



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO ACADÊMICO DO AGRESTE
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA**

BERALDO PEREIRA DA SILVA NETO

**EM DEFESA DO MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAGEM:
a sala de aula invertida como proposta para o ensino de termodinâmica**

**CARUARU
2022**

BERALDO PEREIRA DA SIVA NETO

**EM DEFESA DO MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAGEM:
a sala de aula invertida como proposta para o ensino de termodinâmica**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre Profissional em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez

CARUARU

2022

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva - CRB/4 - 1223

S586e Silva Neto, Beraldo Pereira da.

Em defesa do modelo invertido de aprendizagem: a sala de aula invertida como proposta para o ensino de termodinâmica. / Beraldo Pereira da Silva Neto. – 2022. 229 f.; il.: 30 cm.

Orientador: Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física.

Inclui Referências.

1. Aprendizagem centrada no aluno. 2. Aprendizagem ativa. 3. Ensino híbrido. 4. Física (Ensino médio). 5. Termodinâmica. 6. Entropia. I. Rodriguez, Ernesto Arcenio Valdes (Orientador). II. Título.

CDD 371.12 (23. ed.)

UFPE (CAA 2022-031)

BERALDO PEREIRA DA SIVA NETO

**EM DEFESA DO MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAGEM:
a sala de aula invertida como proposta para o ensino de termodinâmica**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre Profissional em Ensino de Física.

Área de concentração: Formação de Professores de Física em Nível de Mestrado

Aprovada em: 11/03/2022.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdes Rodriguez (Orientador)

Universidade Federal de Pernambuco

Prof. Dr. Augusto Cesar Lima Moreira (Examinador Interno)

Universidade Federal de Pernambuco

Profa. Dra. Katia Calligaris Rodrigues (Examinadora Externa)

Universidade Federal de Pernambuco

Dedico este trabalho aos meus pais (*In Memoriam*), à minha esposa, Márcia, e à nossa princesa, Franciele.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me conceder saúde física e mental para concluir o Mestrado.

À minha compreensiva esposa que sempre me apoiou e permitiu minha dedicação ao trabalho, tomando para si várias atribuições da família; sem ela, muito provavelmente, eu nem sequer teria iniciado o Mestrado.

À minha amada filha, por ser minha inspiração e propulsão para ultrapassar os obstáculos e conquistar meus objetivos.

Ao Professor Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez pelas orientações e discussões que me foram muito frutíferas para a confecção dessa dissertação. A experiência que adquiri trabalhando com ele me será muito útil na minha vida profissional, tenho seu trabalho como um exemplo digno de ser seguido.

A todos os professores da Pós-Graduação da UFPE (Caruaru) que contribuíram para que essa jornada fosse possível.

Aos meus colegas de curso, pelas amizades construídas e agruras compartilhadas.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) por ter criado o Programa Nacional de Mestrado profissional em ensino de Física (MNPEF), que me proporcionou a oportunidade de aprofundar meus conhecimentos.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pelo apoio financeiro, fundamental para as viagens e estadias.

Enfim, a todos que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão dessa etapa.

Muito obrigado!

“Quem come do fruto do conhecimento é sempre expulso de algum paraíso.” (BARROS, 2017, p. [1])

RESUMO

A virada do século XX para o XXI deu uma guinada na relação do homem com o uso de tecnologias de várias naturezas. Devido a isso, houve, sem dúvida, uma transformação na forma de ver, sentir e experienciar o mundo, o que certamente apresentaria impacto nos mais diversos setores das atividades humanas, inclusive na educação. Um dos fatores que comprovam essa mudança brusca de hábitos é o fato de crianças e jovens crescentemente aderirem ao uso de tecnologias diversas. Mergulhado nessa realidade, além de transformar o modo ensino-aprendizagem no âmbito da sala de aula, ressignificando, em escalas variadas, o papel do aluno e do professor, o método da sala de aula invertida (do inglês *flipped classroom*) é parte de um conjunto de metodologias que buscam, por meio do uso de aparatos tecnológicos, inserir o alunado dentro de um campo cada vez mais ativo e independente na corrida pelo conhecimento. Nesta dissertação, desenvolvida com base na experiência da implementação do método de inversão nas atividades relacionadas ao componente curricular de Física 3 (Termologia) do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), campus Recife; busca-se desdobrar e refletir sobre propostas de ensino-aprendizagem para o ensino de Termodinâmica. De modo geral, a pesquisa apresenta tanto as relevâncias do método, no qual os conteúdos, a interação e instruções são realizados de modo *on-line* em concomitância com a prática presencial, como também as dificuldades de percurso, ressaltando da necessidade de reformulação e inovação das práticas educativas no ensino de Física no Brasil.

Palavras-chave: sala de aula invertida; ensino de física; termodinâmica.

ABSTRACT

The turn of the 20th to the 21st century changed man's relationship with the use of technologies of various natures. Due to this, there was undoubtedly a transformation in the way of seeing, feeling and experiencing the world, which would certainly have an impact on the most diverse sectors of human activities, including education. One of the factors that prove this sudden change in habits is the fact that children and young people increasingly adhere to the use of different technologies. Immersed in this reality, in addition to transforming the teaching-learning mode within the classroom, re-signifying, at different scales, the role of the student and the teacher, the flipped classroom method is part of a set of methodologies that seek, through the use of technological devices, to insert students into an increasingly active and independent field in the race for knowledge. Physics 3 (Thermology) of the Federal Institute of Education, Science and Technology of Pernambuco (IFPE), Recife campus; it seeks to unfold and reflect on teaching-learning proposals for the teaching of Thermodynamics. In general, the research presents both the relevance of the method, in which the contents, the interaction and instructions are carried out online in concomitance with the face-to-face practice, as well as the difficulties of the route, highlighting the need for reformulation and innovation. of educational practices in Physics teaching in Brazil.

Keywords: flipped classroom; physics teaching; thermodynamics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Troca de energia sob forma de calor, de trabalho ou de ambos, com suas vizinhanças (ambiente), em um sistema termodinâmico	39
Figura 2-	Um gás realiza trabalho positivo quando o volume aumenta ($\Delta V > 0$) - como em (a), e negativo quando o volume diminui ($\Delta V < 0$), como em (b)	41
Figura 3-	O trabalho infinitesimal realizado pelo sistema durante a pequena expansão dx é dW	41
Figura 4-	Sistema cilindro-pistão que não trocam calor com o ambiente	45
Figura 5-	Recipiente dividido em dois compartimentos por uma partição AB, no qual, em um deles, há um gás confinado e no outro há vácuo	45
Figura 6-	O gás no interior do cilindro sofre uma expansão isobárica, enquanto a temperatura e o volume do gás aumentam	48
Figura 7-	Um gás está confinado a um cilindro com um pistão móvel. O calor Q pode ser adicionado ou retirado do gás regulando a temperatura T do reservatório térmico ajustável	50
Figura 8-	Uma expansão adiabática pode ser realizada removendo lentamente as esferas de chumbo do topo do pistão. É possível inverter o processo em qualquer estágio, recolocando as esferas de volta	51
Figura 9-	Movimento translacional do centro de massa	54
Figura 10-	Movimento de rotação sobre os vários eixos	55
Figura 11-	Movimento vibracional ao longo do eixo	57
Figura 12-	A temperatura de um gás ideal é aumentada de T para $T + \Delta T$ em um processo a volume constante. É adicionado calor, mas nenhum trabalho é realizado	58
Figura 13-	A temperatura de um gás ideal é aumentada de T para $T + \Delta T$ em um processo a pressão constante	59
Figura 14-	Expansão livre	66
Figura 15-	Esquema de funcionamento de uma máquina a vapor	69
Figura 16-	Nuvens de vapor que sobem das torres de refrigeração de uma grande usina de geração de energia elétrica	69
Figura 17-	Esquema de uma máquina térmica	71
Figura 18-	Ciclo de um motor de combustão interna de quatro tempos	73

Figura 19-	Esquema de uma turbina de gás	79
Figura 20-	Diagrama esquemático do fluxo de energia de um refrigerador	87
Figura 21-	a) Diagrama do princípio de funcionamento do ciclo de um refrigerador (b) Como os principais elementos são dispostos em um refrigerador comum	88
Figura 22-	Esquema de um aparelho de ar-condicionado	89
Figura 23-	Equivalência entre os enunciados da segunda lei da termodinâmica	90
Figura 24-	A expansão livre de um gás ideal. (a) O gás está confinado no lado esquerdo de um recipiente isolado por uma válvula fechada. (b) Quando a válvula é aberta, o gás ocupa todo o recipiente.	97
Figura 25-	Laboratório de Informática Campus IFPE Recife	104
Figura 26-	Laboratório de Informática Campus IFPE Recife	106
Figura 27-	Campus Recife do IFPE	110
Figura 28-	Entrada principal do IFPE campus Recife, área externa	154
Figura 29-	Essa tarefa de casa de termodinâmica obteve um engajamento de 87 alunos	158
Figura 30-	Questões da tarefa de casa que menos de 50% dos alunos acertaram	158
Figura 31-	Percentual de acertos da questão 1 (destaque verde)	158
Figura 32-	Percentual de acertos da questão 7 (destaque verde)	159
Figura 33-	Biblioteca Joseph Mesel (IFPE)	160
Figura 34-	Número de acertos. O aluno que acertou menos, acertou 3 questões e o aluno que acertou mais acertou 18.	162
Figura 35-	Formato de sala ideal para fomentar o debate entre os alunos mediado pelo professor	162
Figura 36-	Aula expositiva em sala de aula convencional	164
Figura 37-	Resultado da verificação de aprendizagem, obtido após a aplicação da metodologia	164
Figura 38-	Sala de computação onde ocorreu a maior parte das atividades que necessitavam de conectividade	165
Figura 39-	Resultados sendo colhidos em tempo real, à medida que os alunos vão resolvendo as questões objetivas propostas	165
Figura 40-	Quantitativo de alunos que participaram da avaliação	166
Figura 41-	Reunião com os pibidianos da licenciatura em Física da UNICAP	167

Figura 42-	Oficina ministrada aos pibidianos de Licenciatura em Química da UNICAP	167
Figura 43-	Quantitativo de alunos que responderam à pesquisa	168
Figura 44-	Quantitativo de alunos que respondera a pesquisa e o percentual	168
Figura 45-	Quantitativo de alunos que possuem computador para uso doméstico	169
Figura 46-	Quantitativo dos alunos que tem acesso à internet. 100% do alunado respondeu que possui acesso à internet	169
Figura 47-	Quantitativo dos alunos que possuem smartphone. 100% dos alunos possuem smartphone	170
Figura 48-	Quantitativo dos alunos que utiliza sinal residencial de internet, onde a maioria respondeu que faz uso	170
Figura 49-	Quantitativo de alunos que utilizam ou não o smartphone para estudar	170
Figura 50-	Quantitativo de alunos que já haviam utilizado o YouTube como auxílio nos estudos	171
Figura 51-	Quantitativo de alunos que utilizam o YouTube com frequência como ferramenta de estudos	171

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1-	A área sombreada representa o trabalho W realizado por um sistema ao passar de um estado inicial i para um estado final f	43
Gráfico 2-	Nesse caso, o sistema vai do estado f para o estado i quando o gás é comprimido por uma força externa e o volume diminui; o trabalho realizado pelo sistema é negativo	43
Gráfico 3-	Diagrama PV para uma transformação isocórica	46
Gráfico 4-	Diagrama PV para uma transformação isobárica	47
Gráfico 5-	O trabalho realizado pelo gás é representado no Diagrama de Clapeyron pela área sob o segmento de reta que representa o processo isobárico	48
Gráfico 6-	Um processo realizado a temperatura constante (processo isotérmico) é representado por uma hipérbole em um diagrama PV. O trabalho realizado na mudança de volume é igual à área sob a curva entre V_i e V_f	49
Gráfico 7-	Processo adiabático representado em diagrama PV, através de curva tipo hipérbole $PV^\gamma = \text{constante}$. O trabalho realizado para variar o volume é igual à área sob a curva V_i e V_f	51
Gráfico 8-	O processo representado em um diagrama $P \times V$. O trabalho $P \Delta V$ é dado pela área sombreada	58
Gráfico 9-	O processo representado em um diagrama $P \times V$. O trabalho $P \Delta V$ é dado pela área sombreada	60
Gráfico 10-	Três trajetórias representando três processos diferentes que levam um gás ideal de um estado inicial i , à temperatura T , a um estado final f , à temperatura $T + \Delta T$. A variação ΔU da energia interna do gás é a mesma para os três processos e para quaisquer outros que resultem na mesma variação de temperatura	60
Gráfico 11-	Diagrama PXV para uma expansão adiabática de um gás ideal	64
Gráfico 12-	Um gás experimenta um processo cíclico que inicia no ponto A e após passar pelos pontos C e B, retorna ao ponto A	66
Gráfico 13-	Ciclo Otto sem a fase de injeção e compressão final, formado por duas adiabáticas ($Q = 0$) e duas isocóricas (Volume constante)	74

Gráfico 14-	Ciclo Diesel formado por duas adiabáticas (AB e CD), uma isobárica (BC) e uma isocórica (DA)	76
Gráfico 15-	Ciclo Joule ou Brayton formado por duas adiabáticas e duas isobáricas	79
Gráfico 16-	Ciclo Stirling formado por duas isotérmicas e duas isocóricas	83
Gráfico 17-	Ciclo de Carnot para um gás ideal	85

LISTA DE SIGLAS

ASCD	Associação para a Supervisão e Desenvolvimento de Currículos
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio
ISTE	Sociedade Internacional para Tecnologia em Educação
LDBEN	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
PCMEM	Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio
PCN	Parâmetros Curriculares Nacionais
PDI	Plano de Desenvolvimento Institucional
PIBID	Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência
PNLD	Programa Nacional do Livro Didático
TIC	Tecnologias de Informação e Comunicação
UNESCO	Organizações das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura
UNICAP	Universidade Católica de Pernambuco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
2	SALA DE AULA INVERTIDA COMO PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA	22
2.1	Aprender a aprender: o método de inversão em vista de uma formação ativa e personalizada	29
2.2	O ensino de física no Brasil: pensando a prática educativa no contexto reverso de aprendizagem para o domínio	31
3	PENSANDO A TERMODINÂMICA	37
3.1	Primeira lei da termodinâmica	38
3.2	Trabalho realizado por gás ideal	40
3.3	Processos quase-estáticos	43
3.3.1	<i>Expansão livre</i>	45
3.4	Trabalho realizado a volume constante	46
3.5	Trabalho realizado a pressão constante	47
3.6	Trabalho realizado a temperatura constante	49
3.7	Trabalho realizado em isolamento térmico	50
3.8	Energia interna de um gás ideal	52
3.9	Calor específico de um gás ideal	57
3.9.1	<i>Calor específico molar a volume constante</i>	57
3.9.2	<i>Calor específico molar a pressão constante</i>	59
3.10	Aplicações da primeira lei da termodinâmica	62
3.10.1	<i>Processos adiabáticos</i>	62
3.10.2	<i>Processos isotérmicos</i>	65
3.10.3	<i>Processos isovolumétricos</i>	65
3.10.4	<i>Processos cíclicos</i>	65
3.11	Expansão livre	66
3.12	A segunda lei da Termodinâmica	67
3.12.1	<i>Máquinas térmicas</i>	68
3.12.2	<i>O Enunciado da Kelvin-Planck da segunda lei da termodinâmica</i>	72
3.12.3	<i>Ciclos termodinâmico</i>	72
3.12.4	<i>Refrigeradores</i>	86

3.12.5	<i>Entropia</i>	91
3.12.5.1	<i>Processos reversíveis e irreversíveis</i>	91
3.12.5.2	<i>Entropia e desordem</i>	92
3.12.5.3	<i>Variações de entropia para vários processos</i>	93
3.12.6	<i>A Escala Kelvin de temperatura ou absoluta</i>	101
4	(RE)PENSANDO E APLICANDO O MÉTODO DE INVERSÃO	103
4.1	Reconhecimento do campo de pesquisa	109
4.2	Google formulário	110
	REFERÊNCIAS	112
	APÊNDICE A - PROVA DE TERMODINÂMICA	114
	APÊNDICE B - ATIVIDADES	123
	APÊNDICE C - PRODUTO EDUCACIONAL	147

1 INTRODUÇÃO

As duas últimas décadas do século XX vieram para modificar de uma vez por todas a relação do homem com o mundo. Com a inserção da internet em alta escala, foi possível observar mudanças nos campos social, econômico, político, cultural, científico e tecnológico. Surgia, assim, a era da informação. Neste sentido, levando em consideração os mais diversos contextos que envolvem os processos de ensino e aprendizagem, dentro e fora da sala de aula, é quase impossível pensar uma prática educacional de maneira dissociada da realidade do alunado, de forma que isso exige sempre um olhar atento e pragmático do universo que esse grupo se encontra imerso.

Considero o professor uma peça essencial nesse processo, é ele o responsável pela pesquisa e/ou desenvolvimento de práticas que visem à inserção de renovações pedagógicas a fim de se libertar de técnicas ultrapassadas.

Podemos dizer que a utilização de práticas e ferramentas de apoio didático, difundidas ao longo dos últimos séculos, ainda é uma realidade constante quando se pensa no ensino das chamadas Ciências da Natureza, se encaixando aqui o exemplo da Física. É, pois, dentro desse contexto que se busca apresentar a proposta metodológica da sala de aula invertida, sendo esse o foco principal da pesquisa que encara a inversão como um suporte na aprendizagem colaborativa. Dizendo de outra forma, o trabalho surge como propostas que vão na contramão de situações repetitivas que permeiam o ensino tradicional, muitas vezes baseado na aplicação de tediosas e cansativas listas de conteúdos geralmente sem conexão com a realidade e sem chance de aprofundamento ou diálogo com a realidade do aluno.

Uma queixa recorrente por parte dos professores é a falta de interesse pelos alunos, o que pode se justificar diante do contexto mencionado de uma metodologia ultrapassada aos moldes atuais e pouco atraente. A internet é sem dúvida uma marca da geração, a velocidade e o mundo de possibilidades que se encontram nas mãos dos alunos influenciam diretamente na forma de percepção, na rapidez mental e visual, podendo ele, ao mesmo tempo, ler, ouvir música e conversar pela internet. Para além desse fator, podemos dizer que houve uma reformulação no conceito de professor. Até o final do século XX, o professor era encarado como uma fonte quase que absoluta do saber, de forma que os alunos deveriam explorá-lo para saciar sua sede pelo conhecimento, e isso talvez se justifique porque até meados da década de 90 o acesso à informação ainda era bastante limitado. Com o advento da internet, essa realidade mudou completamente, pois a internet surgiu como forma de, com velocidade, conectar o ser humano ao máximo de informações possível em um único lugar. Inserido nesse contexto, o

professor deixa de ser uma fonte necessária para o acesso à informação, ao conhecimento, de modo que é preciso, em meio a isso, ressignificar o seu papel. Transformar a prática na sala de aula era questão de necessidade, o que exige certa flexibilidade e criatividade na abordagem de construção do conteúdo. Seguir listas de conteúdos sem nenhuma conexão pragmática já não era mais indicado, era preciso ir em busca de novos caminhos.

Acredita-se que métodos de ensino, como a sala de aula invertida, além de inovar a realidade do âmbito escolar, refletem diretamente no desempenho dos alunos. Mas, para além do meio escolar, é necessário entender que a formação educacional também precisa aparecer associada a realidades fora da sala de aula, o direcionando, por exemplo, para uma formação crítica diante uma realidade de pluralidade de informações que a internet oferece. Buscar informação por conta própria, ter a capacidade de discernir informações, suscitar questionamento não acreditando em qualquer fonte, desenvolver certa autonomia de estudo e pesquisa por parte do aluno seria uma das opções. Não que o papel do professor não seja fundamental para o processo de ensino-aprendizagem, mas é preciso pensar que o conhecimento não é limitado e, portanto, o ser humano aprende a vida inteira. Então, acredita-se que, com práticas como tais, o aluno continuará habilitado a aprender. Ressaltando, com isso, a ideia que a comunicação entre aluno e professor só ocorrerá de forma completa se ambos usarem uma mesma linguagem. Dessa forma, as atividades pedagógicas devem buscar a autonomia e a formação crítica do aluno, o que necessita, além de atividades expositivas, de ações que envolvam o debate, a prática e atividades em grupo de modo que os alunos compartilhem ideias.

Partindo dessa perspectiva, de uma certa insatisfação diante dos resultados obtidos no decorrer de anos a fio da prática docente, buscou-se com o desenrolar desta pesquisa, a saber realizada no Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), campus Recife, pensar a Inserção de novas propostas e ferramentas de ensino-aprendizagem com a intenção de que os alunos desenvolvessem novas habilidades. Tomando a leitura do PCN (Parâmetro Curricular Nacional) como uma das bases de norteamiento, buscando formas de complementar o livro didático e de utilizar ferramentas que estão inseridas no cotidiano dos alunos. O trabalho se encontra centrado na experiência que adquirimos ao longo de vários anos de ensino da disciplina de Física no Ensino Médio, durante os quais nos deparamos com diversas dificuldades encontradas pelos alunos nas questões conceituais, principalmente, aquelas que envolvem uma aplicação prática. Percebemos que as aplicações práticas utilizando experimentos demonstrativos podem

contribuir para a elaboração de situações que possibilitem ao aluno dominar linguagens, compreender fenômenos, resolver situações-problema e construir argumentação crítica.

Apesar do professor desempenhar papel fundamental para o sucesso da aprendizagem, ele não pode se colocar como mero transmissor de informação, e sim, como facilitador da aprendizagem, pois surgirão dúvidas e indagações que podem, de certa forma, tornar a explanação ainda mais rica, tendo em vista que o aluno não entra em uma sala de aula com a expectativa de assistir a uma aula e sim de participar de uma. Cabe a nós, facilitadores, prepararmos atividades capazes de construir uma aprendizagem significativa, dirigindo o trabalho dos alunos, para estimular o protagonismo, tão necessário para que eles possam ir além da elucidação de problemas pela observação direta dos fenômenos, mas que gerem questionamentos que associem ensino e pesquisa didática. Para suprir essas deficiências, que são consequências de vários fatores, entre os quais podemos destacar a falta de ênfase em questões que envolvam a parte inicial de Termodinâmica. Não tem o presente trabalho a intenção de ser o melhor, nem o mais completo guia de reflexões didáticas e metodológicas sobre o conteúdo de Termodinâmica, já que é um curso básico, que tem por finalidade construir com os alunos as primeiras informações a respeito dessa importante área da Física, considerado esse um elemento norteador para auxiliar o professor na abordagem das questões conceituais que atualmente se fazem presentes nos principais concursos do país, e que é particularmente avaliado no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

A relevância desta pesquisa está centrada no fato que diferentes estudiosos da área de educação apontam para a necessidade da inovação de perspectivas educacionais, entre elas a necessidade de que, cada vez mais, o aluno assuma uma forma mais protagonista e autônoma, sendo o apoio da tecnologia para ferramentas de ensino apenas uma das formas possíveis de propor inovações no conjunto de fatores que formam as práticas de aprendizagem, tendo em vista que hoje somos rodeados de tecnologias que facilmente possibilitam a transmissão de dados em alta velocidade assim como a troca de informações em tempo real. Enxergando tal potencialidade, este estudo defende a recolocação, a reelaboração de práticas educativas no que concerne ao ensino de física, o que, direta ou diretamente, envolve uma reorganização de conteúdos, metodologias e teorias educacionais e o papel da educação para a sociedade.

Nos conselhos de classes pedagógicos, ainda é comum ouvir que, em proporção com outras matérias, um grande número de alunos alcança notas abaixo da média em Física. Estando essa realidade por vezes acompanhada das matérias de Química e Matemática. Ao longo da docência, depois de ouvir isso repetidas vezes, comecei a refletir acerca da prática docente

alinhada às reais necessidades dos alunos para pensar meios que pudessem apresentar uma mudança nessa realidade. Por outro lado, os alunos reclamam de um modelo tradicional usado no processo ensino-aprendizagem. Uma das ideias iniciais foi fazer com que os alunos se desprendessem do aprendizado monótono de fórmulas que o levam, na maioria das vezes, a decorar um certo número de letras e números. O grande desafio foi fazer com que os alunos, além de compreender em profundidade o conteúdo, pudessem também desenvolver e se adequar a novos meios e ferramentas de estudo. Com o método invertido, por exemplo, é possível que se desenvolvam habilidades e estratégias de estudo para que, em momento posterior, ao chegar na sala de aula, se tenha em primeiro lugar uma base mínima construída em relação a um determinado conteúdo, o que confere um tempo maior para que o âmbito da sala de aula seja conferido para tirar dúvidas e aprofundar os conteúdos em escalas que não seriam possíveis se todo o processo se desse somente dentro da sala de aula.

No modelo tradicional de formação, a aprendizagem acontece em duas fases: a primeira fase seria uma fase de construção de um conhecimento mediado pelo professor, e uma segunda fase de assimilação, na qual, longe da sala de aula, os estudantes aplicam o conhecimento em exercícios práticos e em outras atividades. A metodologia da sala de aula invertida confere justamente o contrário. Conferindo a fase de construção para um nível a distância e assimilação em momentos presenciais onde o professor pode, a partir do levantamento de dúvidas e questões, trabalhar de maneira mais elaborada a aplicação, a análise, síntese, significação e avaliação. Uma das razões que levaram à criação e ao aperfeiçoamento desse método de ensino foi o fato de gestores, acadêmicos e professores se mostrarem interessados em aperfeiçoar os processos de ensino-aprendizagem a fim de garantir que a formação de estudantes atendesse a uma certa demanda da sociedade moderna, sendo esse um período da nossa história que mais que nunca somos desafiados a sermos cada vez mais inovadores e autônomos. De forma que alguns estudos apontam que os resultados práticos de inovações de métodos como o da sala de aula invertida podem ser mais promissores do que processos tradicionais de ensino.

