. Energia mecânica (ordenada) pode ser integralmente convertida em energia térmica (desordenada), mas a energia térmica, por sua vez, não pode ser recuperada integralmente na forma de energia mecânica.

Uma força de atrito (dissipativa), ao levar ao repouso um objeto em movimento, converte integralmente energia mecânica em energia térmica (energia interna). Porém qualquer máquina térmica, ao retornar à condição inicial, para reiniciar seu ciclo de funcionamento, necessariamente rejeitará calor para uma fonte fria, determinando a impossibilidade de converter integralmente energia térmica em mecânica.

A energia térmica, portanto, é qualificada como energia degradada, porque uma vez produzida não poderá ser recuperada integralmente para se obter trabalho útil, energia mecânica ordenada. Outro termo usado para expressar essa assimetria é o de dissipação de energia. A palavra 'dissipar' significa 'dispersar' ou 'espalhar'. Para compreender o que isso significa, devemos lembrar que a energia térmica está associada ao movimento aleatório das partículas que compõem a matéria. Portanto, ao converter energia mecânica em calor dissipado ao meio, estamos convertendo energia ordenada em energia desordenada, dispersa, degradada. Dizemos que houve dissipação de energia. Essa assimetria nos processos de conversão de energia tem consequências importantes.

Todo processo natural, envolve forças dissipativas. No mundo real, todo processo de conversão de energia implica produção de energia térmica, uma vez que há forças dissipativas envolvidas. Na conversão de uma forma de energia em outra, uma fração da energia convertida será térmica, uma fração da energia convertida será degradada. Isso determina a irreversibilidade dos processos naturais.

Um pêndulo posto a oscilar, com o passar do tempo atingirá o repouso. Nesse processo forças dissipativas realizarão trabalho e converterão energia mecânica em térmica. Essa energia térmica não retornará espontaneamente e colocará o pêndulo para oscilar em amplitudes cada vez maiores. A irreversibilidade dos processos naturais é determinada pela Segunda Lei da Termodinâmica. É consequência da impossibilidade de se recuperar integralmente energia térmica na forma de trabalho útil.

Nos dias de hoje, em que a energia é utilizada intensivamente em uma sociedade fundamentada especialmente em relações de consumo, a degradação da energia é um aspecto importante a se considerar. A geração em larga escala de energia térmica não é um processo desejável, pois essa energia não será mais inteiramente recuperada.

Todo processo que envolve produção de energia térmica, de acordo com a Segunda Lei da Termodinâmica, resulta em um inevitável desperdício de energia. Motores ou equipamentos, que funcionam tendo por base a energia térmica liberada na queima de um combustível, possuem rendimento muito baixo, comparado com outros equipamentos em que a conversão ocorre por meio de outros processos. Um motor elétrico convencional tem rendimento de cerca de 90%. Os motores de combustão à gasolina têm um rendimento de 22% a 30%, os motores a diesel, de 30% a 38%, à gás de 32% a 39%.

Isso significa chamar atenção para as tecnologias baseadas na geração de energia térmica: usinas termelétricas, processos industriais dependentes da queima de combustíveis, motores de combustão, entre tantos outros. Ainda que não se queira enfrentar verdadeiramente esse impasse, ele existe, nosso modelo de desenvolvimento está fundamentado, em grande parte, em processos de queima de combustíveis e liberação de energia térmica, energia degradada, não totalmente recuperável na forma de trabalho útil.

A tecnologia dos motores de combustão (gasolina, álcool e diesel) é intensivamente utilizada nos sistemas de transporte. Apenas 30% da energia térmica gerada na combustão da gasolina é aproveitada para movimentar rodas e eixos em um automóvel, o restante (70%!!), é rejeitado para o sistema de refrigeração e para a vizinhança do motor.

Para tornar mais complexa essa situação o deslocamento nos centros urbanos é feito especialmente por automóveis particulares transportando, em média, uma ou duas pessoas por veículo. Em Belo Horizonte, circulam aproximadamente 1.350.000 veículos. Desse montante, aproximadamente 950.000 são automóveis particulares (70%)²⁹.

Já fizemos cálculos e mostramos que se compararmos a energia consumida por pessoa por quilômetro rodado, no deslocamento de um automóvel particular com o de um ônibus, a relação é, pelo menos, três vezes maior para o automóvel particular.

No caso dos combustíveis fósseis, outra preocupação se refere à liberação de dióxido de carbono e outros gases poluentes para a atmosfera. Se compararmos a quantidade de CO₂ emitida para atmosfera no transporte feito por automóveis ou por ônibus nas mesmas condições, considerando que carro e ônibus consumiriam gasolina, a relação é 5 vezes mais emissão para o automóvel particular. Ao longo de um ano, essa proporção faz uma grande diferença.

O que leva a esse modelo de mobilidade urbana fundamentado especialmente no automóvel particular, se ele gasta mais energia, é mais poluente e leva, no limite, à imobilidade?

Essa reflexão inicial sobre a Segunda Lei da Termodinâmica nos leva a discutir criticamente a utilização de tecnologias cuja fonte primária é a energia térmica liberada na combustão. É importante questionarmos os modelos de sistema de transporte e de desenvolvimento atualmente vigentes? Há alternativas? Podemos participar de alguma forma de modo a influenciar esses processos? A Segunda Lei da Termodinâmica e suas implicações nos cobram um posicionamento!

²⁹ Dados de 2011.