Como nenhum método é perfeito, apesar do número significativo de fatores positivos, a sala de aula invertida pode apresentar declínios devido ao fato de que o resultado positivo do método depende da adequação e da realização prévia de atividades para que haja resultados favoráveis. Isso significa dizer que, caso tais atividades sejam negligenciadas, os estudantes certamente terão dificuldades nos momentos presenciais. Nas atividades a distância, os alunos são induzidos a desenvolver um nível de habilidade de autorregulação da aprendizagem, o que envolve as estratégias por parte dos alunos para atingirem objetivos, como a definição de metas,

auto monitoramento do tempo e da persistência e esforço para a realização das atividades. O que certamente reflete no desempenho. Desse modo, pensando cada vez mais em promover processos que garantam a autonomia de alunos dos mais variados segmentos, as pesquisas sobre novos métodos, como o da sala de aula invertida, acabam por colaborar na ampliação e utilização de novas ferramentas no âmbito da sala de aula por meio de processos que envolvem mediação, coleta, análise e comunicação de dados educacionais. Com base nisso, este estudo foi estruturado da seguinte forma: em um primeiro momento, a partir do segundo capítulo, será pensado o método da sala de aula invertida como uma proposta para o ensino de Física. Nesse capítulo, será levado em consideração a proposição de uma formação ativa e cada vez mais independente por parte do aluno. Serão levantadas, ainda, nuances sobre o ensino de Física no Brasil por meio de um enfoque da prática educativa no contexto reverso de aprendizagem para o domínio. Por fim, revisita-se e expande-se o conceito do que se entende por Termodinâmica. Em seguida, o terceiro capítulo será destinado para a aplicação do método de inversão, o que envolve o reconhecimento do campo de pesquisa e a utilização de ferramentas auxiliares como o Google Formulário. O quarto e último capítulo se ocupa dos resultados e das discussões acerca das experiências vivenciadas a partir da inversão aplicada às aulas de Termodinâmica. Com isso, busca-se suscitar questões que nos levem a (re)pensar ideias e conceitos que englobam a prática docente.

2 SALA DE AULA INVERTIDA COMO PROPOSTA DE ENSINO DE FÍSICA

Embora desenvolvida ao longo dos anos em diferentes perspectivas, a *sala de aula invertida* (do inglês, no original, *flipped classroom*) é um método de ensino-aprendizagem geralmente associado a uma idealização dos autores americanos Jonathan Bergmann e Aaron Sams, os primeiros a experimentar a metodologia em suas aulas de ciências. Tomando como base o livro *A sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem* (2018), pode-se dizer que, de forma simples, esse método se caracteriza por práticas que incentivam que os alunos estudem conteúdos predeterminados pelo professor por intermédio de vídeos, textos, atividades e outras ferramentas para que, em momento posterior, em sala de aula física, o professor possa construir conteúdos de forma mais aprofundada, esclarecer dúvidas e incentivar o desenvolvimento de uma autonomia e do desenvolvimento de habilidades para se trabalhar tanto individualmente como em grupo.

De modo amplo, poderíamos dizer que esse método consiste basicamente em duas etapas: a primeira estaria associada ao fato da prática de atividades interativas e virtual e também atividades individuais, sendo o professor uma espécie de mediador do conteúdo. Sabe-se que o método da sala de aula invertida não é o suficiente para obter sucesso frente a práticas pedagógicas. Junto a ele, precisam aparecer teorias de aprendizagem que forneçam alicerces filosóficos para pensar o desenvolvimento da autonomia e senso crítico do aluno. Assim como um dos idealizadores do método da sala de aula invertida, Jonathan Bergmann, o professor começa a construir quando se pergunta: *O que é melhor para os meus alunos em sala de aula?*

A abordagem invertida é uma forma de atender diferentes tipos de alunos com necessidade e realidade diversas, havendo, por parte do professor, uma espécie de personalização da educação para os estudantes. É importante destacar que esse se trata de um método de aprendizagem ativa multidisciplinar, que, para além do ensino de Física, pode ser utilizado em qualquer disciplina. Tomando como base o pensamento de seus idealizadores, Jonathan Bergmann e Aaron Sams, esse tipo de abordagem pedagógica surge a fim de melhor atender às necessidades dos alunos, proporcionando uma educação personalizada, ajustada sob medida à necessidade do aluno, dando mais autonomia para que eles possam construir conceitos e dúvidas acerca de temas estabelecidos pelo professor antes da aula, o que afeta, de maneira positiva, o rendimento dos alunos.

É fato que toda teoria reflete a realidade, assim como toda a realidade reflete ou refuta uma teoria. Com a inversão não seria diferente. O modelo de sala de aula invertida é fruto de um tempo de alta revolução industrial, e isso certamente reflete na cada vez maior capacidade

do ser humano de aperfeiçoar os métodos e os aparelhos que adornam e facilitam nossa vida em sociedade, como é o caso do computador. Levando a questão para um caminho mais próximo do social, uma das formas de ler e entender uma cultura é se aproximando das ferramentas criadas e propagadas por ela. No nosso caso em particular, escolhemos a internet como chave de leitura para o contexto da educação no século XX.

Desde sua inserção e propagação pelo mundo, a internet tem cada vez mais se tornando uma ferramenta no cotidiano do homem, alterando as formas de comunicação, vivência e percepção. Isso implica dizer que, ao longo do tempo histórico, o homem cria e aperfeiçoa técnicas a fim de promover uma melhor relação com objetos, pessoas e adversidades. Assim aconteceu quando o homem descobriu o fogo, inventou a escrita e com todas as técnicas que hoje permite a existência do mundo. A internet não poderia existir em outro tempo histórico senão neste, que é atravessado/impulsionado cada vez mais por uma onda de velocidade, de um ritmo frenético de vida. Os computadores, junto à internet, vieram para atribuir ao dia a dia do homem uma maior capacidade de análise, de cálculo, de organização, de armazenamento e propagação de informação, criando a possibilidade de espaços virtuais se conectando em rede, o que mudaria em definitivo a forma de comunicar. Desenvolvemos o que Lucia Santaella (2003) chama de *cultura das mídias*. Isso é, com o advento da máquina, passamos a aprimorar dinâmicas culturais eletrônicas, o que levaria muitos estudiosos a pensar o caso que ficou conhecido como indústria cultural, como é caso de Theodor Adorno, Walter Benjamin, Max Horkheimer e tantos outros que formavam parte da Escola de Frankfurt¹.

Em um país como o Brasil, onde há uma péssima divisão de renda, isso não impede para um evolutivo crescimento do acesso à internet. Tomando como base o pensamento de Nicolaci-da-Costa, em *Revoluções tecnológicas, e transformações subjetivas* (2002), o homem atravessa uma fase de mudanças no que se refere à subjetivação, sobretudo por ser esse um tempo marcado pela liquidez das formas, das sensações, das interações, como bem apontou Zygmunt Bauman em sua *Modernidade líquida* (2001). A internet faz tanto parte de nossa sociedade que hoje é muito comum, por exemplo, essa ser uma exigência básica para a concessão de quase todos os empregos. E, embora grande parte das escolas e dos institutos ainda não estejam

¹ Escola de Frankfurt é uma escola (ou vertente) de teoria social e filosofia, associada ao Instituto para Pesquisa Social da Universidade de Frankfurt, na Alemanha. A Teoria Crítica foi o elo conceitual que uniu os intelectuais, criando uma nova interpretação do **marxismo** da sociologia e da política no início do século XX. Alguns de seus integrantes foram **Theodor Adorno**, **Max Horkheimer**, **Walter Benjamin**, Herbert Marcuse, Leo Löwenthal, **Erich Fromm**, **Jürgen Habermas**, entre outros. Esta corrente foi a responsável pela disseminação de expressões como *indústria cultural* e *cultura de massa*.

devidamente preparados para ensinar a respeito do uso de tecnologias digitais, as crianças e os jovens facilmente se inserem nesse mundo desenvolvendo uma capacidade de lidar com todas essas ferramentas digitais, em alguns casos mais rápido que os adultos. Isso certamente é reflexo de uma geração que já nasceu em um mundo conectado. O que levou alguns autores a se colocarem contra ao uso em excesso desses meios de conteúdos e informações que entretêm grande parte das crianças por acreditarem que o contato em grande escala pode ser responsável por desenvolver distúrbios psicológicos e uma variedade de doenças comportamentais abarcando solidão, depressão e perda de obrigações e/ou prazeres para como o mundo real.

Embora essa realidade ainda não pareça tão latente, é fato que com o decorrer dos anos e das décadas serão desenvolvidas e aprimorados estudos de caso e teorias que versarão sobre o impacto do uso da internet na vida das crianças. E ainda mais: metodologias como a inversão tendem a ser uma prática docente cada vez mais comum, pois uma coisa é certa: já não é mais possível deter o fenômeno da internet. Um exemplo disso é a pesquisa que a doutora em Psicologia Clínica Carla Faria Leitão, em parceria com Ana Maria Nicolaci-da-Costa, registra em seu artigo *Impacto da internet sobre pacientes: a visão de psicoterapeutas* (2005). Em entrevista, as autoras buscaram saber o que terapeutas, psicanalistas pensavam sobre o uso da internet a longo prazo por pacientes. Daí o apontamento da internet como um lugar em que as pessoas projetam suas fantasias. Apesar de cada vez mais estudos comprovarem o desenvolvimentos de tais comportamentos atrelados ao uso em excesso da internet, no Brasil e no mundo o uso de redes sociais, a criação de blogs, aplicativos de relacionamento, de bate-papo é uma realidade bastante comum, o que, de uma forma ou de outra, acaba por refletir em comportamentos do meio escolar. Pensadores como Ilana Snyder conseguem enxergar o caso por outra perspectiva.

PhD em Educação, em seu artigo *Antes, agora, adiante: hipertexto, letramento e mudança* (2010), a autora analisa a questão do uso da internet como ferramenta no processo ensino-aprendizagem pelo fator do hipertexto. A partir de um levantamento histórico acerca do tema, Snyder destaca que, assim como outras técnicas da escrita, tais como o papiro e a imprensa, precisaram ser revistas e ampliadas ao longo do tempo, havendo, pois, uma evolução. Nesse sentido, ele destaca que, por meio desse ponto de vista de que o homem precisa sempre está em contato com novos e diferentes suportes de escrita, o que seria o caso da inserção de novas plataformas de escrita no ambiente escolar, o que implicaria na promoção de um letramento digital adequado às reais necessidades do aluno.

A cada avanço tecnológico corresponde uma mudança na maneira como o letramento é praticado e na maneira como seu papel social é compreendido. O letramento digital

corresponde à habilidade de usar e compreender informações em múltiplos formatos, oriundas de uma ampla variedade de fontes e apresentadas via computador. Apesar da velocidade das mudanças no mundo digital, os letramentos mais cruciais ainda incluem: fazer buscas na internet, navegar no hipertexto, avaliar conteúdos criticamente e reunir conhecimentos. O mais essencial deles é a habilidade de fazer juízos sobre a informação encontrada on-line, já que, diferentemente do que acontece nos meios convencionais, a maior parte do conteúdo da internet não é filtrada por editores (SNYDER, 2010, p. 270).

As diversas práticas de letramentos, entre elas o digital, são cada vez mais uma realidade no Brasil. E isso talvez se explique pelo fato do aparecimento de um número significativo de gêneros textuais que estão sempre por surgir, e esta é certamente uma faca de dois gumes. Primeiro surge a necessidade dos alunos de estarem inseridos dentro do âmbito desses novos gêneros, o que implicaria o desenvolvimento de novas habilidades e de novas maneiras de se relacionar com o mundo e com o outro. Mas também existe, por outro lado, a necessidade de capacitação por parte dos profissionais da educação, tendo em vista que eles necessitam estar habilitados para desenvolverem tais práticas com o auxílio de novas ferramentas. Isso se deixa transparecer em pesquisas como a de Gilberto Lacerda Santos, em *A internet na escola fundamental: sondagem de modos e usos de professores* (2003), em que, em bases qualitativas e quantitativas, foi possível verificar que, mesmo com o advento digital, desta ser uma realidade palpável no Brasil, grande parte dos professores não possuíam, ainda, acesso à internet em casa, sobretudo pelo fato de grande parte deles não terem nenhum tipo de formação ao longo de suas respectivas estadias na universidade, o que leva, na maioria das vezes, esse contato a acontecer de forma aleatória a partir de interesses e necessidades bastante particulares.

Realizar uma análise em cenários diferentes permite perceber que a questão é uma constante. Uma pesquisa feita por Maria Luiza Belloni e Nilza Godoy Gomes, intitulada *Infância, mídias e aprendizagens: autodidaxia e colaboração* (2008), desenvolvida em Santa Catarina, Sul do Brasil, defende que a utilização de ferramentas digitais auxilia no processo de uma aprendizagem cada vez mais autônoma e cooperativa. Com o uso de tais ferramentas, os alunos desenvolvem novos modos de aprender associados a novas habilidades cognitivas e de interação.

Nossas pesquisas permitiram observar, em muitas ocasiões, o quanto a interação entre pares desempenha um papel crucial nas aprendizagens e o quanto o uso pedagógico adequado das TIC favorece estas interações, na medida em que cria ambientes de aprendizagem mais dinâmicos e mais democráticos do que a sala de aula convencional, favorecendo a aprendizagem colaborativa. O mesmo podemos dizer sobre a autonomia do aprendiz, esta qualidade indispensável ao desenvolvimento da autodidaxia, uma competência ao mesmo tempo propiciada por elas e necessária, até mesmo imprescindível, na apropriação das técnicas de informação e comunicação que povoam nossa existência. Esta competência, relacionada com a capacidade de

“aprender a aprender” de que falam os discursos educacionais em voga, é fundamental para a vida social contemporânea, seja para o trabalho, seja para a cidadania (BELLONI; GOMES, 2008, p. 728).

Porém, vale salientar que, embora a inserção dessas tecnologias, as chamadas Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC), tenham cada vez mais contribuído para o aprendizado de jovens e crianças no Brasil, essa realidade é mais acentuada em contextos de educação privada, enquanto, por outro lado, a rede pública ainda é menos favorecida dentro de um quadro geral, tendo em vista que há uma discrepância entre ambas, sobretudo no que diz respeito a questões de infraestrutura e de projeto pedagógicos. Enquanto na rede privada se investe em larga escala em uma formação continuada do professor, sabe-se que na rede pública essa é uma realidade muitas vezes inexistente ou que acontece em menor escala, ao passo que ela deveria existir nos dois âmbitos. Mas, além disso, talvez fosse importante que essa questão fosse trabalhada e aprimorada ainda nos cursos de formações de professores, como defende a Doutora em Educação Maria Teresa Freitas em seu artigo *Letramento digital e formação de professores* (2010), algo ainda bastante remoto nos currículos dos cursos de licenciatura no Brasil que, aliado à necessidade da educação presente, deveria aparecer atravessada, expandida em todo o currículo de formação de professores, fato que a UNESCO veio discutir em dois *Padrões de competência em TIC para professores: diretrizes de implementação* (2009).

Em vista de tais desdobramentos, podemos afirmar que os diferentes processos que envolvem o letramento digital no Brasil e no mundo ainda é uma realidade que vem sendo construída, discutida e compartilhada por um número significativo de educadores e pesquisadores, e o método da sala de aula invertida é apenas um desses meios que vêm tentando lançar luz e mudar a realidade do processo de ensino. Tomando como base central o pensamento de Jonathan Bergmann e Aaron Sams, em *Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem* (2018), é geralmente na sala de aula que costuma pensar que se concentra o aprendizado, porém, pensando no fato que todo tempo histórico se reinventa, e junto a essa reinvenção surge novas necessidades e novas perspectivas em relação ao mundo. A aprendizagem, nesse caso, não poderia se manter engessada por décadas e décadas. Se, no Brasil Colônia, no Brasil Monárquico e no Brasil República, se instaurou modelos de educação completamente diferentes, com o advento da implementação de um pensamento moderno não seria diferente. Isso para dizer que, apesar da presença de fatores negativos, como mencionado anteriormente, a forma de construir e assimilar conteúdos por parte dos estudantes acompanha as mudanças inerentes a cada geração. E foi mais ou menos seguindo essa direção que conceitos

e perspectivas atreladas ao ambiente escolar precisam ser revistados a fim de suprir as necessidades reais dos alunos.

A sala de aula invertida é um exemplo dessa necessidade de transformação e inovação de práticas pedagógicas. Ele consiste na utilização de ferramentas que, ao longo do tempo, passaram a ser comuns no mundo em que vivemos. Recursos como áudio, vídeo, internet e um número considerável de ferramentas interativas agora parecem fazer muito sentido que façam parte do universo escolar já que esses são bastante recorrentes do cotidiano dos alunos. Para além disso, poderíamos dizer que um dos sucessos na utilização dessa metodologia é que, como o aluno é orientado para assistir previamente explicações gravadas pelo professor ou utilize de ferramentas textuais e interativas diversas como uma forma de manter um contato primeiro com o objeto de estudo, o encontro presencial passa a ser ressignificado proporcionando uma oportunidade de esclarecer dúvidas, realizar atividades e construir o conhecimento de forma mais aprofundada.

Um outro fator que poderia ser apontado como positivo são as vastas possibilidades que o método proporciona como ferramenta de ensino dentro e fora da sala de aula. Ou melhor: a sala de aula invertida faz com que qualquer lugar se torne um lugar de aprendizado. O aluno pode adaptar seu tempo de estudo de acordo com a sua rotina, o importante é que, antes de chegar na sala de aula, ele tenha um contato prévio com temas e conteúdos considerados basilares para o desenvolvimento de uma habilidade. São esses um dos motivos que faz da sala de aula invertida uma metodologia de sucesso na educação básica e superior, em escolas e universidade de diferentes países do mundo, entre elas instituições de referência, como Harvard.

Os exemplos que ilustram o pensamento dos autores giram em torno de alunos que apresentam dificuldades específicas em se adequar a um currículo escolar que muitas vezes não contempla suas necessidades, como é o caso de matérias como Matemática e Física. Outro exemplo recorrente é o fato do professor falar rápido e parte dos alunos não conseguir realizar anotações com a mesma velocidade. O que, de certa forma, acaba contribuindo para o desenvolvimento de dificuldades para alunos, porque, ao estudar em casa e tentar realizar as atividades, esses alunos não consolidaram uma base suficiente nas aulas. O que nos leva a pensar que cada aluno vive inserido dentro de uma realidade e, por isso, desenvolve necessidades diferentes. Os alunos não devem desenvolver habilidade que atinja somente as expectativas dos professores para alcançar boas notas, é preciso ir além disso. Muitas vezes boas notas não refletem com exatidão o que o aluno aprende. Infelizmente essas são realidades bastante comuns, tendo em vista que um número relevante de estudantes com dificuldades

acaba ficando para trás, outros por algum motivo se sentem oprimidos e acabam por deixar escapar oportunidades de construção de conceito devido ao medo, insegurança e outros fatores que permeiam essa realidade. E ainda existe outros que acabam por aderir o jogo da escola, mas não atingem objetivos didáticos básicos do curso. A sala de aula invertida foi pensada para atender à necessidade desses alunos, permitindo que os professores personalizem a educação de acordo com as necessidades dos estudantes. O que acaba por ser tornar um método multidisciplinar na medida que pode ser utilizado em qualquer área do conhecimento. Foi pensando em impedir que alunos faltosos por necessidades justificadas e alunos com necessidades específicas também perdessem no desempenho de aprendizagem que Jonathan Bergmann e Aaron Sams idealizaram e colocaram em prática o método que mais tarde os levaria a fundar o conceito de sala de aula invertida.

É dessa forma que a sala de aula invertida é pensada ao longo dessa pesquisa, como uma forma de criar e documentar um material elaborado de acordo com a realidade em que um grupo de aluno se encontra submerso assim como também das necessidades detectadas de maneira prévia pelo professor. As ferramentas utilizadas na sala de aula passam a auxiliar os alunos que, por alguma razão, não puderem se encontrar presente para a aula, como também é uma forma do aluno que assistiu à aula poder revisar em momento posterior, ou, ainda, um meio para que os alunos estudem para testes e atividades, entre as outras possibilidades. Cedo, os autores chegaram à conclusão de que os alunos precisariam presencialmente dos professores para na hora de tirar dúvidas. Perceberam que os alunos não precisam deles enquanto interagem com um material e constroem pontes entre a realidade e conhecimento. Foi dessa forma que pensaram em inverter o tempo da sala de aula: enquanto em casa os alunos tinham acesso a diferentes materiais sobre determinado assunto, a sala de aula passava a servir como um momento de tirar dúvidas e desenvolver, com a orientação do professor, conceitos que lhe escapam. Os alunos assistem a vídeos como tarefa de casa e fazem anotações sobre o que aprenderam. Foi assim que esse modelo se mostrou mais eficiente que as preleções presenciais e os deveres de casa convencionais. Com o passar do tempo, os alunos estavam aprendendo mais e os dados pareciam indicar que o método da sala de aula invertida era um modelo em certas instâncias mais eficientes do que a abordagem tradicional.

De acordo com os autores, o modelo de inversão ajuda em uma educação personalizada. O método estabelece um referencial que oferece aos estudantes uma educação ajustada às suas necessidades individuais. Esse método é uma maneira de estabelecer pontes entre o professor e

seus alunos atendendo a necessidades muito distintas. Logo, a personalização da educação é uma proposta de solução.

O movimento para a personalização tem muito mérito, mas, para um único professor, personalizar o ensino de 150 estudantes é tarefa difícil e que não funciona no contexto tradicional. O atual modelo de educação reflete a era em que foi concebido: a revolução industrial. Os alunos são educados como em linha de montagem, para tornar eficiente a educação padronizada. Sentam-se em fileiras de carteiras bem arrumadas, devem ouvir um “especialista” na exposição de um tema e ainda precisam se lembrar das informações recebidas em um teste avaliativo. De alguma maneira, nesse ambiente, todos os alunos devem receber uma mesma educação. A debilidade do método tradicional é a de que nem todos os alunos chegam à sala de aula preparados para aprender. Alguns carecem de formação adequada quanto ao material, não têm interesse pelo assunto ou simplesmente não se sentem motivados pelo atual modelo educacional (BERGMANN; SAMS, 2018, p. 6).

Considerando esses e outros fatores, Bergmann e Sams passaram a pensar numa sala de aula invertida que também contivesse elementos de um ambiente propício à aprendizagem para domínio, quer dizer: a conquista de uma série de objetivos, respeitando seu próprio ritmo. Começaram a pensar em um sistema que permitisse que todos os alunos progredissem no material proposto, à medida que aprendessem o conteúdo, respeitando seu próprio ritmo. Queriam se convencer de que o método estava mudando a capacidade dos alunos de se converterem em aprendizes cada vez mais autônomos e autodidatas. De acordo com eles, basicamente, o conceito de sala de aula invertida é o seguinte: o que tradicionalmente é feito em sala de aula, passa a ser executado em casa, e o que tradicionalmente é feito como trabalho de casa, agora é realizado em sala de aula. Com isso, percebe-se que as aulas passam a girar em torno dos alunos e não do professor. Os estudantes têm o compromisso de assistir aos vídeos, ler textos indicados e fazer perguntas adequadas. O professor passa a estar presente para promover *feedback*. Os alunos podem recorrer ao professor sempre que precisarem de ajuda para a compreensão de ideias e conceitos. O papel do professor da sala de aula é amparar o aluno e não somente servir de expositor de determinado assunto.

2.1 Aprender a aprender: o método de inversão em vista de uma formação ativa e personalizada

Desdobrado em toda pesquisa, para pensar os vários processos que envolvem o ensino-aprendizagem, parte-se do ponto de vista de que toda forma de conhecimento, dentro e fora da sala de aula, se dá de maneira construída, e não transmitida. Embora nem sempre haja uma espécie de mediador nessa construção, como é o caso do professor na sala de aula, todo novo saber acontece por meio da interação ativa entre o sujeito e uma realidade. Não se acredita,

portanto, em perspectivas de ensino intermediadas por meio de uma espécie de transmissão de dado conhecimento. Se levarmos isso para o contexto da sala de aula, estaríamos admitindo que o professor seria o detentor de um conhecimento a ser transmitidos em parcelas de acordo com o grau de instrução dos alunos. Pelo contrário, todos, o que inclui professor e aluno, carregam capacidades para lidar com diferentes temas e conteúdos, embora seja um fato de que uns desempenham uma atividade com mais desenvoltura que outros, porém, todos têm capacidades inatas ao conhecimento, e a aquisição dele depende das relações e associações particulares que cada indivíduo estabelece com a natureza do mundo.

Por que se deve inverter a sala de aula? Como discutido anteriormente, percebe-se que, nos mais variados sentidos, o método da sala de aula invertida transforma a prática de ensino. Ao invés da realização de aulas totalmente expositivas, com a utilização do método é possível que o professor assuma um papel diferente diante dos alunos. Poderíamos dizer que em razão de uma busca pela autonomia do aluno o método de inversão fala a língua dos estudantes do século XXI. E isso se dá pelo fato de que todos eles – ou pelo menos a grande maioria – crescem com acesso à internet, *YouTube*, *Facebook* e tantas outras plataformas de interação. Então ao invés de proibir a utilização de ferramentas tão remotas na vida do alunado, o método visa utilizar a interação por parte dos alunos com tais meios para reformular ou orientar novas maneiras de aprender. Tendo em vista que esses alunos compreendem com naturalidade a aprendizagem digital, para eles, quando invertemos o método, estamos, de alguma forma, falando a língua deles. Um outro fator positivo é que o método ajuda os estudantes que, às vezes, precisam dividir seu tempo em mais de uma atividade, sendo a metodologia considerada uma flexibilização do aprendizado. Isso não quer dizer que alunos possam manipular o sistema educacional, mas a inovação permite que os alunos gerenciem o próprio tempo, tal fato seria impossível na sala de aula tradicional. Um terceiro fator seria que a inversão ajuda os estudantes que enfrentam dificuldades, pois a sala de aula passa a ser um lugar onde o professor pode caminhar e atender os alunos de acordo com as dificuldades apresentadas. Essa é uma das razões de os alunos progredirem mais no modelo invertido.

A inversão cria condições para que os alunos pausem e retrocedam. É sabido que uma parte dos alunos apresentam dificuldades para compreender determinadas exposições, quando invertemos a sala de aula, transferimos o controle remoto para o aluno. Conceder a possibilidade de pausar ou retroceder uma aula é, de fato, uma grande inovação no campo da educação. Pausar o processo acaba por se tornar um recurso poderoso por muitas razões. Quando damos ao aluno a capacidade de pausar uma videoaula, eles têm a oportunidade de assimilar a exposição de

acordo com o seu próprio ritmo. Além disso, a inversão intensifica a interação aluno-professor. Com base em Bergmann e Sams, a inversão cria condições para que os professores explorem a tecnologia e melhorem a interação com os alunos. Tendo em vista que o método não visa defender a substituição da sala de aula e dos professores de sala de aula por uma instrução unicamente *on-line*. Em verdade, acredita-se que a inversão da sala de aula promove uma fusão ideal entre a instrução *on-line* e a instrução presencial.

A inversão proporciona que os professores conheçam melhor seus alunos tendo em vista que o professor pode se colocar ao alcance de mensagens de texto ou outros meios de comunicação como um novo tipo de suporte. E também pelo fato de que no lugar de uma longa exposição, com a inversão o professor passa a aula interagindo ora individualmente, ora de maneira coletiva com os alunos. Trabalha-se em pequenos grupos e orientação individual. Quando os alunos estão realizando uma atividade e percebe-se que vários deles apresentam a mesma dificuldade, é possível reuni-los espontaneamente esses alunos em um subgrupo de reforço. A inversão aumenta a interação aluno-aluno. E assim se tem a oportunidade de observar como os alunos interagem uns com os outros. Uma das comprovações desse melhoramento no relacionamento entre os alunos é que eles passam a se ajudar em vez de dependerem unicamente do professor para debater um certo tópico ou conceito. A inversão muda o gerenciamento da sala de aula deixando de lados métodos tradicionais e ultrapassados que já não correspondem às expectativas e necessidades dos alunos inseridos em uma realidade diferente.

2.2 O ensino de física no Brasil: pensando a prática educativa no contexto reverso de aprendizagem para o domínio

A escola é uma instituição social com um objetivo explícito: o desenvolvimento potencial, físico, cognitivo e afetivo do estudante por meio da construção mediada de uma série de conteúdos que, de alguma maneira, corresponde às habilidades, atitudes e valores que, por certo, devem ser contextualizados através do objetivo de formar alunos socialmente ativos e reflexivos. Desse modo, é essencial que a articulação entre o conhecimento teórico e experimental – já que é necessário utilizar a teoria para refletir sobre a experiência –, seja interpretada e (res)significada de acordo com necessidades reais. Pensando nisso, refletir sobre a prática educativa é, sem dúvida, de grande importância para a reflexão do trabalho e do pensamento do ensino por meio de alguns pontos de vista, tais como: [1] sustentar uma reflexão sobre o uso prático e real da física no cotidiano, [2] estabelecer objetivos alcançáveis, levando sempre em consideração as peculiaridades (regional, institucional e de outras ordem) de cada

situação de ensino, [3] selecionar e sequenciar conteúdos temáticos mais funcionais para o alcance dos objetivos propostos, [4] estabelecer as linhas metodológicas e as estratégias mais adequadas, tendo em conta tanto o processo de ensino/aprendizagem com os resultados a alcançar e, assim, a eleição de materiais adequados para o enfoque de ensino estabelecendo critérios de evolução consistentes.

Dentre tantos outros fatores, Cíntia Mara Pedrisa, em seu artigo *Características históricas do ensino de ciências* (2013), e Rodrigo Claudino Diogo em parceria com Shirley Takeco Gobara, no artigo *Sociedade, educação e ensino de física do Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas* (2007), apontam que o ensino de ciências físicas e da natureza no país está, por vezes, altamente associado ao fato de ausência de experimentos práticos, uso em excesso do livro didático, utilização, na grande maioria das vezes, do método expositivo, um número de aula reduzido e, ainda por cima, um currículo desatualizado com temas que escapam da realidade do aluno. Um desses problemas enfrentados por professores de todo país é a indisponibilidade de recursos adequados para o desenvolvimento de práticas pedagógicas, como é o caso da ausência de recursos tecnológicos, tal como o processo de formação continuada, como já mencionado anteriormente. E isso sem dúvida reflete em obstáculos que criam barreiras quando a questão é o ensino e aprendizagem de Física em diferentes níveis e modalidade da educação. Foi buscando solucionar problemas como esses que ao longo dos anos foram criados planos como a Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional (LDBEN) e os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNEM).

Muito antes dessa realidade ser uma crescente, Alberto Gaspar assinala, em *Cinquenta anos de ensino de física*: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade de recolocar o professor no centro do processo educacional (2004), que o interesse pelo ensino e aprendizagem de Física se tornou algo mais comum no Brasil quando, nos idos de 1960, se pode verificar um certo desenvolvimento científico e tecnológico em virtude da corrida espacial que, ao gerar novas carreias técnicas oferecendo, assim, novas oportunidade profissionais, sentiu-se a necessidade de se estudar Física para um melhor aperfeiçoamento de técnicas em prol da vida e em busca de novas formas de ver e experienciar a realidade. Em busca de mudar a realidade do ensino de matérias como a de Física, foram pensados e repensados métodos como o da aprendizagem para o domínio, conforme destaca:

A aprendizagem para o domínio já existe há muito tempo. Foi lançada na década de 1920, mas recebeu pouca atenção até a década de 1960, quando foi popularizada por Benjamin Bloom, que comparou as atuais instituições educacionais a uma corrida em que apenas os aprendizes mais rápidos são recompensados. Para ele, quase todos os

estudantes podiam dominar qualquer conteúdo, desde que contassem com tempo e apoio suficientes. Quando a aprendizagem para o domínio era bem implementada, os estudos demonstravam que quase 80% dos alunos aprendiam todo o conteúdo importante, em comparação com 20% sob controle tradicional (BERGMANN; SAMS, 2018, p. 47).

Pensando nos tantos problemas que orbitam em torno do ensino de matérias como a de Física, diferente de uma concepção tradicional de ensino, a ideia chave da aprendizagem para o domínio consiste em que os alunos alcancem uma série de objetivos no próprio ritmo. Ao invés de todos os alunos se engajarem nos mesmos temas, cada um pode se encontrar na busca de determinados objetivos. A aprendizagem para o domínio é promovida por meio de um currículo escolar com determinado corpo de conhecimento em que o domínio de um objetivo é condição necessária para o sucesso nos objetivos subsequentes. Com base nisso, os principais componentes de aprendizagem para o domínio são: os alunos trabalham em pequenos grupos ou individualmente, em ritmo adequado às necessidades. Enquanto o professor faz a avaliação formativa e estima o grau de compreensão dos alunos, os alunos demonstram domínio dos objetivos, por meio de avaliações somativas. Aos alunos que não dominam determinado objetivo, oferecem-se meios de recuperação. A maioria das pesquisas em torno da aprendizagem para o domínio comprovam melhorias nas realizações de atividades. Entre os resultados obtidos, estão uma maior cooperação entre os alunos, um significativo aumento da autoconfiança e novas oportunidades para que os estudantes demonstrem domínio sobre dado objetivo.

Quando idealizada, na década de 1970, o método de aprendizagem para o domínio recebeu muita atenção. Depois, foi deixado de lado em virtude da adoção de um ensino tradicional por ser julgado como um método difícil de implementar. Entre as razões dessas dificuldades, aparecem a exaustão dos professores em repetir aulas, a quantidade de diferentes avaliações a serem elaboradas, e a complexidade de avaliar tantos objetivos a um só tempo. A disseminação da tecnologia veio para resolver esse problema proporcionando a superação de grande desses obstáculos. Hoje, é possível utilizar de ferramentas digitais para explorar a aprendizagem para o domínio. A sala de aula invertida, tendo vídeos como ferramentas de ensino, transfere a repetição para os alunos, conforme as próprias necessidades. Não é mais necessário que o professor repita todos os tópicos de uma aula. O aluno tem a possibilidade de rever os vídeos, ou se aprofundar em um conteúdo. Dessa forma, o professor tem mais tempo para assessorar os alunos que precisam de instruções adicionais e/ou individuais. A metodologia

cria um ambiente de aprendizagem sustentável, replicável e gerenciável dando atenção a quem precisa e garantindo que todos os alunos estejam aprendendo o que precisam, quando precisam.

Com base no pensamento de Bergmann e Sams, para atuar de forma eficiente em contextos de defasagens, em que sempre há desinteresse por parte de um número de alunos, ou que grande parte deles apresentam grandes dificuldades pela falta de conteúdos basilares, o método reverso de aprendizagem para o domínio pode funcionar como uma saída eficiente e fácil de se moldar em grande parte das realidades educacionais. Para isso, necessita do desenvolvimento de novas técnicas e habilidades por parte dos professores – assim como de incentivo a uma formação continuada –, de pesquisa constate, de diálogos com outros profissionais, inclusive de outras áreas. Precisa-se, ainda, que o professor procure sempre maneiras de dominar o conteúdo a fim de acionar uma capacidade mental que o permite passar de um tópico para outro, tal como a compreensão abrangente das interconexões das diferentes partes do conteúdo. E nessa hora é preciso ser capaz de admitir quando não sabe a resposta para perguntas realizadas por alunos e precisa se mostrar disposta a pesquisar essa resposta com eles. Aproveitar essas oportunidades para demonstrar o que significa ser aprendiz também é uma forma de ensinar. O professor deve, ainda, ser capaz de se movimentar durante toda aula de maneira não linear, tendo em vista que todos os alunos se encontram em diferentes estágios de domínio e de compreensão dos objetivos de aprendizagem. É preciso que o professor sempre defina, de maneira clara, seus objetivos, determine quais desses objetivos se alcançam com mais eficácia. Assim como criar várias versões de cada avaliação para que os alunos demonstrem o domínio de cada objetivo de aprendizagem em determinada unidade de estudo. É claro que esse são apenas meios possíveis, que, de acordo com a realidade, podem sempre ser adaptados. Assim como podem surgir novas formas de pensar e aplicar o método invertido.

Dentre os benefícios citados pelos autores, e também por meio da longa experiência para com a sala de aula, em específico ao que diz respeito ao ensino de Física, podemos dizer que o modelo de aprendizagem para o domínio ensina os alunos a assumirem responsabilidade pela própria aprendizagem. Uma vez assumido esse modelo a sala de aula passa a ser um laboratório de educação, onde os alunos acabam ao longo do tempo por assumir responsabilidades para o desenvolvimento da própria aprendizagem. Quando o ensino está pautado em um modelo mais tradicional, os alunos se limitam a se colocarem em uma posição mais passiva. Esperam que os professores os digam o que fazer, como aprender, quando aprender e como demonstram o que aprenderam. Para alguns alunos, o método tradicional funciona, para outros, somente os deixa desmotivados e perdidos. Já no modelo invertido,

o ônus da aprendizagem é totalmente dos alunos. Para alcançarem sucesso, os estudantes devem se responsabilizar pela própria aprendizagem. Alguns alunos estão sendo incumbidos, pela primeira vez, de tomarem posse da própria educação. A aprendizagem não mais se impõe à sua liberdade; mas, em vez disso, é um desafio a ser enfrentado e explorado. Na medida em que o professor renuncia ao controle do processo de aprendizagem, o aluno assume as rédeas, e o processo de educação se transforma em uma conquista a ser empreendida por seus próprios méritos e esforços (BERGMANN; SAMS, 2018, p. 56).

É normal que de início os alunos se mostrem com dúvidas de como essa nova metodologia vai funcionar. Mas, à medida das aulas e da realização das atividades, eles passam a compreender com mais maturidade a natureza da aprendizagem, do conhecimento geral e do seu papel na educação. A intenção não é formá-los profissionalmente, mas de incitar neles a própria necessidade e responsabilidade em aprender. Um outro fator positivo é que a modelo de aprendizagem para domínio cria uma maneira de personalizar e de diferenciar com facilidade a sala de aula. Ele permite uma espécie de assincronia, possibilitando a diferenciação do ensino de cada aluno. O ritmo da aula é adequado às condições individuais, personalizando a aprendizagem. Nessa hora, é preciso que o professor seja cuidadoso em não deixar que os alunos avancem sem compreender muito bem os objetivos essenciais.

O modelo de aprendizagem para o domínio desloca a aprendizagem para o centro da sala de aula. Tal como dito anteriormente, pensa-se nesta dissertação que os objetivos dentro da sala de aula devem sempre se mostrar em direção aos alunos. Se em uma sala de aula o professor se coloca de pé, assumindo um lugar à frente, diante de todos, fazendo-lhes, às vezes, longas exposições, quem é o centro das atenções nesse caso é o professor. Se o propósito da escola é que os alunos aprendam, eles que devem ocupar os lugares de destaque na sala de aula. É por isso que o modelo de domínio torna a sala de aula um laboratório de aprendizagem constante onde todo o foco da sala de aula se encontra no que os alunos aprenderam ou não aprenderam. Não se limita a uma simples exposição de conteúdos. A aula se torna mais uma conversa do que uma pregação. Espera-se que os alunos compareçam às aulas e continuem o processo de aprendizagem até apresentarem domínio de certos objetivos. A sala de aula se torna um espaço de aprendizagem.

O modelo de aprendizagem para o domínio dá aos alunos feedback instantâneo. A possibilidade de avaliação formativa informal elimina a necessidade de coletar e avaliar pilhas de papéis. Além disso, os alunos não precisam esperar dias ou semanas para receberem um feedback do que precisa estudar ou que competência precisa desenvolver. As atividades e os trabalhos dos alunos podem ser avaliados na sala de aula. Desse modo, os alunos se conscientizam do que não compreenderam, o professor analisa com eles os equívocos e juntos

planejam a melhor maneira de corrigi-los. Os alunos sob o modelo invertido de aprendizagem para o domínio logo percebem que o propósito do curso não é só passar nos testes, mas compreender e prosperar, é trilhar um caminho próprio e independente.

Dentre as tantas vantagens que esse modelo de aprendizagem pode oferecer a uma gama bem diversa de alunos, ainda estão as oportunidades de recuperação. Nem todos os alunos apresentam domínio na primeira tentativa. Diferente de uma aula inscrita no modelo tradicional em que a turma prossegue com ou sem os alunos que não compreenderam, quer dizer: que o ritmo de aprendizagem da turma é ditado pelo professor; na aprendizagem para o domínio como parte do feedback é imediato, os professores têm tempo para trabalhar com os alunos e identificar suas compreensões e equívocos. Em cada unidade há sempre alunos que não conseguem compreender determinados objetivos. Com o método, é possível identificar esses alunos e dedicar algum tempo a eles em pequenos grupos reunidos para breves sessões de reforço e revisão. O modelo permite ainda vários meios de aprendizagens. E isso se aplica pelo fato de alguns alunos terem facilidade de aprender com vídeos, enquanto outros aprendem lendo textos, outros recorrendo a informações na internet. Há, portanto, uma pluralidade de meios para que os alunos tenham contato com certos assuntos e alcancem certos objetivos. Permitir que os alunos escolham como aprender é, para eles, uma experiência de empoderamento. Uma das consequências disso é que eles acabam por descobrir como aprender melhor.

Tal como diferentes maneiras de aprendizagem, o modelo de inversão para o domínio oferece múltiplas chances de demonstrar a compreensão. Isso reflete ao fato de, como professor, não se pode adotar um único critério de avaliação tendo em vista a pluralidade dos alunos. Entre as tantas possibilidades, é possível adotar exames somativos, discussões, apresentações, produção de vídeos, escrita entre outros. O modelo invertido de aprendizagem para, portanto, o papel do professor. Ao invés de longas exposições, ao adota o método o professor passa mais tempo ajudando e auxiliando os alunos de acordo com as demandas de pequenos grupos ou as necessidades de cada aluno. Em vista de todos esses fatores, e os muitos outros possíveis de serem realizados, podemos dizer que o método de inversão pode ser facilmente replicado, ampliado e personalizado. Ele aumenta a interação face a face com o professor. Reforça o engajamento de todos os alunos. Os alunos estão envolvidos em ampla variedade de atividades: realizando testes de avaliações, assistindo a vídeos, discutindo um tópico com o professor, executando atividades práticas e trabalhando em pequenos grupos.

3 PENSANDO A TERMODINÂMICA

Toda vez que dirigimos o nosso carro, ligamos o ar-condicionado ou usamos um eletrodoméstico, estamos usufruindo dos benefícios práticos da Termodinâmica, que nada mais é do que o estudo das relações envolvendo calor, trabalho mecânico e outros aspectos da energia e de sua transferência. (BORGNAKKE; SONNTAG, 2018)

Os princípios do funcionamento, tanto das máquinas térmicas quanto dos refrigeradores, estão diretamente relacionados às leis fundamentais da termodinâmica, que regem o modo como o calor se transforma em trabalho e vice-versa. Por exemplo, no motor de um carro, o calor é gerado por uma reação química do oxigênio e do combustível (gasolina, álcool ou diesel) vaporizados nos cilindros do motor. A mistura em combustão gera gases quentes que se expandem e produzem uma força que pressiona os pistões para dentro dos cilindros, realizando o trabalho mecânico utilizado para impulsionar o carro. Todas essas transformações são exemplos de processos termodinâmicos. (FILHO, 2014)

O funcionamento de uma máquina térmica se baseia na conversão de calor em trabalho. Para que isso aconteça, a máquina deve operar em um ciclo envolvendo duas fontes térmicas, sendo uma delas quente e a outra, fria. Da fonte quente retira-se calor, convertendo uma parte em trabalho e rejeitando o restante para a fonte fria. Um exemplo desse processo é o funcionamento de uma locomotiva a vapor, na qual a fonte quente é a caldeira e a fonte fria é a atmosfera. O calor retirado da caldeira é parcialmente transformado no trabalho motor que aciona a máquina. As trocas de energia entre um corpo e sua vizinhança são governadas por dois princípios fundamentais, conhecidos como 1ª e 2ª Leis da Termodinâmica.

Na parte inicial deste estudo, apresentarei a ideia central da 1ª Lei da Termodinâmica e uma discussão sobre como um corpo pode receber energia na forma de trabalho. Além disso, será apresentada a equação da 1ª Lei da Termodinâmica. Em seguida, aplicarei essa equação para estudar casos especiais de trocas de calor e trabalho em um gás ideal. Na 2ª Lei da Termodinâmica, tratarei de processos naturalmente proibidos, ainda que a conservação da energia seja verificada, ou seja, processos que não violam a primeira lei da termodinâmica, mas que são impossíveis de ocorrer na prática.

Utilizamos o conceito de que a ciência da termodinâmica diz respeito ao estudo das propriedades macroscópicas dos corpos, a partir de leis fundamentais também macroscópicas. Estamos cientes que as leis da termodinâmica podem ser obtidas a partir de normas que governam o movimento microscópico da matéria; aqui, apenas entendemos que essa tarefa está fora do objetivo da termodinâmica, pertencendo ao domínio da mecânica estatística.

3.1 Primeira lei da termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica é uma aplicação do princípio da conservação da energia aos sistemas térmicos, fundamental para entender os processos que transformam calor em trabalho e de trabalho em calor. É, na realidade, uma ampliação do princípio da conservação da energia, incluindo trocas de energia tanto por transferência de calor quanto por realização de trabalho, introduzindo, também, o conceito de energia interna de um sistema. (CHAUI-BERLINK; MARTINS, 2013)

A conservação da energia desempenha um papel vital em todas as áreas das ciências físicas, e a utilidade da primeira lei da termodinâmica é bastante vasta. Faz-se necessário introduzirmos alguns termos que serão utilizados com frequência, para analisar as trocas de energia na forma de calor ou de trabalho. São eles:

- **Vizinhança:**

Em **física**, define-se como sendo toda a região em torno de um sistema. Um sistema separa-se da sua vizinhança por uma **fronteira**. Um sistema juntamente com a sua vizinhança constitui o **universo**. Uma **transferência de energia** ocorre por interação entre sistemas, isto é, entre um sistema e a sua vizinhança.

- **Sistemas:**

Os sistemas podem ser classificados em:

1. Isolado: quando através da fronteira não é possível trocar massa nem energia com a vizinhança, são sistemas ideais, teóricos, de muita utilidade no estudo da termodinâmica.
2. Fechado: quando através da fronteira só é permitido troca de energia na forma de calor ou de trabalho com a vizinhança, mas não troca massa.
3. Aberto: quando a sua fronteira permite a troca de massa e energia com a vizinhança.

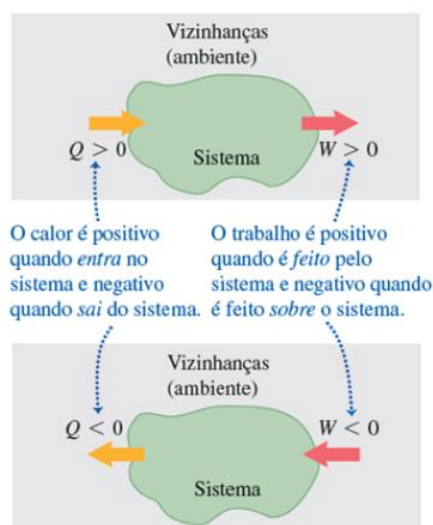
- **Fronteiras:**

As fronteiras podem ser classificadas em:

1. Adiabática: quando não permite a passagem de calor entre o sistema e sua vizinhança, são fronteiras ideais, que apesar de não existirem perfeitamente na física, são muito úteis no estudo da termodinâmica.
2. Diatérmica: quando permite a passagem de calor entre o sistema e sua vizinhança.
3. Permeável: quando permite a passagem de calor e de massa entre o sistema e sua vizinhança.

Descrevemos relações de energia em muitos processos termodinâmicos em termos da quantidade de calor Q , fornecida **para** o sistema, e o trabalho W , realizado **pelo** sistema. Os valores de Q e de W podem ser positivos, negativos ou nulos (**Figura 1**). Um valor de Q positivo significa uma transferência de calor **para dentro** do sistema, com um fluxo de energia correspondente para o interior do sistema; já com um valor de Q negativo, significa uma transferência de calor **para fora** do sistema. Um valor de W positivo, significa um trabalho realizado pelo sistema sobre suas vizinhanças, como o trabalho realizado por um gás que se expande e, portanto, corresponde a uma transferência de energia **para fora** do sistema. Um valor de W negativo, como o trabalho realizado durante a compressão de um gás, significa um trabalho realizado sobre o gás pelas suas vizinhanças e, portanto, corresponde a uma transferência de energia **para dentro** do sistema. Utilizarei insistentemente essa convenção neste capítulo e no seguinte, por ser a convenção utilizada pelos livros do ensino médio.

Figura 1- Troca de energia sob forma de calor, de trabalho ou de ambos, com suas vizinhanças (ambiente), em um sistema termodinâmico.



Fonte: Sears, 2015

Somos livres para definir o sistema de uma forma conveniente, contanto que este seja consistente e possamos levar em conta todas as transferências de energia para dentro ou para fora do sistema. Quando um sistema passa de um estado inicial para um estado final, tanto o trabalho (W) realizado como o calor (Q) transferido dependem do modo como a mudança é executada. Os experimentos, porém, revelaram algo interessante: A diferença $Q - W$ depende apenas dos estados inicial e final, e não da forma como o sistema passou de um estado para o outro. Todas as outras combinações das grandezas Q e W , como Q apenas, W apenas, $Q + W$, $Q - 2W$, Q , dependem da trajetória, apenas, $Q - W$ é independente. Esse fato sugere que a grandeza, $Q - W$ é uma medida da variação de uma propriedade intrínseca do sistema. Chamamos essa propriedade de energia interna (U) e escrevemos $U_{final} - U_{inicial} = \Delta U = Q - W$. A expressão $\Delta U = Q - W$ é a expressão matemática da **primeira lei da termodinâmica**.

Caso o sistema sofra apenas uma variação infinitesimal, podemos escrever a primeira lei na forma $dU = dQ - dW$. Nesta equação, dU é a diferencial da função energia interna. Entretanto, nem dQ nem dW são diferenciais de nenhuma função. A rigor, dQ representa meramente uma pequena quantidade de energia transferida para ou pelo sistema, em virtude de aquecimento ou resfriamento, e dW representa uma pequena quantidade de energia transferida para ou pelo sistema, através de um trabalho realizado sobre ele ou por ele.

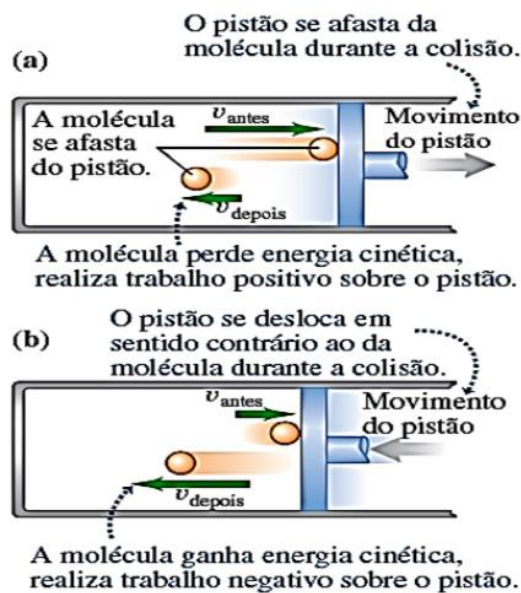
3.2 Trabalho realizado por gás ideal

Um gás no interior de um cilindro com um pistão móvel é um exemplo simples de sistema termodinâmico. Um motor de combustão interna, um motor a vapor, os compressores em condicionadores de ar e refrigeradores usam alguma versão desse sistema. Usaremos o sistema do gás no interior de um cilindro para estudar diversos tipos de processos termodinâmicos. Inicialmente, iremos explorar as transferências de energia na forma de trabalho, escolhendo o gás ideal como o nosso sistema termodinâmico de interesse. Vamos considerar o trabalho realizado pelo sistema durante uma variação de volume:

Podemos entender o trabalho realizado por um gás durante uma variação de volume considerando as moléculas que compõem o gás. Se uma dessas moléculas colidir com uma superfície fixa, momentaneamente ela exerce uma força sobre a superfície, mas não realiza trabalho porque a superfície não se move. Porém, quando a superfície se move, como no caso

do pistão de um motor a gasolina, a molécula realiza um trabalho sobre a superfície durante a colisão. Quando o pistão se move para direita, fazendo com que o volume do gás aumente, as moléculas que colidem com o pistão exercem uma força ao longo de uma certa distância, realizando um trabalho positivo ($W > 0$) sobre o pistão (**Figura 2a**). Se o pistão se move para esquerda, as moléculas do gás realizam um trabalho negativo ($W < 0$) sobre o pistão (**Figura 2b**).

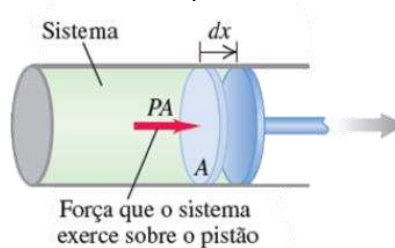
Figura 2- Um gás realiza trabalho positivo quando o volume aumenta ($\Delta V > 0$) - como em (a), e negativo quando o volume diminui ($\Delta V < 0$), como em (b)



Fonte: Sears, 2015

A **Figura 3** mostra um sistema cujo volume pode mudar, como por exemplo, um gás em um cilindro com pistão móvel.

Figura 3 - O trabalho infinitesimal realizado pelo sistema durante a pequena expansão dx é dW .



Fonte: Sears, 2015

Suponha que a secção reta do cilindro tenha área A e que a pressão exercida pelo sistema sobre a face do pistão seja igual a P . A força total F exercida pelo sistema sobre o pistão é dada por $F = PA$ (SEARS, 2015). Quando o pistão se move por uma distância infinitesimal dx , o trabalho dW realizado por essa força é

$$dW = F dx = PA dx$$

Porém,

$$A dx = dV$$

Onde dV é uma variação infinitesimal do volume do sistema. Logo, o trabalho realizado pelo sistema durante essa variação infinitesimal de volume é

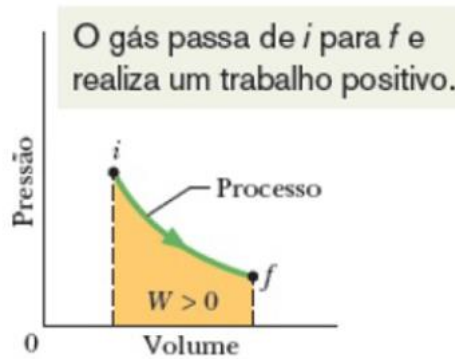
$$dW = P dV$$

Para uma variação finita de volume de V_i até V_f , temos:

$$W = \int dw = \int_{V_i}^{V_f} p dV \quad (1)$$

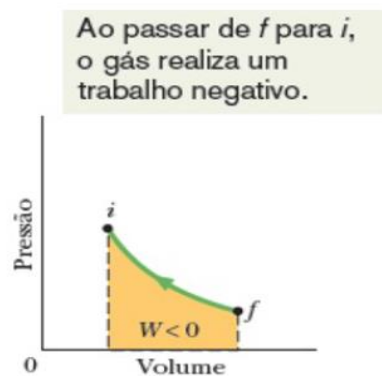
Vamos chamar a equação acima de **Equação 1**. Pode acontecer que a pressão do sistema varie durante a variação de volume, como, por exemplo, os cilindros de um motor de automóvel quando os pistões se movem para a frente e para trás. Para calcular a integral na **Equação 1**, devemos saber como a pressão do sistema varia em função do volume. Podemos representar essa função por um gráfico de P em função de V num diagrama PV conforme os **Gráficos 1 e 2** abaixo colacionados. Nessa figura, a **Equação 1** é representada graficamente pela *área* sob a curva de P em função de V entre os limites V_i e V_f , onde V_i representa o volume inicial e V_f representa o volume final. É conveniente lembrar que o trabalho é positivo quando o sistema se expande (o gás realiza trabalho sobre a vizinhança), e é negativo quando o sistema é comprimido (a vizinhança realiza trabalho sobre o gás).

Gráfico 1- A área sombreada representa o trabalho W realizado por um sistema ao passar de um estado inicial i para um estado final f .



Fonte: Halliday, 2016

Gráfico 2 - Nesse caso, o sistema vai do estado f para o estado i quando o gás é comprimido por uma força externa e o volume diminui; o trabalho realizado pelo sistema é negativo



Fonte: Halliday, 2016

No gráfico PXV, para indicar se o trabalho é realizado pelo sistema ou sobre o sistema, coloca-se, na curva, uma seta que indica o sentido da transformação. Caso o trabalho realizado em transformações sucessivas tenha sinais diferentes, o trabalho total será a soma algébrica dos trabalhos parciais, realizados em cada transformação.

3.3 Processos quase-estáticos

Se um sistema tem seu estado termodinâmico modificado, dizemos que ele sofreu um processo termodinâmico. No estudo da termodinâmica de equilíbrio nos interessa particularmente os processos cujos estados inicial e final sejam estados de equilíbrio termodinâmico. (OLIVEIRA, 2005).

Vamos considerar um sistema qualquer que experimenta um processo espontâneo, levando-o de um estado de equilíbrio a outro estado de equilíbrio. Como o processo é espontâneo, os estados intermediários não são, genericamente falando, estados de equilíbrio.

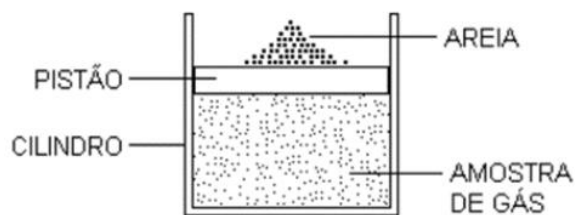
Se o processo é efetuado muito lentamente, desenvolvendo-se em etapas infinitesimais, de modo que as perturbações sejam arbitrariamente pequenas e o número delas infinitamente grande, os estados de equilíbrio sucessivos formarão uma sequência contínua; dessa forma o sistema tem tempo suficiente para atingir um estado de equilíbrio antes que uma nova perturbação aconteça. No caso, dizemos que o processo é quase-estático. Nesse tipo de processo, o sistema se encontra, em qualquer instante de tempo, num estado de equilíbrio ou bem próximo de um estado de equilíbrio. Assim, podemos considerar, com aproximação muito boa, que um processo quase-estático é constituído por uma sucessão de estados de equilíbrio. Os processos quase-estáticos têm um papel fundamental na termodinâmica de equilíbrio. (OLIVEIRA, 2005)

Imagine que um gás sofra um processo quase estático que o leve de um estado de equilíbrio inicial (i) até um estado de equilíbrio final (f). Podemos representar esses estados por dois pontos no Diagrama de Clapeyron. Como os estados intermediários do processo também são estados de equilíbrio, eles possuem, da mesma forma, representação no diagrama de Clapeyron, de modo que o processo quase estático corresponde a uma sucessão de pontos no referido Diagrama, formando uma trajetória contínua que liga os pontos (i) ao (f). É fundamental observar que processos fora do equilíbrio não têm representação no Diagrama de Clapeyron. (OLIVEIRA, 2005)

Admita, por exemplo, que um gás sofra uma expansão livre. Antes da expansão, o gás está em equilíbrio e seu estado está representado por um ponto no Diagrama de Clapeyron. Após a expansão, e assim que entrar novamente em equilíbrio, o estado do gás será representado por um outro ponto, distinto do primeiro. Todavia, esses dois pontos não estarão conectados por uma trajetória porque a expansão livre, que é um processo fora de equilíbrio, não possui representação no Diagrama de Clapeyron, ainda que os estados inicial e final o possuam.

Podemos considerar como exemplo, uma amostra de gás confinada em um cilindro com um pistão que pode se mover sem atrito. Além disso, vamos considerar que tanto o cilindro quanto o pistão estão termicamente isolados. Podemos comprimir essa amostra de gás através de um processo quase-estático colocando grãos de areia sobre o pistão, um a um, lentamente.

Figura 4- Sistema cilindro-pistão que não trocam calor com o ambiente



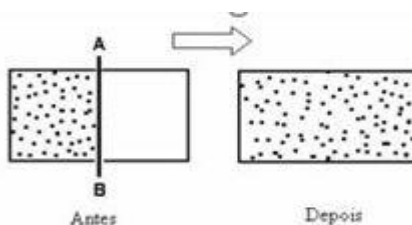
Fonte: UFSM, 2002

Ao colocarmos ou retirarmos os grãos de areia um a um, o pistão é movido lentamente, em pequenas etapas, de forma que o equilíbrio seja restabelecido depois de cada uma; dessa forma é possível comprimir ou expandir o gás de modo suficientemente devagar para permitir que ele se mantenha em equilíbrio térmico em todo processo. Nesse tipo de processo, chamado de **quase estático**, o gás passa por uma sucessão de estados de equilíbrio. O exemplo ilustrado na **Figura 4** reproduz com boa aproximação os processos quase estáticos.

3.3.1 Expansão livre

É possível acontecer que todos os estados intermediários estejam fora de equilíbrio, como ocorre com a expansão livre de um gás, que pode ser realizado da seguinte maneira: em um recipiente com dois compartimentos, um gás ocupa um dos compartimentos enquanto o outro está vazio. Em um determinado instante, a parede que separa os compartimentos é retirada de modo que o gás se expande livremente e, após um certo tempo, o equilíbrio é restabelecido num estado em que o gás ocupa todo o recipiente, conforme a figura abaixo:

Figura 5 - Recipiente dividido em dois compartimentos por uma partição AB, no qual, em um deles, há um gás confinado e no outro há vácuo



Fonte: Monteiro e Germano, 2008

2 Disponível em <<https://www.ufsm.br/cursos/graduacao/santa-maria/fisica/2020/02/21/o-que-sao-processos-quase-estaticos-reversiveis-e-irreversiveis/>>, Acesso em 02/04/2020.

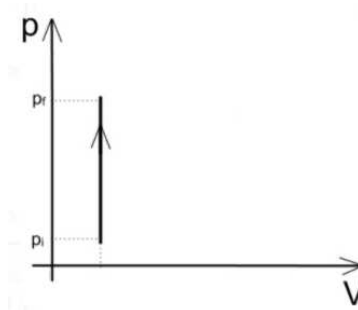
Não podemos esquecer que uma questão fulcral é: com que grau de lentidão um processo deve ser realizado para ser classificado como quase-estático? Este trabalho sempre presumirá que os processos sejam quase-estáticos. Esta é uma suposição razoável para os tipos de exemplos e de problemas que analisaremos. Processos irreversíveis serão deixados para cursos mais avançados.

3.4 Trabalho realizado a volume constante

O processo quase-estático mais simples de ser realizado é aquele em que o volume do gás permanece inalterado (constante), denominado **processo isocórico**. A curva correspondente no diagrama ($P \times V$) é simplesmente um segmento de reta paralelo ao eixo das pressões (P).

Ao introduzirmos lentamente calor ao gás, enquanto as paredes do recipiente são mantidas inalteradas (fixas), estaremos diante de um processo isocórico, isométrico ou isovolumétrico.

Gráfico 3 - Diagrama PV para uma transformação isocórica



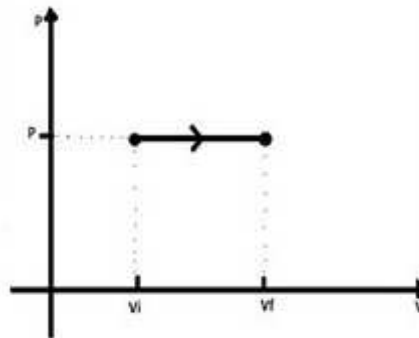
Fonte: O Autor, 2021

Se o volume de um sistema (um gás, em geral) é mantido constante, o sistema não pode realizar trabalho ($W = 0$). O trabalho será nulo para qualquer processo no qual o volume permanece constante. Vale salientar um detalhe muito importante, não é suficiente que o processo inicie e finalize com o mesmo volume; o volume precisa permanecer constante ao longo do processo para que o trabalho seja nulo.

3.5 Trabalho realizado a pressão constante

O processo quase-estático em que a pressão permanece inalterada é denominado processo isobárico. A curva correspondente denomina-se isobárica, que no Diagrama de Clapeyron é simplesmente um segmento de reta paralelo ao eixo dos volumes (V), conforme representado abaixo.

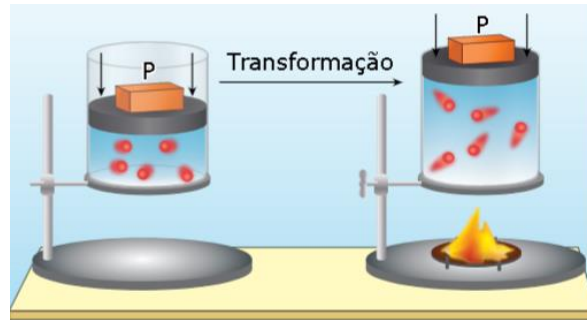
Gráfico 4 - Diagrama PV para uma transformação isobárica.



Fonte: O Autor, 2021

Suponha que um gás esteja encerrado num recipiente cilíndrico com base e paredes laterais rígidas e cujo tampo pode se mover livremente (êmbolo móvel), como na figura abaixo (**Figura 6**). Sobre o êmbolo, repousa um bloco, e o sistema, formado pelo bloco, pelo gás e pelo recipiente, encontram-se em equilíbrio mecânico. Imagine que, a partir de um certo instante, o gás seja submetido a um fluxo contínuo de calor, por exemplo, através da base do recipiente. Admita, ainda, que a transferência de calor seja suficientemente lenta para que o sistema possa ser considerado em equilíbrio mecânico a cada instante. Em razão do fluxo contínuo de calor, o gás se expande e o bloco se eleva. Levando em consideração que o bloco possui um peso fixo, a pressão do gás permanecerá constante ao longo da expansão e estaremos diante de um processo isobárico.

Figura 6- O gás no interior do cilindro sofre uma expansão isobárica, enquanto a temperatura e o volume do gás aumentam.



Fonte: Bernoulli, 2021.

Para uma transformação isobárica (pressão constante), podemos aplicar a equação 1:

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

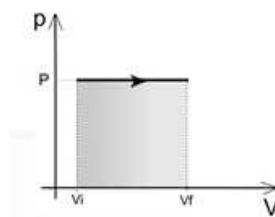
Como a pressão é constante, podemos colocá-la para fora da integral, vejamos:

$$W = P \int_{V_i}^{V_f} dV = P (V_f - V_i) \quad (2)$$

Convém lembrar que:

- Quando $V_f > V_i$, $V_f - V_i > 0$, o trabalho é positivo;
- Quando $V_f < V_i$, $V_f - V_i < 0$, o trabalho é negativo.

Gráfico 5 - O trabalho realizado pelo gás é representado no Diagrama de Clapeyron pela área sob o segmento de reta que representa o processo isobárico



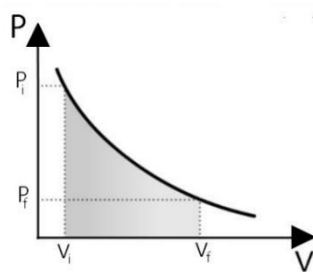
Fonte: O Autor, 2021

É conveniente destacar, que apesar do êmbolo da **Figura 6** ser perfeitamente livre para se mover, a pressão do gás dentro do cilindro é devida a pressão atmosférica e ao peso do êmbolo e do bloco colocado sobre o êmbolo.

3.6 Trabalho realizado a temperatura constante

Quando um gás ideal sofre uma expansão ou contração a temperatura constante, a relação entre P e V é dada pela Lei de Gás Ideal ($PV = nRT$), onde PV é constante. Em um diagrama PV , o gráfico da equação $PV = k$ (constante), em um sistema de coordenadas, é uma hipérbole equilátera, conforme mostrado no **Gráfico 6** abaixo:

Gráfico 6 - Um processo realizado a temperatura constante (processo isotérmico) é representado por uma hipérbole em um diagrama PV . O trabalho realizado na mudança de volume é igual à área sob a curva entre V_i e V_f .



Fonte: O Autor, 2021.

Em um processo isotérmico, a curva hiperbólica correspondente no diagrama PV é chamada de isoterma. Para calcular o trabalho realizado pelo gás durante o processo isotérmico, partiremos da equação 1.

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV$$

Só que, agora, P não é constante.

Para um gás ideal, $PV = nRT$, então, podemos escrever P em função de V , partindo da equação de estado $P = nRT/V$

$$W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = \int_{V_i}^{V_f} \frac{nRT}{V} dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

No cálculo integral, como nRT são constantes, podem sair da integral:

$$W = nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad (3)$$

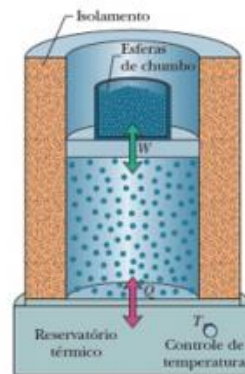
- Quando $v_f > v_i$, $\ln\left(\frac{v_f}{v_i}\right) > 0$, indicando um trabalho positivo;
- Quando $v_f < v_i$, $\ln\left(\frac{v_f}{v_i}\right) < 0$, indicando um trabalho negativo.

3.7 Trabalho realizado em isolamento térmico

Considere que no cilindro das figuras abaixo (**Figuras 7 e 8**) seja retirado o contato do gás com o reservatório térmico, colocando-o em contato com uma camada de material isolante. Dessa forma, o gás entrará em completo isolamento térmico das suas vizinhanças; caso algum trabalho seja realizado sobre ele, a sua temperatura irá mudar, ao contrário do que ocorria quando ele estava em contato com o reservatório térmico. Um processo termodinâmico que se desenvolve em isolamento térmico é chamado de processo **adiabático**. Se não houver restrições para a variação de volume do gás, o caminho que ele percorre num diagrama PV pode ser representado por uma curva como uma hipérbole. (HALLIDAY, 2016)

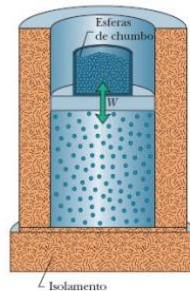
$$P V^\gamma = \text{constante}$$

Figura 7- Um gás está confinado a um cilindro com um pistão móvel. O calor Q pode ser adicionado ou retirado do gás regulando a temperatura T do reservatório térmico ajustável.



Fonte: Halliday, 2016.

Figura 8 - Uma expansão adiabática pode ser realizada removendo lentamente as esferas de chumbo do topo do pistão. É possível inverter o processo em qualquer estágio, recolocando as esferas de volta.

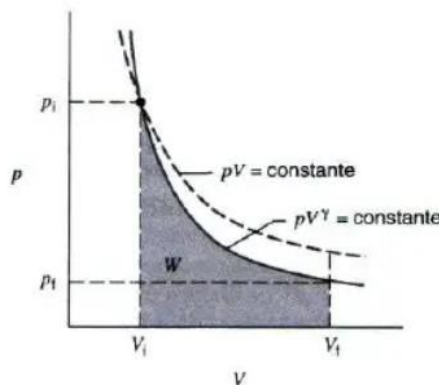


Fonte: Halliday, 2016.

Conforme perceber-se-á no gráfico abaixo (**Gráfico 7**), o parâmetro adimensional γ , chamado de razão dos calores específicos, precisa ser determinado experimentalmente para cada gás. Sendo $\gamma > 1$, a curva $P V^\gamma = \text{constante}$ é um pouco mais inclinada que a curva $P V = \text{constante}$ em qualquer ponto em que elas se interceptem. Ao observarmos o que mostra o **Gráfico 7**, o trabalho realizado pelo gás ao expandir-se adiabaticamente de V_i até V_f será de alguma forma menor em intensidade do que o trabalho realizado ao expandir-se isotermicamente entre estes mesmos dois volumes.

Podemos determinar o trabalho se ' γ ' for conhecido e também se forem conhecidos a pressão e o volume em qualquer ponto da curva. Escolhendo o ponto inicial P_i, V_i no **Gráfico 7**, onde $P V^\gamma = \text{constante}$, podemos escrever a equação como $P V^\gamma = P_i V_i^\gamma$, a fim de calcularmos o trabalho.

Gráfico 7 - Processo adiabático representado em diagrama PV, através de curva tipo hipérbole $P V^\gamma = \text{constante}$. O trabalho realizado para variar o volume é igual à área sob a curva V_i e V_f .



Fonte: O Autor, 2021

Se escrevermos $P = \frac{P_i V_i^\gamma}{V^\gamma}$ e o trabalho $W = \int_{V_i}^{V_f} \frac{P_i V_i^\gamma}{V^\gamma} dV$, como $P_i V_i$ é um ponto determinado e escolhido sobre a curva, podemos colocar $P_i V_i^\gamma$ para fora da integral.

Portanto, $W = P_i V_i^\gamma \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V^\gamma}$ (4)

$$W = P_i V_i^\gamma \left[\frac{V^{-\gamma+1}}{-\gamma+1} \right]_{V_i}^{V_f}$$

$$W = \frac{P_i V_i^\gamma}{1-\gamma} (V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma})$$

$$W = -\frac{1}{\gamma-1} P_i V_i^\gamma \left[\left(\frac{V_f}{V_i} \right)^{1-\gamma} - 1 \right] V_i^{1-\gamma}$$

$$W = -\frac{P_i V_i}{\gamma-1} \left[\left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma-1} - 1 \right] \quad (5)$$

No caso de uma expansão $V_i < V_f$ e, portanto, $\frac{V_i}{V_f} < 1$. Como $\gamma > 1$, então, $\gamma - 1 > 0$. Consequentemente, $\left(\frac{V_i}{V_f} \right)^{\gamma-1} < 1$, o que faz com que o trabalho seja positivo ($W > 0$).

Outra forma de expressarmos o trabalho adiabático é partindo da equação $W = \frac{P_i V_i^\gamma}{1-\gamma} (V_f^{1-\gamma} - V_i^{1-\gamma})$ e utilizando $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$. Desta forma, o trabalho adiabático fica $W = -\frac{1}{\gamma-1} (P_i V_i^\gamma V_f^{1-\gamma} - P_i V_i^\gamma V_i^{1-\gamma})$. Substituindo $P_i V_i^\gamma$ por $P_f V_f^\gamma$, fica $W = -\frac{1}{\gamma-1} (P_f V_f^\gamma V_f^{1-\gamma} - P_i V_i)$, resultando em $W = -\frac{1}{\gamma-1} (P_f V_f - P_i V_i)$ (6).

OBS: A demonstração de $P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma$ será feita quando abordarmos as aplicações da 1ª Lei da Termodinâmica.

3.8 Energia interna de um gás ideal

Em concordância com o que já foi estudado no capítulo de gases, a energia cinética de translação média por molécula de um gás ideal monoatômico é $K_{trans} = \frac{3}{2} K_B T$, onde K_B é a constante de Boltzmann. O seu valor no Sistema Internacional de Unidades (SI), medido com três algarismos significativos é $K_B = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K. A temperatura T precisa ser sempre expressa em Kelvins.

Se expressarmos a quantidade do gás em termos do número de moles n (o mol é uma grandeza fundamental do SI), podemos escrever

$$N = n N_A$$

Onde N é o número de moléculas e N_A é a constante de Avogadro; isto é, o número de moléculas contidas em um mol de qualquer substância. O seu valor é

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ moléculas / mol.}$$

Outra constante importante é a chamada constante molar do gás, cujo valor é

$$R = N_A \cdot K_B = 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} = 8,31 \text{ J/mol.K.}$$

Para um gás ideal monoatômico, $\frac{3}{2} K_B T$ representa o armazenamento total de energia interna porque não existe uma outra forma que a energia interna possa tomar; assim cada grau de liberdade translacional contribui com uma quantidade igual de energia para o gás, ou seja, $\frac{1}{2} K_B T$ por molécula.

Em geral, grau de liberdade refere-se ao número de meios independentes pelos quais uma molécula pode possuir energia. Uma generalização desse resultado, conhecido como teorema de equipartição de energia, afirma que cada grau de liberdade contribui com $\frac{1}{2} K_B T$ para a energia de um sistema, em que possíveis graus de liberdade são aqueles associados a translação, rotação e vibração das moléculas.

As moléculas de um gás ideal monoatômico não possuem energia potencial, ou seja, elas não podem vibrar, nem existe energia associada à sua rotação. A energia cinética translacional total de N moléculas de gás é simplesmente N vezes a energia média por molécula, que é dada pela equação

$$K_{\text{total}} = N K_{\text{trans}} = (n N_A) \left(\frac{3}{2} K_B T \right) = \frac{3}{2} n N_A K_B T \quad (7)$$

Para um gás monoatômico, a energia cinética translacional é o único tipo de energia que as partículas de um gás podem ter. Portanto, a energia interna (U) para um gás ideal monoatômico é

$$U = \frac{3}{2} n R T \quad (8)$$

Se a energia interna for alterada - realizando trabalho sobre ele ou transferindo calor para ele – a sua temperatura irá mudar de modo que

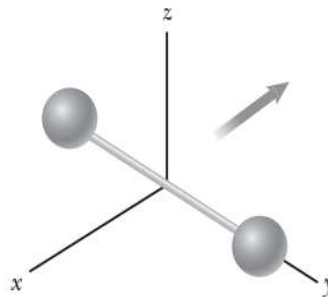
$$\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T \quad (9)$$

Vamos levar em consideração a molécula monoatômica ou pontual, como o hélio ou o neônio, que tem sido o foco da nossa atenção até aqui, mas uma molécula consistindo de duas partículas pontuais separadas por uma determinada distância. Este modelo fornece uma descrição de gases diatômicos, como o H_2 , N_2 , O_2 ou CO (monóxido de carbono). Dessa forma, torna-se necessário considerar as contribuições à energia interna do gás dos movimentos rotacionais das suas moléculas, além dos seus movimentos de translação. (RESNICK *apud* HALLIDAY, 2007)

É possível modelar um gás diatômico como sendo constituído por moléculas em forma de halteres.

De acordo com este modelo, o centro de massa das moléculas pode ser transladado nas direções x, y e z (Figura 9). Para este movimento, a molécula se comporta como partícula, tal como um átomo de um gás monoatômico.

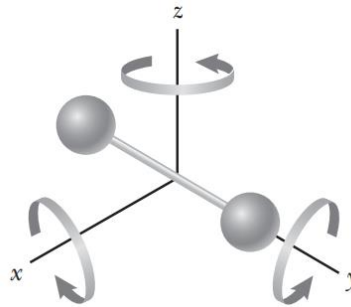
Figura 9 -Movimento translacional do centro de massa.



Fonte: Serway, 2017

Além disso, se considerarmos a molécula como um corpo rígido ela pode girar sobre três eixos perpendiculares (Figura 10).

Figura 10 - Movimento de rotação sobre os vários eixos.



Fonte: Serway, 2017

Podemos ignorar a rotação sobre o eixo y, porque o momento de inércia e a energia rotacional sobre esse eixo são desprezíveis em comparação aqueles associados aos eixos x e z. Dessa forma a energia cinética de rotação de uma molécula diatômica pode ser escrita

$$K_{\text{rot}} = \frac{1}{2} I_x \omega_x^2 + \frac{1}{2} I_z \omega_z^2 \quad (10)$$

Onde I é a inércia rotacional da molécula para a rotação em torno de um determinado eixo. Para massas pontuais, nenhuma energia cinética está associada com a rotação em torno do eixo y porque $I_y = 0$.

A energia cinética total da molécula diatômica é a soma dos seus termos de translação e rotação, ou

$$K = \frac{1}{2} m V_x^2 + \frac{1}{2} m V_y^2 + \frac{1}{2} m V_z^2 + \frac{1}{2} I_x \omega_x^2 + \frac{1}{2} I_z \omega_z^2 \quad (11)$$

Os cinco termos da equação anterior representam o número de modos distintos e independentes de armazenamento de energia através dos quais a molécula pode absorver energia, e são chamados de **graus de liberdade**. Um gás monoatômico possui três graus de liberdade, uma vez que possui somente energia cinética de translação:

$$K_{\text{trans}} = \frac{1}{2} m V_x^2 + \frac{1}{2} m V_y^2 + \frac{1}{2} m V_z^2 \quad (12)$$

Em uma molécula diatômica existem cinco graus de liberdade, três associados ao movimento de translação e dois ao de rotação. Se a energia interna de um gás deste tipo aumenta de uma quantidade ΔU , fica claro (uma vez que todas as direções do gás são equivalentes) que os três graus de liberdade de translação irão absorver a mesma quantidade de energia. De modo similar, os dois graus de liberdade de rotação irão absorver a mesma quantidade de energia, mas não existe nenhuma razão para que estas duas quantidades sejam iguais.

Contudo, James Clerk Maxwell derivou um teorema chamado Teorema da equipartição da energia, que afirma que a energia de uma molécula é dividida igualmente, na média, entre todas as formas independente nas quais a molécula pode absorver energia. Notadamente quando o número de moléculas é grande a energia média por molécula é $\frac{1}{2} K_B T$ ou $\frac{1}{2} nRT$ para cada grau de liberdade independente (HALLIDAY, 2007)

Podemos utilizar o teorema da equipartição de energia para escrever uma expressão para a energia interna de um gás ideal monoatômico. A energia media por molécula é $\frac{1}{2} K_B T$, para 3 graus de liberdade teremos $3 \cdot \frac{1}{2} K_B T$. A energia total para N moléculas é

$$U = N \left(\frac{3}{2} K_B T \right) = \frac{3}{2} N K_B T = \frac{3}{2} nRT \quad (13)$$

Para um gás diatômico, com cinco graus de liberdade, o resultado é

$$U = N \cdot 5 \cdot \frac{1}{2} K_B T = \frac{5}{2} N K_B T = \frac{5}{2} nRT \quad (14)$$

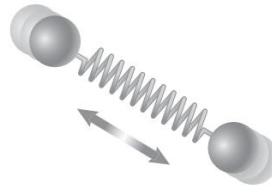
Um gás poliatômico (mais de dois átomos por moléculas) geralmente possui três eixos de rotação possíveis (a menos que os átomos estejam posicionados em uma linha reta, como para o CO_2). A energia cinética de uma única molécula terá assim um sexto termo $\frac{1}{2} I_y \omega_y^2$. A energia interna para seis graus de liberdade é

$$U = N \cdot 6 \cdot \frac{1}{2} K_B T = \frac{6}{2} N K_B T = 3nRT \quad (15)$$

As equações $\frac{3}{2} nRT$, $\frac{5}{2} nRT$ e $3nRT$ mostram um fato que é inerente no teorema da equipartição de energia - a saber, que independente da natureza das suas moléculas, A energia interna de um gás ideal depende somente da sua temperatura. Ela não depende da sua pressão ou do seu volume. (HALLIDAY, 2007)

Até aqui consideramos somente as contribuições da energia cinética de translação ou de rotação à energia interna do gás. Podemos incorporar a vibração da molécula, utilizando o modelo para a molécula diatômica, no qual os dois átomos são unidos por uma mola imaginária (**Figura 11**), estando livre para vibrar e, conseqüentemente, devido ao movimento vibracional, seriam adicionados mais dois tipos de energia associados às vibrações ao longo do comprimento da molécula, a energia potencial da mola e a energia cinética dos átomos oscilando, o que adiciona mais dois graus de liberdade, perfazendo um total de sete.

Figura 11 - Movimento vibracional ao longo do eixo.



Fonte: Serway, 2017

Dessa forma, uma molécula diatômica terá sete graus de liberdade, sendo três para translação, dois para rotação e dois para vibração; como cada grau de liberdade contribui em média com $\frac{1}{2} K_B T$ de energia por molécula, a energia interna total para um gás diatômico constituindo-se de N moléculas e levando em consideração todos os tipos de movimento é:

$$U = (3N+2N+2N)\left(\frac{1}{2} K_B T\right) = \frac{7}{2} N K_B T = \frac{7}{2} n R T. \quad (16)$$

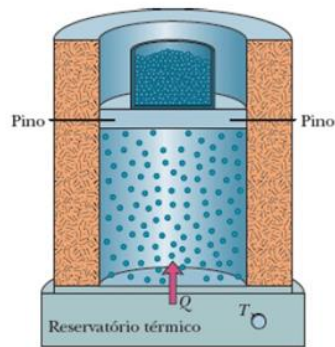
3.9 Calor específico de um gás ideal

O calor específico medido de uma substância depende da forma como o calor é adicionado a ela. Geralmente, é mais fácil de medir o calor específico de um gás mantendo-o em um recipiente fechado com volume constante. O calor específico correspondente denomina-se calor específico molar a volume constante, designado por C_v . As medidas dos calores específicos de sólidos e de líquidos geralmente são feitas mantendo-se a pressão atmosférica constante; e o calor específico correspondente denomina-se calor específico molar a pressão constante, designado por C_p . Vamos considerar C_p e C_v em um gás ideal. (SEARS, 2015)

3.9.1 Calor específico molar a volume constante

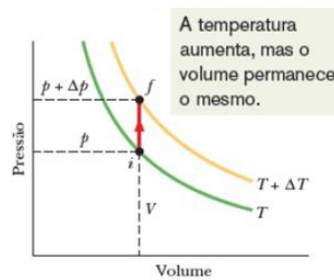
Considere um recipiente com n moles de um gás ideal, fazemos aumentar a temperatura do gás mantendo o recipiente a volume constante desprezando a dilatação térmica do recipiente (Figura 12 e Gráfico 8).

Figura 12 - A temperatura de um gás ideal é aumentada de T para $T + \Delta T$ em um processo a volume constante. É adicionado calor, mas nenhum trabalho é realizado



Fonte: Halliday, 2016

Gráfico 8 - O processo representado em um diagrama $P \times V$.



Fonte: Halliday, 2016

Quando a temperatura aumentar em um processo isocórico (Volume constante), o sistema não realiza trabalho, e consequentemente a variação da energia interna (ΔU) é igual ao calor fornecido (Q).

De acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos

$$Q = \Delta U + W \quad (17)$$

Uma vez que $W = 0$, vem

$$Q = \Delta U$$

Sendo $Q = n C_v \Delta T$ e $\Delta U = \frac{3}{2} n R \Delta T$ para um gás ideal monoatômico fica

$$n C_v \Delta T = \frac{3}{2} n R \Delta T$$

$$C_v = \frac{3}{2} R \text{ (gás monoatômico)} \quad (18)$$

Repetindo esta derivação para gases diatômicos e poliatômicos, encontramos

$$n C_v \Delta T = \frac{5}{2} nRT$$

$$C_v = \frac{5}{2} R \text{ (gás diatômico) (19)}$$

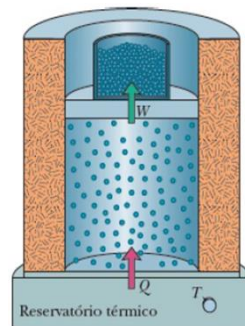
$$n C_v \Delta T = 3nRT$$

$$C_v = 3R \text{ (gás poliatômico) (20)}$$

3.9.2 Calor específico molar a pressão constante

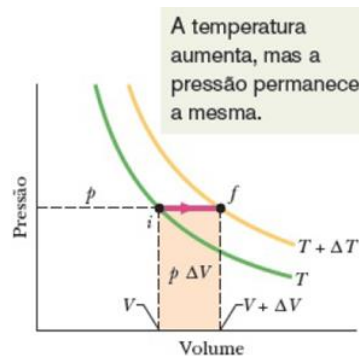
Para medir C_p , fazemos o gás expandir apenas o suficiente para manter a pressão constante enquanto sua temperatura aumenta com a adição de calor, realizando trabalho para levantar o êmbolo (**Figura 13 e Gráfico 9**).

Figura 13 - A temperatura de um gás ideal é aumentada de T para $T+\Delta T$ em um processo a pressão constante.



Fonte: Halliday, 2016

Gráfico 9 - O processo representado em um diagrama $P \times V$. O trabalho $P \Delta V$ é dado pela área sombreada.



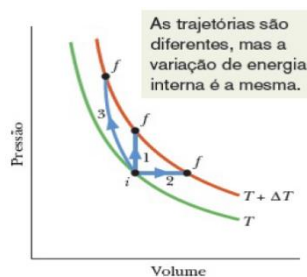
Fonte: Halliday, 2016

Quando a temperatura aumenta em um processo isobárico (pressão constante), o volume deve aumentar; caso contrário a pressão não permaneceria constante. Quando o sistema se expande, ele realiza trabalho (W) e de acordo com a primeira lei da termodinâmica, temos

$$Q = \Delta U + W$$

Para um dado aumento de temperatura, a variação da energia interna ΔU de um gás ideal apresenta sempre o mesmo valor, independente do processo (lembre-se de que a energia interna de um gás ideal depende somente de sua temperatura, e não do volume ou da pressão). A equação da primeira lei ($Q = \Delta U + W$) mostra então que o calor que entra no sistema em um processo isobárico deve ser maior que o calor que entra no sistema em um processo isocórico, porque é necessário fornecer uma energia adicional para compensar o trabalho W realizado durante a expansão. Portanto, em um gás ideal, C_p é maior que C_v . o diagrama PV no **Gráfico 10** ilustra essa relação.

Gráfico 10 - Três trajetórias representando três processos diferentes que levam um gás ideal de um estado inicial i , à temperatura T , a um estado final f , à temperatura $T + \Delta T$. A variação ΔU da energia interna do gás é a mesma para os três processos e para quaisquer outros que resultem na mesma variação de temperatura



Fonte: Halliday, 2016

No processo isocórico $Q = nC_v \Delta T$ e, sendo o volume constante, não há realização de trabalho ($W = 0$), conseqüentemente a variação da energia interna será:

$$\Delta U = Q - W$$

$$\Delta U = Q = nC_v \Delta T \quad (21)$$

Se consideramos um processo isobárico com a mesma variação de temperatura ΔT , à medida que o calor flui para dentro do sistema, ele se expande a pressão constante e realiza

trabalho. O calor que entra no gás é $Q = nC_p \Delta T$. O trabalho realizado pelo gás no processo isobárico é $W = P\Delta V = nR\Delta T$. Substituindo na equação da primeira lei:

$$Q = \Delta U + W$$

$$nC_p \Delta T = \Delta U + nR\Delta T \quad (22)$$

Agora, chegamos ao ponto principal da dedução. A variação da energia interna ΔU no processo isobárico é novamente dada pela equação $\Delta U = nC_v \Delta T$, embora agora o volume não seja constante. Uma das principais características de um gás ideal é que sua energia interna depende somente da temperatura. Portanto, a variação da energia interna em qualquer tipo de processo depende apenas da variação da temperatura. Se a equação $\Delta U = nC_v \Delta T$ for válida para um gás ideal em um dado processo, ela será válida para um gás ideal em qualquer outro tipo de processo com o mesmo ΔT . portanto podemos substituir ΔU por $nC_v \Delta T$

$$nC_p \Delta T = \Delta U + nR\Delta T$$

$$nC_p \Delta T = nC_v \Delta T + nR\Delta T$$

Ao dividirmos ambos os membros pelo fator comum $n \Delta T$, obtemos

$$C_p = C_v + R \quad (23)$$

Como havíamos previsto o calor específico molar a pressão constante de um gás ideal é maior que o calor específico molar a volume constante; a diferença é dada pela constante dos gases R .

Podemos então encontrar os calores específicos molares a pressão constante:

$$C_p = \frac{3}{2} R + R = \frac{5}{2} R \quad (24)$$

(gás monoatômico)

$$C_p = \frac{5}{2} R + R = \frac{7}{2} R \quad (25)$$

(gás diatômico)

$$C_p = 3R + R = 4R \quad (26)$$

(gás poliatômico)

Outro parâmetro de interesse, o qual pode ser diretamente medido independentemente dos valores de C_p e C_v , é a razão entre os calores específicos molares γ , definido como $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$

Nos gases C_p é sempre maior que C_v e γ é sempre maior que um.

Tabela 1- Calores específicos molares de gases a baixas pressões.

Tipo de Gás	Gás	C_V (J/mol · K)	C_P (J/mol · K)	$C_P - C_V$ (J/mol · K)	$\gamma = C_P/C_V$
Monoatômico	He	12,47	20,78	8,31	1,67
	Ar	12,47	20,78	8,31	1,67
Diatômico	H ₂	20,42	28,74	8,32	1,41
	N ₂	20,76	29,07	8,31	1,40
	O ₂	20,85	29,17	8,32	1,40
	CO	20,85	29,16	8,31	1,40
Poliatômico	CO ₂	28,46	36,94	8,48	1,30
	SO ₂	31,39	40,37	8,98	1,29
	H ₂ S	25,95	34,60	8,65	1,33

Fonte: Sears, 2016

Na última coluna da **Tabela 1** encontram-se os valores da razão entre os calores específicos, C_P/C_V , representada pela letra grega γ (gama). Nos gases, C_P é sempre maior que C_V e γ é sempre maior que 1.

3.10 Aplicações da primeira lei da termodinâmica

Muitas das propriedades do gás ideal já foram estudadas, incluindo a sua energia interna e os seus calores específicos, vamos iniciar o estudo de vários processos que um sistema composto por um gás ideal pode experimentar.

3.10.1 Processos adiabáticos

Um processo adiabático é aquele em que não ocorre nenhuma transferência de calor entre o sistema e suas vizinhanças. O sistema está bem isolado, de um modo que nenhum calor entra ou sai e, portanto, para ambos os casos $Q = 0$. Uma transferência de calor igual a zero é uma idealização, porque não há isolante térmico perfeito. Entretanto, alguns processos são quase adiabáticos. Por exemplo, se um gás é comprimido (ou expandido) muito rapidamente, não existe tempo suficiente para que ocorra um fluxo de calor apreciável, pouca energia é transferida para fora (ou para dentro) do sistema por calor e, por isso, o processo é quase adiabático.

Podemos deduzir uma relação entre as variações de temperatura e de volume em um processo adiabático infinitesimal de um gás ideal. Suponhamos que o processo seja desenvolvido lentamente, de modo que a pressão seja sempre bem definida.

Para um gás ideal podemos escrever $dU = n C_v dt$. Além disso, o trabalho realizado pelo gás é dado por $dW = P dV$. A forma diferencial da primeira lei é $dQ = dU + dW$. Na adiabática $dQ = 0$, então:

$$dU + dW = 0 \quad (27)$$

$$dU = n C_v dT$$

$$n C_v dT + dW = 0$$

$$dW = -nC_v dT$$

$$P dV = -nC_v dT \quad (28)$$

Escrevendo a equação de estado do gás na forma diferencial, temos:

$$d(PV) = d(nRT)$$

$$P dV + V dP = nR dT$$

$$-nC_v dT + V dP = nR dT \quad (29)$$

Como $C_p = C_v + R$, podemos escrever $nC_v dT + nR dT = nC_p dT$. Consequentemente, $V dP = nC_p dT$

$$\frac{V dP}{P dV} = \frac{nC_p dT}{-nC_v dT} = -\frac{C_p}{C_v} = -\gamma$$

$$V dP = -\gamma P dV$$

$$\frac{dP}{P} = -\gamma \frac{dV}{V}$$

Vamos integrar entre o estado inicial i e o estado final f :

$$\int_{P_i}^{P_f} \frac{dP}{P} = -\gamma \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V}$$

$$\ln\left(\frac{P_f}{P_i}\right) = \ln\left(\frac{V_i}{V_f}\right)^\gamma$$

$$\frac{P_f}{P_i} = \frac{V_i^\gamma}{V_f^\gamma}$$

$$P_i V_i^\gamma = P_f V_f^\gamma \quad (31)$$

Uma vez que i e f são pontos arbitrários, podemos escrever essa equação com $PV^\gamma =$ constante.

Se utilizarmos a equação de estado de um gás ideal podemos escrever em termos de temperatura (RESNICK *apud* HALLEY, 2016):

:

$$PV^\gamma = \text{constante}$$

$$(PV)V^{\gamma-1} = \text{constante}$$

$$TV^{\gamma-1} = \text{constante} \quad (32)$$

Também é possível calcular o trabalho realizado por um gás ideal durante um processo adiabático para ficar evidente o que ocorre com o gás na expansão e na compressão adiabática, em termos da temperatura.

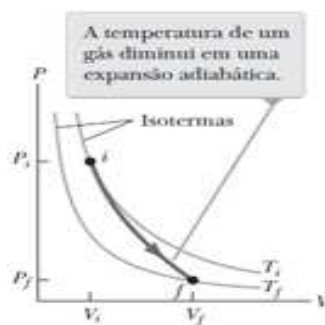
$$Q = \Delta U + W$$

$$0 = nC_v\Delta T + W$$

$$W = nC_v(T_i - T_f) \quad (33)$$

Se o processo adiabático é uma expansão (o gás realiza trabalho), a temperatura inicial (T_i) é maior que a temperatura final (T_f). A temperatura diminui e o trabalho é positivo (**Gráfico 11**).

Gráfico 11 - Diagrama PXV para uma expansão adiabática de um gás ideal.



Serway, 2017

No caso da compressão adiabática a temperatura aumenta e o trabalho é negativo (o gás recebe trabalho).

3.10.2 Processos isotérmicos

Em um processo isotérmico a temperatura permanece constante. Se o sistema é um gás ideal, então a energia interna também deve permanecer constante. Com $\Delta U = 0$ a primeira lei da termodinâmica fornece

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = W \text{ (processo isotérmico) } (34)$$

Se uma quantidade de trabalho W (negativo) é realizado sobre o gás, uma quantidade equivalente de calor é liberada pelo gás para a vizinhança. Nenhum trabalho realizado sobre o gás permanece com o gás armazenado na forma de energia interna.

3.10.3 Processos isovolumétricos

Se o volume do gás permanece constante ele não pode realizar trabalho. Com $W = 0$, a primeira lei da termodinâmica fornece

$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = \Delta U \text{ (processo isocórico) } (35)$$

Neste caso, todo o calor que o gás recebe ($Q > 0$) é armazenado como energia interna ($\Delta U > 0$).

3.10.4 Processos cíclicos

Um processo é cíclico quando temos uma sequência de operações que levam o sistema de volta ao seu estado inicial. Uma vez que o processo começa e termina no ponto A (figura 18), a variação da energia interna para o ciclo é nula. Assim, de acordo com a primeira lei,

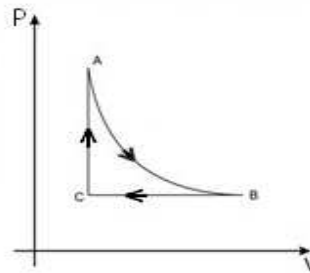
$$Q = \Delta U + W$$

$$Q = W \text{ (processo cíclico) } (36)$$

Onde Q e W representam os totais para o ciclo.

No **Gráfico 12**, o trabalho total é positivo porque a área positiva sob a curva entre os pontos A e B é superior a área negativa entre os pontos B e C. Assim o $W > 0$ e o $Q > 0$. Qualquer ciclo que se desenvolva no sentido horário é necessário que $W > 0$ e $Q > 0$, enquanto ciclos no sentido anti-horário tem $W < 0$ e $Q < 0$.

Gráfico 12 - Um gás experimenta um processo cíclico que inicia no ponto A e após passar pelos pontos C e B, retorna ao ponto A



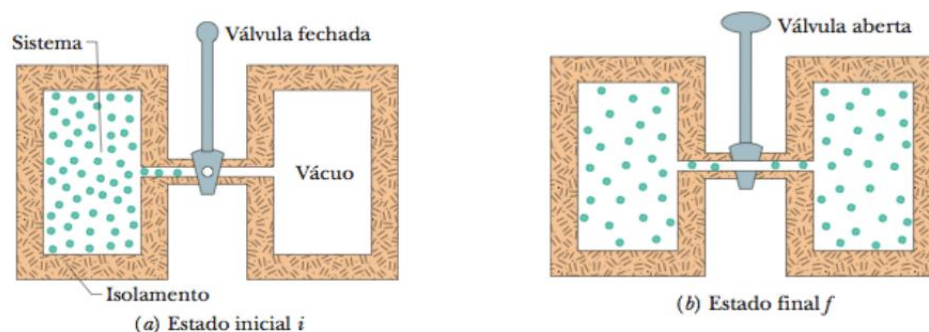
Fonte: O autor, 2021

Um ciclo termodinâmico é uma sequência de processos que se repetem, e como esse processo precisa ser repetido diversas vezes, as máquinas térmicas operam com algum tipo de ciclo termodinâmico. No nosso trabalho iremos abordar alguns desses ciclos.

3.11 Expansão livre

Quando falamos do trabalho realizado por um gás, destacamos a importância dos processos quase-estático e da expansão livre.

Figura 14 (a) e (b) - Expansão livre



Fonte: Ronai, 2016

O gás está inicialmente dentro de uma das partes do recipiente, como na **Figura 14 (a)**, e quando a válvula é aberta, o gás se expande na metade previamente evacuada, como na **Figura 14 (b)**. Nesse processo, pesos não podem ser levantados, de modo que nenhum trabalho é

realizado. O recipiente é isolado, de modo que o processo é adiabático. Portanto, com $W = 0$ e $Q = 0$, a primeira lei fornece $\Delta U = 0$ (expansão livre).

Dessa forma, a energia interna de um gás ideal submetido a uma expansão livre permanece constante, e como a energia interna de um gás ideal depende somente da temperatura, a sua temperatura também deve permanecer constante. A expansão livre é um bom exemplo de um processo fora do equilíbrio.

Se o gás possui uma pressão e um volume bem definidos (e, portanto, a temperatura), podemos mostrar o estado do gás como um ponto em um diagrama PV . A atribuição de uma temperatura ao gás significa que ele precisa estar em equilíbrio térmico; portanto, cada ponto em um diagrama PV representa um sistema em equilíbrio. No caso da expansão livre, o estado inicial (todo o gás de um lado) é um estado de equilíbrio, assim como o estado final; todavia, nos estados intermediários, enquanto o gás está em trânsito de um lado para o outro, a temperatura e a pressão não têm valores únicos e não é possível desenhar esse processo em um diagrama PV . Somente os pontos inicial e final aparecem no gráfico. Entretanto, a primeira lei pode ser utilizada para analisar este processo, porque a variação na energia interna depende somente dos pontos inicial e final.

3.12 A segunda lei da Termodinâmica

A primeira lei da termodinâmica, estudada anteriormente, tem como essência o princípio da conservação da energia. Esse princípio não coloca nenhuma restrição aos tipos de conversões de energia que podem ocorrer. Entretanto, podemos pensar em alguns processos nos quais a energia se conserva, mas que são improváveis de ocorrer na prática. Os processos termodinâmicos que ocorrem na natureza são todos processos irreversíveis e ocorrem apenas em um determinado sentido, não havendo reversão, ou seja, não existindo “o sentido contrário”. Quando um livro desliza sobre uma mesa, sua energia mecânica é convertida em calor pelo atrito; esse processo é irreversível, pois ninguém jamais observou o processo inverso (no qual um livro que estivesse em repouso sobre a mesa começasse a se mover espontaneamente e a temperatura do livro e da mesa comesçassem a diminuir). É a segunda lei da termodinâmica que determina qual é o sentido preferencial desses processos.

A segunda lei da termodinâmica estabelece condições que nos permite decidir se uma transformação pode ou não ocorrer. Muitos processos termodinâmicos ocorrem naturalmente

em um dado sentido, mas não em sentido oposto. Por exemplo, o calor sempre flui de um corpo quente (maior temperatura) para um corpo frio (menor temperatura), nunca em sentido contrário. O fluxo de calor de um corpo frio para um corpo quente não violaria a primeira lei da termodinâmica, pois a energia seria conservada. Todavia, isso não ocorre na natureza. A exemplo disso, visualizemos uma bola de borracha que quicou no chão diversas vezes e, finalmente, ficou em repouso; a energia potencial gravitacional original do sistema bola-terra transformou-se em energia interna na bola e no chão. No entanto, uma bola que está no chão nunca acumula energia interna do chão e começa a quicar sozinha. Essas situações ilustram os processos irreversíveis; ou seja, eles ocorrem de modo natural somente em uma direção. Apesar desse sentido preferencial de todo processo natural, podemos imaginar uma classe de processos idealizados que poderiam ser reversíveis. Um sistema que realiza esse processo reversível ideal está sempre próximo do equilíbrio termodinâmico com as vizinhanças e no interior com o próprio sistema. Qualquer mudança de estado que ocorra pode ser invertida (forçada a realizar-se no sentido contrário), produzindo-se variações infinitesimais nas condições do sistema. Por exemplo, o fluxo de calor entre dois corpos com uma diferença de temperatura infinitesimal entre si pode ser invertido variando apenas levemente uma ou outra temperatura. Um processo reversível é uma idealização que não pode ser realizada com precisão no mundo real. Entretanto, fazendo o gradiente de pressão e o gradiente de temperatura muito pequenos, podemos manter o sistema muito próximo do seu estado de equilíbrio, e o processo pode se tornar aproximadamente reversível.

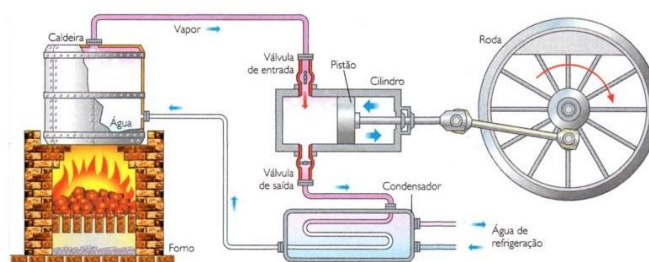
A segunda lei da termodinâmica estabelece quais processos naturais que ocorrem e quais não ocorrem. Essa lei determina limites fundamentais para a eficiência de uma máquina ou de uma usina elétrica; também estipula limites para a energia mínima que deve ser fornecida a um refrigerador, sendo diretamente relevante para muitos problemas práticos importantes.

3.12.1 Máquinas térmicas

Um aparelho muito útil na compreensão da segunda lei da termodinâmica é a máquina térmica, que corresponde a um aparelho receptor de energia na forma de calor e, operando em ciclo, lança uma fração dessa energia por meio de trabalho. O primeiro dispositivo prático para transformar calor em trabalho foi a máquina a vapor (**Figura 15**), símbolo da revolução industrial. Esta máquina ferve água para obter vapor a alta pressão e, depois, usa o vapor para empurrar um pistão e realizar trabalho. Uma vez que, ao queimar combustível, obtém-se vapor

de água que percorre um circuito até chegar a um cilindro. Dentro do cilindro, o vapor de água empurra um pistão, onde, por sua vez, ao se deslocar, move uma roda. Quando o pistão alcança o extremo do cilindro, a válvula de saída se abre, liberando o vapor, e o pistão, empurrado pela roda, retoma à sua posição inicial, atingindo a outra extremidade do cilindro. Desta forma, a válvula de saída se fecha e a de entrada volta a se abrir, fazendo com que o ciclo se inicie novamente. O efeito final obtido é o giro contínuo da roda. Vejamos ilustração abaixo:

Figura 15 - Esquema de funcionamento de uma máquina a vapor.



Fonte: Torres, 2020

Os Séculos XIX e XX testemunharam o desenvolvimento da turbina a vapor, do motor a gasolina, do motor a jato e de outros dispositivos que transformam o calor da queima de combustíveis em trabalho útil.

“Máquina térmica” é o termo genérico que se usa para qualquer dispositivo que, por meio de um processo cíclico, transforma energia térmica em trabalho. A usina de energia mostrada na foto abaixo (**Figura 16**) e o motor de seu carro são exemplos de máquinas térmicas.

Figura 16 - Nuvens de vapor que sobem das torres de refrigeração de uma grande usina de geração de energia elétrica



Fonte: Knight, 2009

Um conceito intrinsecamente relacionado é o de refrigerador, um dispositivo que usa trabalho para transferir energia térmica de um local com menor temperatura para um local com

maior temperatura. Nosso objetivo é explorar os princípios físicos que todas as máquinas térmicas e todos os refrigeradores devem satisfazer. Constatemos que a segunda lei da termodinâmica impõe graves restrições ao máximo rendimento possível para as máquinas térmicas e os refrigeradores.

Um reservatório de energia é um objeto ou uma parte da vizinhança tão grande que sua temperatura não sofre variação quando o calor é transferido entre o sistema e o reservatório. Um reservatório a uma temperatura maior que a do sistema é chamado de reservatório quente. Um reservatório a uma temperatura menor que a do sistema é chamado de reservatório frio. Usaremos os símbolos T_Q e T_F para representar as temperaturas dos reservatórios quentes e frios, respectivamente. Os reservatórios são idealizações da mesma categoria que as superfícies desprovidas de atrito e os barbantes de massa desprezível. Nenhum reservatório real é capaz de manter uma temperatura perfeitamente constante à medida que o calor é transferido para dentro ou para fora dele. Mesmo assim, um objeto pode ser considerado como um reservatório se ele for muito maior do que o sistema com o qual interage termicamente.

Todas as máquinas térmicas absorvem calor de uma fonte a temperaturas relativamente altas, realizam algum trabalho mecânico e descartam ou rejeitam algum calor a uma temperatura mais baixa. Do ponto de vista da máquina, o calor rejeitado é desperdiçado. No motor de combustão interna, o calor desperdiçado é o liberado nos gases quentes de exaustão e no sistema de resfriamento; em uma turbina a vapor, é o calor que precisa ser transferido a partir do vapor usado para condensar e reciclar a água. Quando um sistema executa um processo cíclico, sua energia interna inicial é igual a energia interna final, de modo que a primeira lei da termodinâmica exige que

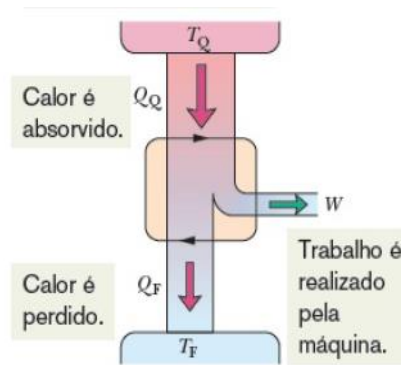
$$Q = \Delta U + w \quad \text{e} \quad \Delta U = U_F - U_I = 0$$

$$\text{Logo, } Q = W \quad (37)$$

Ou seja, o calor total que flui para o interior da máquina térmica durante o ciclo é igual ao trabalho líquido realizado pela máquina.

Em uma turbina a vapor, as chamas e os gases quentes na caldeira constituem o reservatório quente, e a água fria e o ar empregados para condensar e resfriar o vapor usado constituem o reservatório frio. Podemos representar as transformações de energia em uma máquina térmica usando um diagrama de fluxo de energia, como mostra a **Figura 17**.

Figura 17 - Esquema de uma máquina térmica



Fonte: Halliday, 2016

As duas setas pretas horizontais no centro representam uma substância de trabalho operando em ciclos, como em um diagrama $P \times V$. Uma energia $|Q_q|$ é transferida na forma de calor da fonte quente, que está 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, que está à temperatura T_f . Um trabalho W é realizado pela máquina térmica (na realidade, pela substância de trabalho) sobre o ambiente. Inicialmente, vamos relembrar que o W signifique o Trabalho realizado pela máquina térmica sobre o ambiente durante um ciclo. Aplicando a primeira lei da termodinâmica, temos $W = |Q_q| - |Q_f|$.

Certamente, gostaríamos que todo o calor Q_q fosse convertido em Trabalho; nesse caso, teríamos $Q_q = W$ e $Q_f = 0$. A experiência mostra que isso é impossível. Sempre existe um calor desperdiçado e, conseqüentemente, Q_f nunca é igual a zero.

Por razões práticas, gostaríamos que uma máquina realizasse a máxima quantidade de trabalho com a mínima quantidade de combustível. É possível medir o desempenho de uma máquina térmica em termos de seu **rendimento térmico** (η), definido como:

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{\text{benefício}}{\text{custo}} = \frac{\text{o que você obtém}}{\text{o que você tem que fornecer}} \quad (38)$$

Também podemos calcular o rendimento térmico como:

$$\eta = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|} = 1 - \frac{Q_f}{Q_q} \quad (39)$$

Onde $|Q_f|$ é o calor absorvido pela máquina e $|Q_q|$ é o calor rejeitado pela máquina.

Convém lembrar que o rendimento (η) é o quociente entre duas energias e, portanto, é uma grandeza adimensional, um número puro sem unidades. Naturalmente, sempre é necessário usar as mesmas unidades para W , Q_f e Q_q .

A equação $\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|}$ mostra que para uma máquina térmica ter 100% de rendimento ($\eta = 1$) é necessário $Q_f = 0$ (isto é, não há calor rejeitado para o reservatório frio). Em outras palavras, a máquina térmica com rendimento perfeito teria que converter totalmente o calor retirado do reservatório quente (Q_q) em trabalho com 100% de rendimento.

Essa informação, obtida com base experimental, é o enunciado da segunda lei da termodinâmica, relativa à máquina térmica.

3.12.2 O Enunciado da Kelvin-Planck da segunda lei da termodinâmica

É impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos que produzam o único efeito de extrair calor de um reservatório e realizar uma quantidade equivalente de trabalho.

A palavra ciclo nesse enunciado é importante, porque, para um processo que não seja cíclico, é possível converter calor completamente em trabalho. Um gás ideal que sofre uma expansão isotérmica é um exemplo disso. Todavia, após a expansão, o gás não se encontra em seu estado original. Para fazer com que o gás retorne ao seu estado original, deve ser realizado trabalho sobre ele, e uma certa quantidade de calor deve ser cedida.

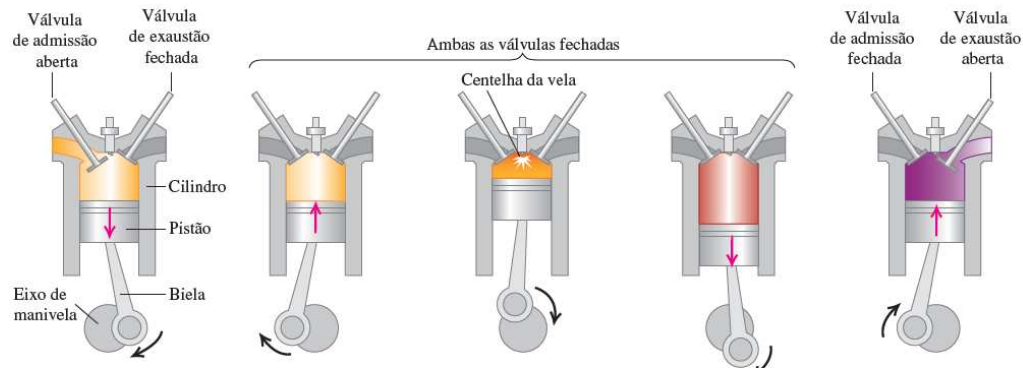
Um ciclo termodinâmico é uma sequência de processos (como expansão, aquecimento ou compressão) que se repetem; são realizados por algum fluido - chamado, muitas vezes, de fluido de trabalho), como um gás ou um líquido que faz funcionar o motor (TIPLER, 2006)

3.12.3 Ciclos termodinâmicos

A seguir, vamos descrever, brevemente, alguns ciclos mais conhecidos e calcular seus rendimentos, supondo sempre que o fluido que os execute seja um gás ideal com coeficiente adiabático γ :

1. O Ciclo de Otto foi implementado pela primeira vez pelo engenheiro alemão Nikolaus Otto, em 1876, e representa, de forma idealizada, o que ocorre no motor a gasolina. O motor comum de combustão interna à gasolina é do tipo de quatro tempos, assim chamado porque num ciclo se processam quatro transformações; A **Figura 18** mostra o ciclo de um motor em combustão interna de quatro tempos.

Figura 18 - Ciclo de um motor de combustão interna de quatro tempos



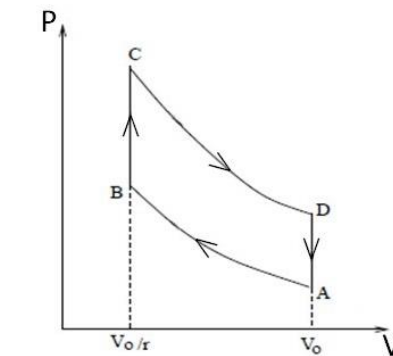
Fonte: Sears, 2015

Da esquerda para direita, temos:

- Tempo de admissão: Começando com um pistão no topo de seu curso. O pistão, então, se move para baixo, produzindo um vácuo parcial no cilindro. Durante o movimento para baixo, uma mistura explosiva de ar e vapor de gasolina entra através da válvula de admissão, mantendo-a aberta e fechando a válvula de descarga.
- Tempo de compressão: No fim do curso do pistão, a válvula de admissão se fecha e o pistão começa a subir, realizando uma compressão aproximadamente adiabática da mistura ar-gasolina.
- Ignição: No fim – ou próximo ao fim – do tempo ascendente, uma centelha elétrica produz a ignição da mistura de ar e vapor de gasolina, e a combustão se processa muito rapidamente. A pressão e a temperatura crescem a volume constante. A vela de ignição tem como função produzir uma centelha elétrica que dará início à combustão, ou seja, queima da mistura do ar combustível
- Tempo motor: Os gases queimados expandem-se de maneira aproximadamente adiabática, movendo o pistão e realizando trabalho.
- Tempo de exaustão: No fim do tempo motor, a válvula de descarga (exaustão) se abre. A pressão no interior do cilindro cai rapidamente até o valor da pressão atmosférica e o pistão, ao subir, no tempo de exaustão, expulsa a maior parte dos gases restantes. A válvula de descarga fecha-se e a de admissão se abre, iniciando um novo ciclo.

Vamos analisar o Ciclo Otto, determinando o seu rendimento (η) em função da razão de compressão (r)

Gráfico 13 - Ciclo Otto sem a fase de injeção e compressão final, formado por duas adiabáticas ($Q = 0$) e duas isocóricas (Volume constante).



Fonte: O autor, 2009

A razão da compressão (r) pode ser vista no diagrama PXV, sendo dada por:

$$r = \frac{V_A}{V_B} = \frac{V_D}{V_C} \text{ já que } V_A = V_D \text{ e } V_B = V_C \quad (40)$$

O rendimento de um ciclo termodinâmico é definido por $\eta = \frac{W}{Q_q}$, onde W é o trabalho realizado no ciclo e Q_q é o calor absorvido da fonte quente. No Ciclo Otto, as trocas de calor ocorrem nas transformações isocóricas.

Entre B e C e entre D e A, o volume é constante e, consequentemente, o $W = 0$, por isso $Q = \Delta U + W$ e $Q = \Delta U$.

Como $T_c > T_b$, $\Delta U > 0$, e $Q > 0$ esse é o calor $Q_q = n C_v (T_c - T_b) > 0$. (41)

Como $T_A < T_D$, $\Delta U < 0$ e $Q < 0$ esse é o calor $Q_f = n C_v (T_A - T_D) < 0$. (42)

O rendimento do ciclo é dado por:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|} \quad (43)$$

$$\eta = 1 - \frac{|nC_v(T_A - T_D)|}{|nC_v(T_C - T_D)|} = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} \quad (44)$$

Para escrever o resultado em função de r , $PV^\gamma = \text{constante}$ e $TV^{\gamma-1} = \text{constante}$.

Nos trechos em que a transformação é adiabática:

$$T_A V_A^{\gamma-1} = T_B V_B^{\gamma-1} \longrightarrow \frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1}$$

$$T_C V_C^{\gamma-1} = T_D V_D^{\gamma-1} \longrightarrow \frac{T_D}{T_C} = \left(\frac{V_C}{V_D}\right)^{\gamma-1}$$

Como $V_A = V_D$ e $V_B = V_C$ (isocóricas), podemos escrever:

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{T_D}{T_C} \quad \text{ou} \quad \frac{T_D}{T_A} = \frac{T_C}{T_B}$$

$$\eta = 1 - \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_A \left(\frac{T_D}{T_A} - 1\right)}{T_B \left(\frac{T_C}{T_B} - 1\right)} = 1 - \frac{T_A}{T_B} \quad (45)$$

Como $\frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{V_B}{V_A}\right)^{\gamma-1}$ e $r = \frac{V_A}{V_B}$, então, $\frac{V_A}{V_B} = \frac{1}{r}$; portanto, $\frac{T_A}{T_B} = \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1}$

Em suma, a expressão para o rendimento será:

$$\eta = 1 - \left(\frac{1}{r}\right)^{\gamma-1} \quad (46)$$

O rendimento pode ser melhorado aumentando-se o valor da taxa de compressão r . No entanto, essa taxa é limitada, pois, seu aumento também acarreta aumento da temperatura no final da compressão adiabática. Se esta for alta demais, a mistura explodirá espontânea e prematuramente, antes da ocorrência da centelha, em vez de queimar corretamente após a ignição, pela centelha da vela.

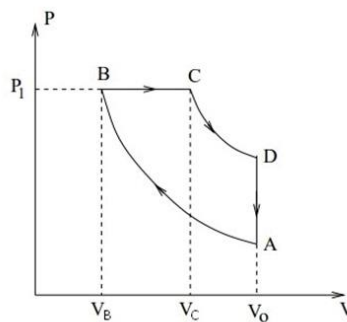
Esse fenômeno, conhecido como pré-ignição, resulta em perda de potência de motor, pois a explosão antecipada gera uma força que começa a empurrar o pistão para baixo, enquanto ele ainda está subindo. A taxa de octanagem da gasolina mede suas qualidades antidetonantes e, por isto, combustíveis de alta octanagem são mais resistentes à pré-ignição e podem operar sob altas taxas de compressão.

O Ciclo de Otto, que acabamos de analisar, é um modelo altamente idealizado. Ele supõe que a mistura se comporte como um gás ideal, desprezando o atrito, a turbulência e a perda de calor para as paredes, assim como para o cilindro e outros efeitos que se combinam para diminuir o rendimento da máquina real.

2. O Ciclo de Diesel representa, de forma também idealizada, o funcionamento de um outro tipo de motor à combustão interna, que opera os motores a diesel de caminhões e utilitários, por exemplo. Nele a ignição da combustão é feita pelo próprio aquecimento causado pela compressão. O ar é introduzido no cilindro no tempo de admissão e comprimido adiabaticamente durante a compressão, até atingir uma temperatura suficientemente alta para que o óleo combustível, injetado no fim desse tempo, possa

queimar no cilindro sem necessitar de ignição por meio de centelha. Foi inventado pelo engenheiro alemão Rudolf Diesel, em 1897, e permite taxas de compressão maiores que as dos motores que funcionam com o ciclo Otto. No **Gráfico 14**, abaixo apresentado, temos a representação de um ciclo Diesel de quatro tempos. AB e CD são adiabáticas; a ignição ocorre à pressão constante (etapa BC), sem necessidade de uma faísca. A razão $r_c = V_o/V_b$ entre os volumes máximo e mínimo é chamada taxa de compressão, e a razão $r_e = V_o/V_c$ é a taxa de expansão adiabática.

Gráfico 14 - Ciclo Diesel formado por duas adiabáticas (AB e CD), uma isobárica (BC) e uma isocórica (DA).



Fonte 1: O Autor, 2021.

Vamos analisar o ciclo de Diesel, determinando o seu rendimento em função das taxas de compressão e de expansão. Convém lembrar que se trata de um gás ideal com coeficiente adiabático γ .

Para determinarmos o rendimento de uma máquina térmica, será utilizada a equação abaixo:

$$\eta = \frac{W}{Q_q} = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|}$$

No ciclo representado no gráfico, temos:

$$|Q_q| = |Q_{BC}| \rightarrow \text{calor absorvido pela máquina;}$$

$$|Q_f| = |Q_{DA}| \rightarrow \text{calor rejeitado pela máquina.}$$

- Nos trechos AB e CD, temos duas adiabáticas e, por isso, $Q = 0$.
- No trecho isobárico BC: $Q_{BC} = nC_p(T_C - T_B)$.

Como $T_C > T_B$, $Q_{BC} > 0$, portanto, $Q_{BC} = |Q_{BC}| = |Q_q|$.

- No trecho isocórico DA: $Q_{DA} = nC_v(T_A - T_D)$. Como $T_A < T_D$, $Q_{DA} < 0$, faremos $|Q_{DA}| = nC_v(T_D - T_A)$.

Dessa forma, a expressão do rendimento fica $\eta = 1 - \frac{nC_v(T_D - T_A)}{nC_p(T_C - T_B)}$, lembrando, ainda, que $\gamma = \frac{C_p}{C_v} \rightarrow \eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)}$. Essa expressão representa o rendimento em função das temperaturas. O nosso objetivo é encontrar a expressão do rendimento em função das taxas de compressão e de expansão adiabáticas. Convém lembrar que $r_c = \frac{V_0}{V_B}$ e $r_e = \frac{V_0}{V_C}$.

Escreverei as temperaturas T_A, T_D e T_C em funções de T_B ; além disso, eliminarei as pressões das equações para que apareçam os volumes:

• **Isobárica BC:**

$$\frac{V_C}{T_C} = \frac{V_B}{T_B} \rightarrow T_C = \frac{V_C}{V_B} T_B \quad (47)$$

• **Adiabática CD:**

$$P_C V_D^\gamma = P_D V_D^\gamma \rightarrow P_D = \frac{P_1 V_C^\gamma}{V_0^\gamma} \quad (48)$$

$$\frac{P_C V_C}{T_C} = \frac{P_D V_D}{T_D} \rightarrow P_D = \frac{P_1 V_C T_D}{V_D T_C} \quad (49)$$

$$(48) = (49) \rightarrow \frac{P_1 V_C^\gamma}{V_0^\gamma} = \frac{P_1 V_C T_D}{V_D T_C} \rightarrow T_D = \frac{V_C^\gamma V_0}{V_C V_0^\gamma} T_C \quad (50)$$

$$(47) \text{ em } (50) \rightarrow T_D = \frac{V_C^\gamma V_0 V_C}{V_C V_0^\gamma V_B} T_B \rightarrow T_D = \frac{V_C^\gamma V_0}{V_0^\gamma V_B} T_B \quad (51)$$

• **Isocórica DA**

$$\frac{P_D}{T_D} = \frac{P_A}{T_A} \rightarrow T_A = \frac{P_A}{P_D} \cdot T_D \quad (52)$$

• **Adiabática AB**

$$P_A V_A^\gamma = P_B V_B^\gamma \rightarrow P_1 = \frac{P_A V_0^\gamma}{V_B^\gamma} \quad (53)$$

$$\frac{P_A V_A}{T_A} = \frac{P_B V_B}{T_B} \rightarrow P_1 = \frac{P_A V_0}{V_B T_A} T_B \quad (54)$$

$$(53) = (54) \rightarrow \frac{P_A V_0^\gamma}{V_B} = \frac{P_A V_0 T_B}{V_A T_A} \rightarrow T_A = \frac{V_B^\gamma V_0}{V_B V_0^\gamma} T_B \quad (55)$$

Substituiremos as temperaturas na expressão de rendimento:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \frac{(T_D - T_A)}{(T_C - T_B)} \quad (56)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\frac{V_C^\gamma V_0}{V_B V_0^\gamma} T_B - \frac{V_B^\gamma V_0}{V_B V_0^\gamma} T_B}{\frac{V_C}{V_B} T_B - T_B \frac{V_B}{V_B}} \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left(\frac{\frac{V_C^\gamma V_0}{V_0^\gamma} - \frac{V_B^\gamma V_0}{V_0^\gamma}}{V_C - V_B} \right)$$

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left[\frac{\left(\frac{V_C}{V_0}\right)^\gamma - \left(\frac{V_B}{V_0}\right)^\gamma}{\left(\frac{V_C}{V_0}\right) - \left(\frac{V_B}{V_0}\right)} \right]$$

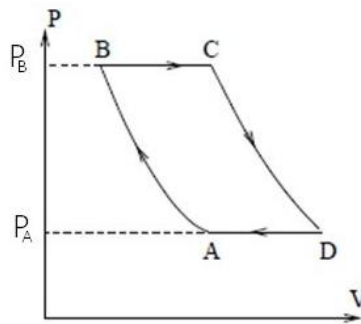
Escrevendo em função as taxas de compressão e de expansão, temos:

$$\eta = 1 - \frac{1}{\gamma} \left[\frac{\left(\frac{1}{r_e}\right)^\gamma - \left(\frac{1}{r_c}\right)^\gamma}{\frac{1}{r_e} - \frac{1}{r_c}} \right] \quad (57)$$

Um detalhe interessante é que, no motor Diesel, a combustão não é tão simples como no motor a gasolina, pois não existe combustível no cilindro durante a maior parte do tempo de compressão e, por isso, não pode ocorrer a pré-ignição; logo, a razão da compressão r_c pode ser muito maior que a de um motor a gasolina.

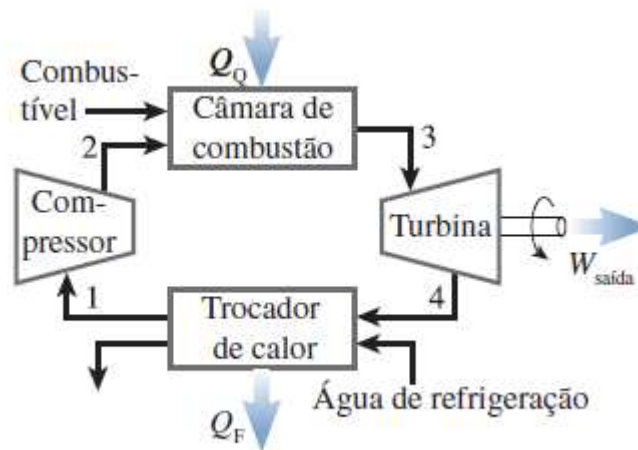
3. O Ciclo Joule ou Ciclo Brayton, representado nas **Figuras 19 e no Gráfico 15**, é uma idealização do que ocorre em uma turbina a gás. Turbinas a gás são usadas para geração de energia em usinas termoeletricas e servem de base para motores a jato em aeronaves e foguetes.

Figura 19 - Esquema de uma turbina de gás



Fonte: Knight, 2009.

Gráfico 15 - Ciclo Joule ou Brayton formado por duas adiabáticas e duas isobáricas.



Fonte: O Autor, 2021.

O gás à pressão inicial P_A é rapidamente comprimido por uma compressor. Este é um processo adiabático, em que $Q = 0$, pois não há tempo para que algum calor seja trocado com a vizinhança. Convém lembrar que uma compressão adiabática aumenta a temperatura de um gás ao realizar trabalho sobre ele, mas não por aquecimento. Sendo, $\Delta U = Q - W$ e $Q = 0$, então, $\Delta U = -W$.

Com a diminuição de volume (na compressão) o $W < 0$ e $\Delta U > 0$, o que acarreta um aumento da temperatura do gás. O gás quente vai para uma câmara de combustão. O combustível entra na câmara, onde se mistura ao gás quente e é inflamado, transferindo calor para o gás a pressão constante, aumentando ainda mais a temperatura do gás. Em seguida, o gás a alta pressão sofre uma expansão adiabática ao girar a turbina que realiza algum tipo de

trabalho útil. Novamente $Q = 0$ e $\Delta U = -W$, com o aumento de volume (na expansão) o $W > 0$ e $\Delta U < 0$, o que acarreta uma diminuição da temperatura do gás.

Ao término da expansão, através da turbina, a pressão volta a ser P_A , mas o gás ainda está bastante quente. O ciclo é completado quando o gás flui por um dispositivo denominado trocador de calor, que transfere energia térmica para um fluido de refrigeração no trocador de calor.

Vamos demonstrar o rendimento de um ciclo Brayton em função da taxa de compressão r , onde $r = \frac{P_B}{P_A} = \frac{P_C}{P_D}$. Para o cálculo do rendimento, vamos continuar utilizando a expressão da equação 43 do rendimento para as máquinas térmicas:

$$\eta = \frac{W}{|Q_q|} = \frac{|Q_q| - |Q_F|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_q|}$$

- Na **adiabática AB**: $Q = 0$
- Na **isobárica BC**: $Q_{BC} = nc_p(T_C - T_B)$. Sendo $T_C > T_B$, $Q_{BC} > 0$, portanto, $Q_{BC} = |Q_{BC}|$.
- Na **adiabática CD**: $Q = 0$
- Na **isobárica DA**: $Q_{DA} = nc_p(T_A - T_D)$. Como $T_A < T_D$; $Q_{DA} < 0$, faremos $|Q_{DA}| = nc_p(T_D - T_A)$.

Dessa forma, a expressão do rendimento fica:

$$\eta = 1 - \frac{nc_p(T_D - T_A)}{nc_p(T_C - T_B)} = 1 - \frac{T_A \left(\frac{T_D}{T_A} - 1 \right)}{T_B \left(\frac{T_C}{T_B} - 1 \right)} \quad (58)$$

Vamos utilizar para as adiabáticas, a relação $\frac{T}{P^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \text{constante}$.

• **Adiabática AB**

$$\frac{T_A}{P_A^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \frac{T_B}{P_B^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \rightarrow T_A = T_B \frac{P_A^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_B^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (59)$$

• **Adiabática CD**

$$\frac{T_C}{P_C^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} = \frac{T_D}{P_D^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \rightarrow T_D = T_C \frac{P_D^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_C^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (60)$$

$$\frac{(59)}{(60)} \rightarrow \frac{T_D}{T_A} = \frac{T_C P_D^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_C^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \cdot \frac{P_B^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{T_B P_A^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (61)$$

Como BC e DA são isobáricas, podemos escrever $P_B = P_C$ e $P_A = P_D$. Fazendo as simplificações, a equação (61) fica:

$$\frac{T_D}{T_A} = \frac{T_C}{T_B} \quad (62)$$

Substituindo na expressão do rendimento, temos:

$$\eta = 1 - \frac{T_A \left(\frac{T_D}{T_A} - 1 \right)}{T_B \left(\frac{T_C}{T_B} - 1 \right)} = 1 - \frac{T_A}{T_B} \quad (63)$$

Vamos lançar mão da equação (59) e substituir na expressão do rendimento

$$\frac{T_A}{T_B} = \frac{P_A^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}}{P_B^{\frac{\gamma-1}{\gamma}}} \quad (64)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_A}{T_B} = 1 - \left(\frac{P_A}{P_B} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (65)$$

$$\text{Como } r = \frac{P_B}{P_A} \rightarrow \frac{P_A}{P_B} = \frac{1}{r}$$

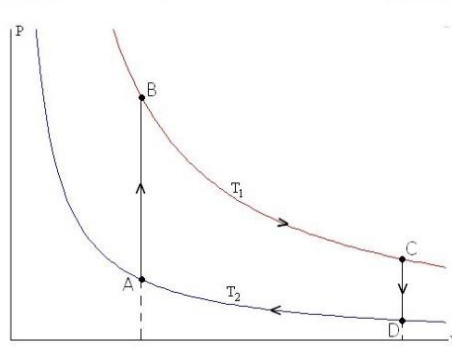
$$\text{Portanto } \eta = 1 - \left(\frac{1}{r} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (66)$$

4. O ciclo de Stirling, proposto pelo escocês Robert Stirling em 1816, descreve o funcionamento de um motor de combustão externa. É muito parecido com o ciclo de uma máquina a vapor, porém mais seguro, já que a combustão ocorre fora do motor. É também chamado “motor de ar quente”, porque pode utilizar como fluido de trabalho somente o ar aquecido pela combustão. Trata-se de um motor muito simples, pois consiste basicamente em duas câmeras com temperaturas diferentes. A dilatação do ar nessas câmeras move um pistão, gerando trabalho mecânico. Como não há emissões de poluentes por parte da substância de trabalho (gases ou ar atmosféricos), os motores Stirling são considerados de ciclo fechado. Máquinas térmicas funcionando de acordo com esse ciclo tem um rendimento alto se comparadas com as operadas por outros ciclos como o ciclo Otto ou Diesel. Seu rendimento é igual ao de um ciclo de Carnot, ou seja, trata-se de um ciclo reversível.

Os motores que funcionam por meio de ciclo de Stirling apresentam quatro tempos de funcionamento.

- 1 – Expansão Isotérmica – processo em que o ar presente no motor sofre uma expansão aproximadamente isotérmica, absorvendo calor de fontes externas (queima de carvão, chama de velas, entre outras);
- 2 – Resfriamento Isovolumétrico – o ar presente no motor transfere calor para o meio externo, mantendo-se a volume constante;
- 3 – Compressão Isotérmica – processo em que o ar contido dentro do cilindro do motor é contraído e sua pressão aumenta grandemente, em um processo que ocorre a temperatura constante.
- 4 – Aquecimento isovolumétrico – o último processo ocorre a volume constante e envolve transferência de calor da fonte quente para o ar contido dentro do cilindro do motor.

Gráfico 16 - Ciclo Stirling formado por duas isotérmicas e duas isocóricas



Fonte: O Autor, 2021

Para o cálculo do rendimento, vamos continuar utilizando a equação 43

$$\eta = \frac{W}{|Q_q|} = \frac{|Q_q| - |Q_f|}{|Q_q|} = 1 - \frac{|Q_f|}{|Q_q|}$$

Na **isotérmica BC**: $\Delta U = 0$, e como $Q = \Delta U + W$, temos: $Q_{BC} = W_{BC} = nRT_1 \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \right)$.

Ao observamos no Gráfico 16 que $V_C > V_B \rightarrow \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \right) > 0 \rightarrow W_{BC} > 0 \rightarrow Q_{BC} > 0$.

Portanto, $|Q_{BC}| = Q_{BC} = Q_F$.

Na **isotérmica DA**: $\Delta U = 0$, e como $Q = \Delta U + W$, temos: $Q_{DA} = W_{DA} = nRT_2 \ln \left(\frac{V_A}{V_D} \right)$.

Sendo $V_A < V_D \rightarrow \ln \left(\frac{V_A}{V_D} \right) < 0 \rightarrow W_{DA} < 0 \rightarrow Q_{DA} < 0$, faremos: $|Q_{DA}| = nRT_2 \ln \left(\frac{V_A}{V_D} \right)$.

Desta forma, a expressão do rendimento fica:

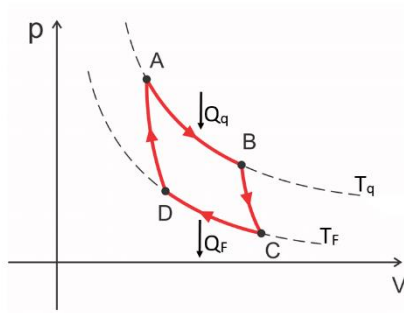
$$\eta = 1 - \frac{nRT_2 \ln \left(\frac{V_D}{V_A} \right)}{nRT_1 \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \right)} = 1 - \frac{T_2 \ln \left(\frac{V_D}{V_A} \right)}{T_1 \ln \left(\frac{V_C}{V_B} \right)} \quad (58)$$

Das **isocóricas AB e CD**, temos $V_C = V_D$ e $V_A = V_B$. Podemos, então, simplificar os logaritmos e, portanto, podemos escrever $\eta = 1 - \frac{T_2}{T_1}$, onde $T_2 = T_F$ (temperatura do reservatório frio) e $T_1 = T_q$ (temperatura do reservatório quente).

O rendimento de uma máquina operando no Ciclo Stirling é o mesmo rendimento de uma máquina operando em um Ciclo Carnot, representando o máximo de rendimento possível entre as temperaturas $T_1(T_q)$ e $T_2(T_F)$.

5. O Ciclo de Carnot - De acordo com a segunda lei da termodinâmica, não há máquina térmica com rendimento de 100%. Mas qual será o máximo de rendimento possível que uma máquina pode ter, a partir de dois reservatórios de calor a temperaturas $T_q(T_1)$ e $T_F(T_2)$? Esta questão foi respondida em 1824, pelo engenheiro francês Sadi Carnot. Este descreveu uma máquina teórica - agora chamada máquina de Carnot - de grande importância prática e teórica. Ele mostrou que uma máquina térmica operando em ciclo ideal reversível – chamado Ciclo Carnot -, entre dois reservatórios de energia, é a mais eficiente possível. Nenhuma máquina real é perfeitamente reversível; logo, uma máquina de Carnot constitui uma idealização. Apesar disso, uma análise da máquina de Carnot nos permite estabelecer o valor máximo de rendimento térmico possível que uma máquina térmica pode alcançar. Na máquina de Carnot, não faz diferença se a substância de trabalho é um gás ou um líquido. Uma máquina perfeitamente reversível é a máquina térmica mais eficiente possível; desta forma, a eficiência depende apenas da reversibilidade da máquina, não dependendo da substância de trabalho que utiliza. Qualquer máquina de Carnot que opere entre T_q e T_F deve ter exatamente o mesmo rendimento de qualquer outra máquina de Carnot operando entre **os mesmos dois** reservatórios de energia. Se pudermos determinar o rendimento térmico de uma máquina de Carnot, saberemos o rendimento térmico de todas as máquinas de Carnot. Por isso, analisaremos uma máquina de Carnot que usa um gás ideal como substância de trabalho. Para a eficiência máxima de uma máquina térmica, devemos evitar todo processo irreversível. Assim sendo, em nosso ciclo idealizado, toda transformação deve ser isotérmica ou adiabática. Além disso, o equilíbrio térmico e mecânico deve ser sempre mantido para que cada processo seja completamente reversível.

Gráfico 17 - Ciclo de Carnot para um gás ideal.



Fonte: O Autor, 2021

1) No trecho **AB**, temos uma expansão **isotérmica**:

$$Q = \Delta U + W, \text{ sendo } \Delta U = 0 \rightarrow Q_{AB} = W_{AB} \quad (59)$$

- O trabalho $W_{AB} > 0$, pois $V_B > V_A$. Então, $Q_{AB} > 0$;
- $Q_{AB} = Q_Q$ (calor recebido da fonte quente);
- $W_{AB} = nRT_Q \ln \left(\frac{V_B}{V_A} \right) = Q_{AB} = |Q_{AB}| = |Q_Q|$. (60)

2) No trecho **BC**, temos uma expansão **adiabática**:

$$T_B V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1}, \text{ sendo } T_B = T_A \text{ (isotérmica)}$$

$$T_A V_B^{\gamma-1} = T_C V_C^{\gamma-1} \rightarrow \frac{T_A}{T_C} = \frac{V_C^{\gamma-1}}{V_B^{\gamma-1}}. \quad (61)$$

3) No trecho **CD**, temos uma compressão **isotérmica**:

$$Q = \Delta U + W, \text{ sendo } \Delta U = 0 \rightarrow Q_{CD} = W_{CD}$$

- $W_{CD} = nRT_F \ln \left(\frac{V_D}{V_C} \right) = Q_{CD} = Q_F$; (62)
- Como $V_D < V_C$, $W_{CD} < 0$ e $Q_{CD} < 0$;
- Façamos $|Q_{CD}| = nRT_F \ln \left(\frac{V_D}{V_C} \right) = |Q_F|$ (63)

4) No trecho **DA**, temos uma compressão **adiabática**:

- $T_D V_D^{\gamma-1} = T_A V_A^{\gamma-1}$, sendo $T_C = T_D$ (isotérmica).

$$T_C V_D^{\gamma-1} = T_A V_A^{\gamma-1} \rightarrow \frac{T_A}{T_C} = \frac{V_D^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}}. \quad (64)$$

Vamos substituir $|Q_q|$ e $|Q_F|$ na equação do rendimento. Vejamos:

$$\eta = 1 - \frac{|Q_F|}{|Q_q|} = 1 - \frac{nRT_F \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)}{nRT_q \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)} \quad (65)$$

$$\eta = 1 - \frac{T_F \ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right)}{T_q \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)} \quad (66)$$

Nos trechos adiabáticos: $\frac{T_A}{T_C} = \frac{V_C^{\gamma-1}}{V_B^{\gamma-1}} = \frac{V_D^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}}$.

Como $\frac{V_C^{\gamma-1}}{V_B^{\gamma-1}} = \frac{V_D^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}} \rightarrow \frac{V_C^{\gamma-1}}{V_D^{\gamma-1}} = \frac{V_B^{\gamma-1}}{V_A^{\gamma-1}} \rightarrow \frac{V_C}{V_D} = \frac{V_B}{V_A}$, consequentemente, $\ln\left(\frac{V_C}{V_D}\right) = \ln\left(\frac{V_B}{V_A}\right)$.

O rendimento fica, então: $\eta = 1 - \frac{T_F}{T_q}$ (67).

O rendimento de uma máquina de Carnot depende, apenas, das temperaturas dos reservatórios quente e frio. Vale a pena lembrar que em todos os cálculos envolvendo o ciclo de Carnot, você deve tomar cuidado e usar sempre temperaturas absolutas (escala Kelvin).

OBS: Alguns livros chamam T_F de T_C e T_q de T_H , por conta das palavras *cold* (frio) e *hot* (quente).

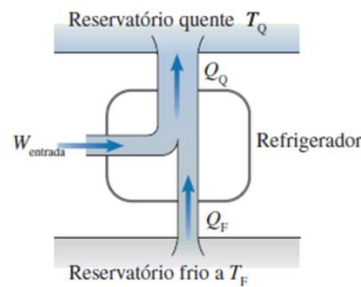
3.12.4 Refrigeradores

Em uma máquina térmica, a direção da transferência de energia é do reservatório quente para o frio, que é o sentido natural. A função da máquina térmica é processar a energia do reservatório quente, de modo a realizar o trabalho útil. Um refrigerador faz exatamente o contrário: recebe o calor de uma fonte fria (a parte interna do refrigerador) e o transfere para uma fonte quente (geralmente, o ar externo no local onde o refrigerador se encontra). Enquanto a máquina térmica fornece um trabalho mecânico líquido, o refrigerador precisa receber um

trabalho mecânico líquido. Como esse não é o sentido natural, devemos transferir alguma energia para que isso ocorra.

A **figura (20)** mostra um diagrama do fluxo de energia em um refrigerador. De acordo com a 1ª Lei da Termodinâmica, em um processo cíclico, temos:

Figura 20 - Diagrama esquemático do fluxo de energia de um refrigerador



Fonte: Knight, 2009

$$|Q_F| + |W| = |Q_Q|, \text{ então, } |W| = |Q_Q| - |Q_F| \quad (68)$$

Observe que a relação anterior, em valores absolutos, é válida tanto no caso da máquina térmica quanto no do refrigerador. De um ponto de vista econômico, o melhor ciclo de refrigeração é aquele que remove a maior quantidade de calor $|Q_F|$ do interior do refrigerador para o menor trabalho realizado $|W|$.

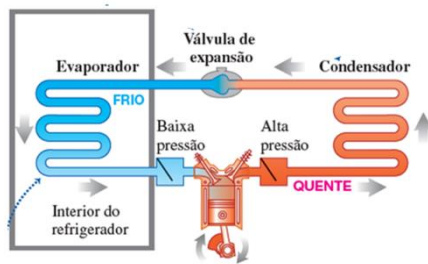
Existe uma razão $|Q_F|/|W|$ e, quanto maior for essa razão, melhor será o refrigerador. Essa razão é chamada de coeficiente de desempenho, designado por K .

$$K = \frac{|Q_F|}{|W|} = \frac{|Q_F|}{|Q_Q| - |Q_F|} \quad (69)$$

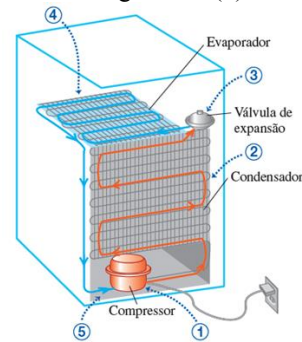
Convém lembrar que devemos medir Q_F , Q_Q e W com as mesmas unidades de energia; logo K é uma grandeza adimensional.

Na **Figura (21)**, estão representados esquematicamente os princípios do ciclo de refrigeração comum.

Figura 21 - (a) Diagrama do princípio de funcionamento do ciclo de um refrigerador. (b) Como os principais elementos são dispostos em um refrigerador comum.



(A)



(B)

Fonte: Sears, 2016

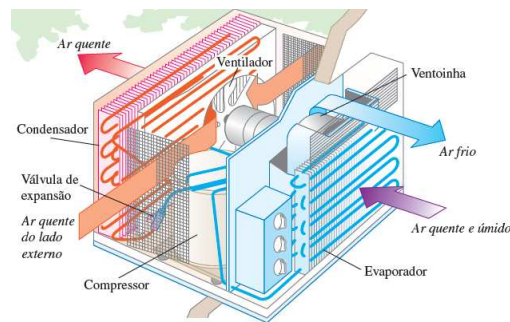
No circuito contém um fluido refrigerante (a substância de trabalho). O lado esquerdo do circuito (inclusive as serpentinas de resfriamento no interior do refrigerador) está a uma baixa temperatura e a outra a uma baixa pressão. O lado direito (inclusive as serpentinas do condensador fora do refrigerador) está a temperatura a pressão elevadas. Em cada ciclo, o fluido absorve calor $|Q_F|$ do interior do refrigerador, no lado esquerdo, e libera calor Q_F para as vizinhanças, do lado direito. O compressor, geralmente acionado por um motor elétrico (FIGURA 26B), realiza um trabalho $|W|$ sobre o fluido em cada ciclo. Dessa forma, o compressor requer entrada de energia, motivo pelo qual os refrigeradores precisam estar ligados na tomada.

A ideia chave para compreendermos um refrigerador é lembrar que o calor é sempre transferido de um objeto mais quente para outro mais frio. O gás de um refrigerador pode extrair o calor $|Q_F|$ de um reservatório frio apenas se a temperatura do gás for menor que a temperatura T_F do reservatório frio. Quando o gás rejeita o calor $|Q_q|$ para um reservatório quente, a temperatura do gás deve ser maior do que a temperatura T_q do reservatório quente. A energia térmica, então, é transferida do gás mais quente para o reservatório quente.

Como não há um reservatório mais frio que T_F , o gás não pode atingir uma temperatura menor que T_F através de uma troca de calor, por isso, o gás deve sofrer uma expansão adiabática, a fim de reduzir sua temperatura abaixo de T_F , e uma compressão adiabática para aumentar sua temperatura acima de T_q .

Um aparelho de ar-condicionado, como o da **Figura (22)**, opera exatamente com base no mesmo princípio. Nesse caso, a caixa do refrigerador é uma sala ou um edifício inteiro. As serpentinas do evaporador estão no interior da sala, o condensador está fora da casa e os ventiladores fazem o ar circular.

Figura 22 - Esquema de um aparelho de ar-condicionado



Fonte: Sears, 2016

Outra premissa para a segunda lei da termodinâmica trata-se do enunciado do refrigerador, também conhecido como Enunciado de Clausius.

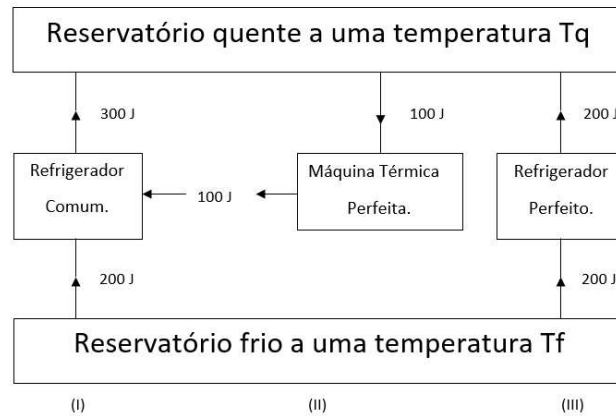
É impossível construir um refrigerador que opere segundo um ciclo e produza o único efeito de extrair calor de um corpo frio e rejeitar a mesma quantidade de calor para um corpo quente.

13.2.4.1 Equivalência entre os enunciados de Kelvin-Planck e Clausius

Embora os enunciados da segunda lei da termodinâmica, relativos à máquina térmica e ao refrigerador, pareçam ser bem diferentes, na realidade, eles são equivalentes. É importante perceber que se um dos enunciados for falso, então, o outro também será. Vamos utilizar um exemplo numérico para mostrar que se o enunciado relativo à máquina térmica não for verdadeiro, o enunciado relativo ao refrigerador também não será.

A **Figura 23** mostra um refrigerador comum, uma máquina térmica perfeita. A combinação dessa máquina térmica com o refrigerador comum resulta em um refrigerador perfeito, capaz de transferir energia térmica de um reservatório frio para o reservatório quente sem que seja necessário consumo de trabalho.

Figura 23- Equivalência entre os enunciados da segunda lei da termodinâmica.



Fonte: O autor, 2021

1. Inicialmente, temos um refrigerador comum que utiliza 100 J (Joules) de trabalho para remover 200 J de calor de um reservatório frio e rejeitar 300 J de calor para um reservatório quente.
2. Uma máquina térmica perfeita remove 100 J de energia do reservatório quente e efetua 100 J de trabalho. Uma máquina com essa característica teria um rendimento de 100%, o que violaria o enunciado da segunda lei relativa às máquinas térmicas.
3. A combinação de uma máquina térmica perfeita com o refrigerador comum seria um refrigerador perfeito, capaz de transferir 200 J de energia térmica do reservatório frio para o reservatório quente, sem requerer qualquer trabalho; mas isso violaria o enunciado da segunda lei relativa ao refrigerador.

Portanto, qualquer dispositivo que viole um enunciado de segunda lei pode ser usado para construir um dispositivo que viola o outro. Caso não fosse necessário trabalho para operar um refrigerador, seu coeficiente de desempenho seria infinito. A experiência mostra que é necessário sempre fornecer trabalho para transferir calor de um corpo mais frio para outro mais quente. O calor flui espontaneamente dos corpos mais quentes para os mais frios, sendo necessário adicionar trabalho para reverter esse fluxo.

3.12.5 Entropia

3.12.5.1 Processos reversíveis e irreversíveis

A 1ª lei da termodinâmica tem como essência o Princípio da Conservação da Energia e, de acordo com esse princípio, a energia total do universo se mantém inalterado. Todavia, parte dessa energia fica indisponível para a realização de trabalho, ou seja, se degrada. Tomemos como exemplo um artista circense que salta de uma determinada altura sobre uma cama elástica, transformando energia potencial em energia cinética; porém, parte dessa energia é transformada em energia térmica, onde essa fica indisponível para a realização de trabalho.

Uma transformação é dita reversível quando sua inversa puder se verificar de modo que o sistema passe pelos mesmos estados intermediários que a primeira. Esse processo pode ser considerado como sendo uma sucessão de estados de equilíbrio. Essa transformação, já abordada quando falamos sobre o trabalho realizado por um gás ideal (subtópico de número 3.3), é denominada quase-estática. As transformações quase-estáticas se caracterizam por serem reversíveis, e um ciclo de transformações é dito reversível se forem reversíveis todas as transformações que o constituem.

Considere que uma certa quantidade (massa ou volume) de água quente (100°C) seja misturada com uma certa quantidade de água fria (0°C). Esse sistema, resultante da mistura, irá alcançar uma temperatura de equilíbrio térmico entre 0°C e 100°C .

Antes de ser realizada a mistura, poderíamos fazer uma máquina térmica operar usando as massas de água mencionadas como um reservatório quente e um reservatório frio, e utilizarmos a energia, transferida do reservatório quente para o frio, para a realização de um trabalho (energia útil). Todavia, após a mistura atingir a temperatura de equilíbrio, apesar de não ter havido desaparecimento de energia, não é mais possível convertê-la em trabalho, pois uma parte da energia do sistema se tornou indisponível, de modo que não podemos utilizá-la de maneira útil. Caso o sistema (supostamente isolado) voltasse espontaneamente às condições iniciais, isto é, a mistura se separasse nas duas porções quente e fria originais, aquela parte de energia continuaria disponível para a realização de trabalho. Como sabemos, através de nossas experiências diárias, que isto não ocorre, o processo que levou a homogeneização da temperatura é irreversível. Os processos naturais têm um sentido preferencial de realização, caracterizando-se por serem irreversíveis.

3.12.5 2 Entropia e desordem

O termo entropia, criado por Rudolf Clausius (1822-1888), fornece uma medida quantitativa da desordem. Essa desordem varia à medida que o sistema passa por uma transformação, e é essa variação que indica o grau de degradação de energia de um sistema. A entropia (S), tal como a pressão (P), o volume (V), a temperatura (T) e a energia interna (U), é uma função de estado de um sistema. Ao analisarmos um processo qualquer, o valor absoluto da entropia não é importante, mas, sim, a sua variação. Como a entropia é uma função de estado, a variação da entropia, quando o sistema se move de um estado inicial para um estado final, depende apenas destes estados (inicial e final), e não do processo através do qual a variação ocorreu.

A variação da entropia (dS) de um sistema que passa de um estado para outro é definida como:

$$dS = \frac{dQ_{rev}}{T} \quad (70)$$

(processo reversível infinitesimal)

Onde dQ_{rev} é a energia térmica que deve ser transferida ao sistema em um processo reversível que leve o sistema do estado inicial ao estado final.

Se uma quantidade total de calor (Q) é fornecida durante um processo isotérmico reversível, a uma temperatura absoluta (T), a variação total de entropia $\Delta S = S_2 - S_1$ é dada por:

$$\Delta S = \frac{Q}{T} \quad (71)$$

(processo isotérmico reversível)

A unidade da entropia no SI é Joule por Kelvin (J/K).

Podemos generalizar a definição de variação de entropia, de modo a incluir qualquer processo reversível que conduza o sistema de um estado a outro, independentemente de ser isotérmico ou não. Consideremos o processo como uma série de etapas infinitesimais reversíveis. Se uma quantidade de calor infinitesimal dQ é fornecida ao sistema a uma temperatura absoluta T , podemos somar todas as razões dQ/T para o processo inteiro, ou seja:

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ}{T} \quad (72), \text{ onde}$$

- ΔS é a variação de entropia em um processo reversível;
- dQ é o fluxo de calor infinitesimal;
- T é a temperatura absoluta (escala Kelvin).

Quando um sistema evolui de um estado inicial com entropia S_i até um estado final com entropia S_f , a variação da entropia $\Delta S = S_f - S_i$ não depende do percurso que leva o sistema do estado inicial ao final, mas é sempre a mesma em todos os processos possíveis entre os estados i e f . Assim sendo, a entropia de um sistema também deve possuir um valor definido para qualquer dado de estado do sistema.

Uma vez que a entropia é uma função apenas do estado do sistema, também podemos calcular variações de entropia em processos irreversíveis (não equilíbrio). Para achar a variação de entropia, no caso de um processo irreversível, entre dois estados de equilíbrio, devemos encontrar um processo reversível que ligue aqueles mesmos estados e calcular a variação de entropia para este processo. Simplesmente inventamos um caminho ligando o estado final ao inicial que seja constituído totalmente por processos reversíveis e calculamos a variação total de entropia nesse caminho hipotético. Não é o caminho real, mas a variação de entropia deve ser a mesma que seria obtida no caminho real.

3.12.5.3 Variações de entropia para vários processos

- Variação de entropia na fusão

Um pedaço de gelo de massa (m) igual a 200g a temperatura 0°C funde-se (reversivelmente) em água a 0°C . O calor de fusão do gelo é $L_F = 333\text{KJ/Kg}$. Vamos fazer uma análise da variação de entropia do gelo:

- Como a fusão do gelo ocorre a uma temperatura constante de 0°C , este processo é isotérmico. Para que o gelo derreta reversivelmente, devemos colocá-lo em contato com um reservatório térmico, cuja temperatura seja superior a 0°C , somente por um valor diferencial.
- O calor necessário para fundir o gelo é $Q = mL_F = 0,2\text{ Kg} \cdot 333\text{ KJ/Kg} = 66,6\text{ KJ}$.

$$\Delta S = \frac{Q}{T} = \frac{66600\text{J}}{273\text{K}} = 244\text{ J/K}$$

Esse aumento de entropia corresponde ao aumento de desordem, por ser o estado líquido bem mais desordenado que o estado sólido. Caso tivéssemos congelado a água, baixando a temperatura do reservatório para um valor diferencial inferior a 0°C, Q apresentaria sinal contrário e a variação da entropia seria negativa ($\Delta S < 0$), indicando que tanto a desordem quanto a entropia diminuem.

- Variação de entropia para uma dada variação de temperatura.

Um litro de água a 0°C é aquecido até 100°C. Considere a densidade da água seja um quilograma por litro, e suponha que o calor específico da água seja constante igual a 4.190J/Kg.K nessa faixa de temperatura. (SEARS, 2016). Vamos fazer uma análise de variação de entropia da água:

- Primeiramente, importante lembrar que a variação de entropia da água depende apenas dos estados inicial e final do sistema, não interessando se o processo é reversível ou irreversível. É possível considerarmos que a temperatura da água seja aumentada reversivelmente em uma série de processos infinitesimais e em cada um dos quais a temperatura aumenta um valor infinitesimal dT . Podemos, então, integrar todas essas etapas e calcular a variação da entropia para tal processo reversível. Apesar do aquecimento da água em um fogão ser um processo irreversível, ainda assim, a variação de entropia seria a mesma.
- O Calor necessário para realizar cada uma dessas etapas é dado por $dQ = mc dT$. Vejamos, então:

$$\Delta S = \int_i^f \frac{dQ}{T} = \int_{T_1}^{T_2} mc \frac{dT}{T} = mc \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = mc \ln \left(\frac{T_2}{T_1} \right) \quad (73)$$

$$\Delta S = (1\text{Kg})(4190\text{J/Kg.K}) \left(\ln \frac{373}{273} \right) = 1,31 \times \frac{10^3 \text{J}}{\text{K}}$$

- A variação de entropia positiva corresponde ao aumento na desordem. Para a resolução deste problema, nós não podemos utilizar a equação $\Delta S = Q/T$, uma vez que ela só se aplica a processos isotérmicos. (SEARS, 2016)

- Variação de entropia em um processo adiabático reversível

Um gás se expande adiabática e reversivelmente. Vamos fazer uma análise da variação de entropia do gás.:

- Em um processo adiabático, nenhum calor sai ou entra no sistema. Consequentemente, $dQ = 0$ e não existe qualquer variação de entropia nesse processo reversível ($\Delta S = 0$). Todo processo adiabático reversível é um processo com entropia constante (processo isentrópico). A fim de manter a entropia constante, existe uma compensação entre o aumento de volume e a diminuição da desordem causada pela diminuição da temperatura do gás. (SEARS, 2016)

- Variação de entropia de um gás ideal.

Considere um processo quase-estático reversível arbitrário, no qual um sistema constituído por um gás ideal absorve uma quantidade de calor dQ . Em conformidade a 1ª lei da termodinâmica, dQ está relacionada à variação de energia interna do gás dada por dU e ao trabalho realizado pelo gás ($dW = PdV$) por $dU = dQ - dW = dQ - PdV$.

Para um gás ideal, podemos escrever dU . Em termos de capacidade térmica molar a volume constante, $dU = C_v dT$, e, ainda, podemos substituir P por nRT/V , usando a equação de estado. Deste modo:

$$C_v dT = dQ - nRT \frac{dV}{V} \quad (74)$$

Dividindo cada termo por T , obtemos:

$$C_v \frac{dT}{T} = \frac{dQ}{T} - nR \frac{dV}{V}. \quad \text{Agora, } \frac{dQ}{T} \text{ é a diferencial da função entropia (s).}$$

Diferencial da função entropia (s):

$$dS = \frac{dQ}{T} = C_v \frac{dT}{T} + nR \frac{dV}{V} \quad (75)$$

Para simplificar, consideraremos C_v constante:

$$\int_i^f dS = \int_i^f \frac{dQ}{T} = C_v \int_i^f \frac{dT}{T} = nR \int_i^f \frac{dV}{V} \quad (76)$$

$$\Delta S = S_f - S_i = \int_i^f \frac{dQ}{T} = C_v \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) + nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad (77)$$

Essa equação fornece a variação de entropia de um gás ideal que sofre uma expansão reversível, passando de um estado inicial de volume V_i e temperatura T_i para um estado final com volume V_f e temperatura T_f .

- Variação de entropia para uma expansão isotérmica de um gás ideal

Quando um gás ideal sofre uma expansão isotérmica (temperatura constante), $T_f = T_i$ e sua variação de entropia é dada por $\Delta S = \int \frac{dQ}{T} = nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$, pois $\ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) = 0$, quando $T_f = T_i$. Na expansão, $V_f > V_i$ e $\ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) > 0$. Por isso, a variação de entropia do gás é positiva. Nesse processo, uma quantidade de calor Q é transferida do reservatório para o gás. Esse calor é igual ao trabalho realizado pelo gás. Vejamos:

$$Q = W = \int_{V_i}^{V_f} P dV = nRT \int_{V_i}^{V_f} \frac{dV}{V} = nRT \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right) \quad (78)$$

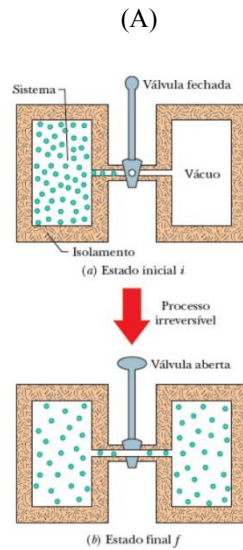
Sendo $\Delta S = nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$ e $\frac{Q}{T} = nR \ln \left(\frac{V_f}{V_i} \right)$, podemos escrever que a variação de entropia do gás $\Delta S = \frac{+Q}{T}$. Como a mesma quantidade de calor abandona o reservatório na temperatura T , a variação da entropia do reservatório é $\Delta S = \frac{-Q}{T}$. A variação líquida de entropia do gás mais a do reservatório é nula. O conjunto formado pelo sistema mais suas vizinhanças será denominado de “universo”.

O exemplo a seguir serve para ilustrar um princípio geral: em um processo reversível, a variação de entropia do universo é nula. Chamamos de universo o sistema isolado obtido quando ampliamos consideravelmente a vizinhança para que sejam levados em consideração todas as variações de entropia resultantes de um dado processo.

- Variação de entropia para uma expansão livre de um gás ideal

Um gás, cujas moléculas se encontram em equilíbrio térmico, está, inicialmente, confinado por uma válvula fechada em uma das duas câmaras que compõem um sistema isolado; a outra câmara está vazia (vácuo). Considere que as duas câmaras possuem o mesmo volume (V) e em apenas uma das câmaras existe (n) moles de um gás ideal a uma temperatura (T).

Figura 24 - A expansão livre de um gás ideal. (a) O gás está confinado no lado esquerdo de um recipiente isolado por uma válvula fechada. (b) Quando a válvula é aberta, o gás ocupa todo o recipiente.



(B)

Fonte: Sears, 2016

Quando a válvula é aberta, o gás se expande livremente até ocupar as duas câmaras, e, após certo tempo, o gás alcança o equilíbrio térmico. Como o sistema está termicamente isolado, nenhum calor é trocado entre o gás e o ambiente. Como o gás se desloca para uma região vazia, nenhum trabalho é realizado pelo gás, pois esse não encontra nenhuma resistência na segunda câmara.

À luz da primeira lei da termodinâmica, nesse processo $Q = 0$, $W = 0$ e, por consequência, $\Delta U = 0$. Como o sistema é um gás ideal, $\Delta T = 0$. Como não há transferência de calor, poderíamos pensar que a variação de entropia do gás é nula. Mas esse processo não é reversível, e, portanto, não podemos usar $\int dQ/T$ para calcular a variação de entropia do gás.

Para calcular ΔS , convém lembrarmos que a variação de entropia só depende dos estados final e inicial, por ser a entropia uma função de estado. Podemos idealizar um processo reversível que apresente os mesmos pontos extremos e, dessa forma, utilizar $\int dQ/T$ para calcular sua variação de entropia, que será a mesma para a expansão livre.

Um processo reversível apropriado neste caso é uma expansão isotérmica entre V e $2V$ a uma temperatura T . Durante essa expansão, o gás realiza um trabalho W , de modo que seria necessário fornecer uma igual quantidade de calor Q para manter a energia interna constante ($\Delta U = 0$).

Para um gás ideal, temos $\Delta S = C_v \ln\left(\frac{T_f}{T_i}\right) + nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$. Expressando nosso exemplo matematicamente, temos $T_f = T_i$, $\ln(T_f/T_i) = 0$. Dessa forma, $\Delta S = nR \ln\left(\frac{V_f}{V_i}\right)$. Como $V_i = V$ e $V_f = 2V$, então, temos:

$$\Delta S = nR \ln\left(\frac{2V}{V}\right) = nR \ln 2 > 0 \quad (79)$$

Neste caso, não há variações na vizinhança e, portanto, a variação da entropia do gás é também a variação da entropia do universo.

Durante um processo irreversível, a entropia do universo aumenta. Analisando a equação $\Delta S = nR \ln(V_f/V_i)$, podemos inferir que se o volume final (V_f) fosse menor que o volume inicial (V_i), então, a entropia do universo diminuiria, mas isto não acontece nas expansões livres, ou seja, um gás não se contrai livremente para um volume menor. Esse resultado nos leva a outro enunciado para a segunda lei da termodinâmica: para qualquer processo, a entropia do universo nunca diminui.

- Variação de entropia para processos isobáricos

Se uma substância for aquecida da temperatura T_i a temperatura T_f a pressão constante, uma boa aproximação de um processo reversível de condução de calor pode ser ilustrada através de um grande número de reservatórios de calor com temperaturas que vão de T_1 a T_2 em intervalos muito pequenos. Podemos colocar a substância a ser aquecida com temperatura inicial T_i em contato com o primeiro reservatório, cuja temperatura é ligeiramente superior a T_i , e deixar a substância absorver uma pequena quantidade de calor. Como a transferência de calor de cada reservatório é aproximadamente isotérmica, o processo será aproximadamente reversível. Depois, colocamos a substância em contato com o próximo reservatório, cuja temperatura é ligeiramente mais alta e assim sucessivamente, até que a temperatura final T_f seja alcançada. Se o calor dQ é absorvido de maneira reversível, a variação da entropia da substância é $dS = dQ/T$.

Usando a primeira lei da termodinâmica e levando em consideração que, para um gás ideal, o diferencial da energia interna seja dada por $dU = C_v dT$, obtemos:

$$dU = dQ - dW$$

$$dQ = dU + dW$$

Como $dS = \frac{dQ}{T}$, então, $dQ = TdS$. Substituindo, tem-se que $TdS = C_v dT + PdV$. Para um gás ideal, a diferencial de $PV = nRT$ é $PdV + VdP = nRdT$, e como a pressão é constante nos processos isobáricos, temos:

$$PdV = nRdT$$

Então, $TdS = C_v dT + nRdT$. Sendo $C_p - C_v = nR$, sendo, $C_v = C_p - nR$

Desta forma:

$$TdS = (C_p - nR) dT + nRdT \quad (80)$$

$$TdS = C_p dT$$

$$dS = C_p \frac{dT}{T} \quad (81)$$

Integrando de T_i até T_f , obtermos a variação total da entropia da substância.

$$\Delta S = C_p \int_{T_i}^{T_f} \frac{dT}{T} = C_p \ln \left(\frac{T_f}{T_i} \right) \quad (82)$$

Este resultado fornece a variação de entropia de uma substância aquecida de T_i até T_f por qualquer processo, seja ele reversível ou irreversível, contanto que a pressão final seja igual à pressão inicial.

- Variação de entropia no Ciclo de Carnot

Levando em consideração que o Ciclo de Carnot é, por definição, reversível, a variação de entropia do universo, em cada ciclo, deve ser zero. Como todas as quatro etapas do Ciclo de Carnot são reversíveis, podemos usar as expressões para a variação de entropia ΔS em um processo reversível, e, em seguida, calculamos as variações de entropia em cada etapa; depois, somamos para obter o total para o Ciclo inteiro.

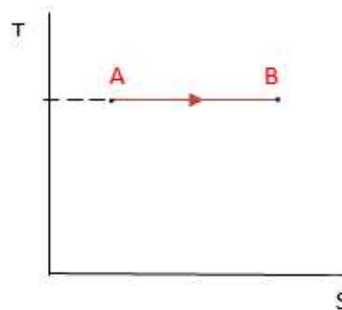
Para os processos de expansão adiabática e compressão adiabática, a variação de entropia é zero. A variação de entropia do reservatório quente, que equivale a isotérmica T_q é $\Delta S = \frac{-Q_q}{T_q}$; e a variação de entropia do reservatório frio, que equivale a isotérmica T_f é $\Delta S = \frac{Q_f}{T_f}$. Então, a variação de entropia do universo é $\Delta S_u = \Delta S_q + \Delta S_f = -\frac{Q_q}{T_q} + \frac{Q_f}{T_f}$.

Foi demonstrado que, para um Ciclo de Carnot, o rendimento é dado por: $\eta = 1 - \frac{T_f}{T_q}$

Dessa forma, $\frac{T_f}{T_q} = \frac{Q_f}{Q_q}$ e $\frac{Q_q}{T_q} = \frac{Q_f}{T_f}$. Substituindo, fica: $\Delta S_u = -\frac{Q_q}{T_q} + \frac{Q_f}{T_f} = 0$.

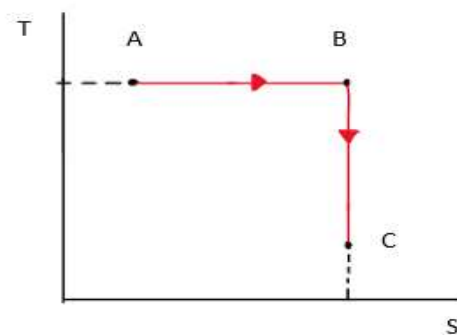
A variação total de entropia durante qualquer ciclo reversível é igual a zero. Ainda com relação ao Ciclo de Carnot, é necessário esboçarmos o Ciclo em um diagrama TS (temperatura em função da entropia).

- I. Entre os pontos A e B do diagrama, temos uma expansão isotérmica reversível e, assim, o calor é absorvido reversivelmente, acarretando um aumento de entropia (S) a temperatura constante.



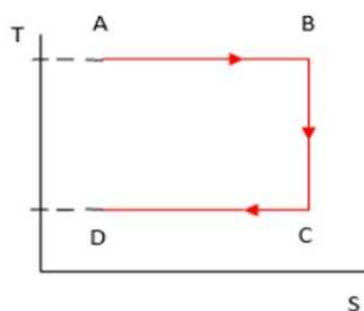
Fonte: O autor, 2021

- II. Entre os pontos B e C, temos uma expansão adiabática reversível, onde há uma diminuição da temperatura, sem troca de calor, enquanto a entropia (S) permanece constante.



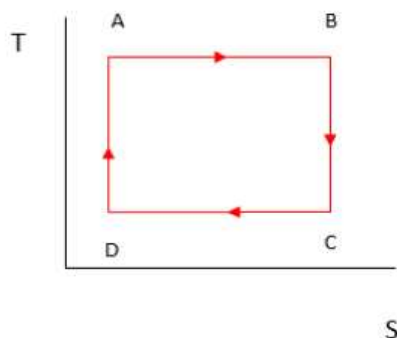
Fonte: O autor, 2021

- III. Entre os pontos C e D, temos uma compressão isotérmica, onde o calor é rejeitado reversivelmente, acarretando uma diminuição da entropia (S) a temperatura constante.



Fonte: O autor, 2021

IV. Entre os pontos D e A, temos uma compressão adiabática reversível, onde há um aumento da temperatura sem a troca de calor, enquanto a entropia (S) permanece constante.



Fonte: O autor, 2021

O diagrama T versus S é uma curva fechada, conforme esperado, pois tanto T quanto S são funções de estado.

3.12.6 A Escala Kelvin de temperatura ou absoluta

Conforme já foi visto, o Princípio de Carnot afirma que a razão entre o trabalho e o calor recebido por um sistema que opera segundo um Ciclo de Carnot depende somente da temperatura dos reservatórios, por isso, ele pode ser usado para definir a razão entre as temperaturas termodinâmicas dos reservatórios quente e frio é definida como $\frac{T_F}{T_q} = \frac{|Q_F|}{|Q_q|}$. Essa equação define uma escala de temperatura pautada no Ciclo de Carnot e na segunda lei te

termodinâmica, não dependendo do comportamento de nenhuma substância particular. Portanto, a Escala Kelvin de temperatura é verdadeiramente absoluta.

Para completar a definição da Escala Kelvin, podemos atribuir o valor de 273,16K para a temperatura do ponto triplo da água como estado de referência. Quando uma substância é utilizada em um Ciclo de Carnot, a razão entre o calor absorvido $|Q_q|$ e o calor rejeitado $|Q_F|$ é igual a razão entre as temperaturas dos respectivos reservatórios, como expressas pela escala de um termômetro a gás. Levando em consideração que o ponto triplo da água foi escolhido com o valor de 273,16K em ambas as escalas, concluímos que a Escala Kelvin de temperatura e a escala do termômetro de gás ideal são idênticas.

Ao ponto zero da Escala Kelvin, denominamos zero absoluto. No zero absoluto, um sistema possui uma energia interna total (Cinética mais potencial) mínima. Todavia, em razão dos efeitos quânticos, não é correto dizer que em $T = 0$ todo movimento molecular cessa. Quanto mais próxima a temperatura estiver do zero, mais difícil se torna baixar essa temperatura. Um dos enunciados da terceira lei da termodinâmica, proposto pelo físico-químico alemão Herman W. Nerst, é que não é possível atingir o zero absoluto por nenhuma série finita de processos termodinâmicos.

4 (RE)PENSANDO E APLICANDO O MÉTODO DE INVERSÃO

A fim de pensar e produzir novas práticas sobre a realidade do ensino de Física no Brasil, de modo a expandir e repensar horizontes, esta pesquisa buscou, de modo geral, a compreensão parcial de tal realidade. Do ponto de sua natureza, pode-se dizer que se trata de uma pesquisa aplicada, isso se levamos em consideração que ela deriva da aplicação de um método de ensino-aprendizagem para, até certo ponto, medir a rentabilidade do alunado. O que nos leva a encarar a abordagem do problema de forma quantitativa dos dados. Desse modo, do ponto de vista dos objetivos a pesquisa é exploratória, descritiva e explicativa. No que diz respeito aos procedimentos técnicos, a pesquisa assume um caráter que permuta entre o bibliográfico e o experimental, envolvendo ações reais. A exploração dos dados se deu por meio de avaliações de aprendizagem. Posteriormente, os dados serão agrupados e analisados por intermédio de estatísticas descritivas. Tais avaliações foram realizadas tanto de maneira crescente, no decorrer das atividades, como em momento posterior a uma série de aulas e atividades, indicando o progresso do aluno em relação aos conteúdos trabalhados, sendo essas avaliações realizadas, em sua maioria, em laboratórios de informática do Instituição Federal de Pernambuco (IFPE), campus Recife.

Antes de iniciar a utilização do método, foi preciso dedicar um tempo treinando os alunos a assistirem vídeos e realizar leituras de maneira eficiente. Instruções como se desconectar de qualquer aparelho ou atividade que pudesse provocar distração durante o momento dedicado ao estudo do conteúdo. Foi sugerido que não assistissem ao vídeo de forma contínua, mas que pausassem e retrocedessem para que pudessem anotar dúvidas ou pontos importantes. Além disso, os alunos foram orientados a sempre fazer suas anotações transcrevendo pontos importantes ou resumindo o conteúdo que acabava de manter contato. Com isso, esperava-se com que os alunos primeiro praticassem esse modelo de anotação como forma de exercitar e, segundo, para que levassem para sala de aula dúvidas e questões pertinentes que ajudassem no processo de construção do conhecimento. Era essa também uma forma de, indiretamente, verificar a eficácia dos vídeos para os alunos. Em vista disso, percebe-se que o papel do professor na sala de aula sofre uma grande alteração, pois ele deixa de ser alguém que ocupa a função de conduzir os alunos ao conhecimento por meio de métodos e ferramentas tradicionais para assumir um papel mais de orientador e de tutor. Agora, no lugar de longas exposições, o professor pode circular pela sala de aula o tempo todo, ajudando os estudantes na compreensão de conceitos. Dessa maneira, um dos pontos altos do método diz respeito ao fato de que o professor passa a buscar maneiras de direcionar os alunos de acordo

com as dúvidas e dificuldades apresentadas, e isso funciona graças ao fato de que na sala de aula invertida o tempo é totalmente reestruturado.

O passo inicial de utilização da metodologia ativa se deu por meio de um questionário (APÊNDICE) aplicado em turmas dos cursos de Química, Eletrotécnica, Eletrônica, Saneamento e Segurança do Trabalho. Todos alunos no terceiro período. Servindo como uma espécie de verificação de aprendizagem, o questionário foi aplicado em cinco turmas servindo de base na verificação do nível de aprendizagem das turmas em relação a um conteúdo basilar para o ensino de termodinâmica: gases. Por meio desse questionário foi possível enxergar, de um modo geral, as principais necessidades dos alunos com o propósito de sanar dificuldades apontadas no resultado. Essa atividade foi auxiliada e monitorada por grupos de graduando da Unicap (Universidade Católica de Pernambuco) que à época formava parte do PIBID (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à Docência) de Física.

Realizada as verificações, em momento posterior foi a vez de, em sala de aula, dialogar com os alunos sobre o processo. Esse momento foi pensado para que os alunos pudessem compartilhar dúvidas assim como impressões sobre a avaliação. Feito isto, com base no resultado do desempenho de cada turma, foi possível trabalhar temas suscitados a partir das dificuldades encontradas, e melhor desenvolver e resolver algumas das questões do questionário anteriormente aplicado. A imagem a seguir serve como demonstração de como ocorreu a aplicação das atividades. Reservado antecipadamente, no Laboratório de Informática da Instituição, no turno estabelecido para cada turma, os alunos, de maneira individual, tinham acesso ao questionário podendo solicitar a ajuda do professor ou de uns dos pibidianos presentes para esclarecer alguma espécie de dúvida.

Figura 25 - Laboratório de Informática Campus IFPE Recife



Fonte: Instituto Federal de Pernambuco, 2020

Depois de aplicada a verificação de aprendizagem relacionada ao conteúdo de gases. Isso referente às turmas já mencionadas anteriormente e sempre de maneira individual. E também de sanada as lacunas existentes em relação a tal conteúdo programático. Como forma de efetivação do método de sala de aula invertida, foi pela primeira vez enviado aos alunos uma ficha que exercício (APÊNDICE) para que eles resolvessem como atividade de forma a levar para a sala de aula as dúvidas e dificuldades encontradas. Considerando diretrizes do Programa Nacional do Livro Didático (PNLD), os exercícios extraclasse foram em forma de atividades no livro didático, além de vídeos explicativos. De um modo geral, essas atividades envolviam tanto questões conceituais de física como também questões práticas, de resolução. Mas, o mais importante é que, antes de chegar na sala de aula, o aluno tivesse trabalhado, no nível da ideia, determinados conceitos chave para construir em profundidade um assunto. Para que assim pudesse alcançar objetivos predeterminados, estando essas atividades sempre alinhadas a competências e habilidades exigidas pelo Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Como bem dito anteriormente, o método da sala de aula invertida foi, ao longo do processo, aliado ao uso de tecnologias, discussões e avaliações continuada, a fim de não somente alterar a forma tradicional de se lecionar, mas, também, de evoluir de um modelo passivo por parte dos alunos para um modelo mais ativo, responsável por explorar ainda mais profundamente as potencialidades dos alunos. Em resumo, parte de todo o processo buscou conscientizar o aluno, embora por vezes isso aconteça de forma indireta, do seu papel de protagonista no que envolve seu aprendizado, não somente em Física, mas em diversas áreas do conhecimento. De forma que a metodologia altera a forma de atuar dos alunos e do professor. O professor assume uma espécie de tutor que orienta os alunos conforme as necessidades surgidas ao longo do percurso, abrindo-se um leque diverso de possibilidades de interação e de novos desafios a serem enfrentados dentro e fora da sala de aula.

Os questionários sempre foram enquadrados em um contexto que, independentemente do número de questões, o valor total variava de uma escala de zero a cem, tendo, nessa conjectura, cada questão um peso específico. Isto é: uma quantidade determinada de pontos a serem somados ou subtraídos do resultado final de cada aluno. No momento da sala de aula, tanto o raciocínio de certos alunos em resoluções específicas como as dificuldades, por vezes, serviram para ilustrar ou contrastar com outras realidades, tendo em vista que todo o processo metodológico se dar sempre de forma comunicativa de todas as partes. Os alunos tiveram a oportunidade de compartilhar materiais, ideias, dúvidas e qualquer informação que auxiliassem no desenvolvimento de habilidades. Os modos de avaliar as necessidades dos alunos

aconteceram em três níveis: o resultado individual, o resultado por questões e o resultado geral. Dando isso margem para uma avaliação plurilateral a fim de traçar um perfil individual de cada turma e ao mesmo tempo um perfil mais geral em direção ao que é comum a todos: o conteúdo de termodinâmica. O gênero textual resumo foi por vezes adotado como meio de exercitar o conteúdo a ser posteriormente trabalhado na sala de aula. O que permite que seja possível contribuições individuais, isto é: que cada aluno possa compartilhar conceitos, ideias, opiniões e/ou dificuldades desenvolvidas antes de chegar na sala de aula e ter direcionamentos específicos por parte do professor. O que até certa medida inverte o método tradicional na qual os alunos, na maioria dos casos, seguem um modelo conceitual desenvolvido pelo professor. Quando esse movimento também pode ser contrário. O aluno primeiro pode desenvolver certos conceitos para, em momento posterior, ser orientado pelo professor. O que atribui maior habilidade e maior independência no que diz respeito ao desenvolvimento de ideias e de habilidades.

Figura 26 - Laboratório de Informática Campus IFPE Recife



Fonte: Instituto Federal de Pernambuco, 2020

O segundo questionário (APÊNDICE), esse o princípio do trabalho de termodinâmica, funcionou da seguinte forma: em primeiro momento foi aplicado um teste de verificação, em seguida passaram a ter contato com o material didático, foi tirado as dúvidas posteriores, para só depois haver a realização da prova. As aulas estão geminadas em três momentos de quarenta e cinco minutos cada. Então, ao invés de usar esse tempo para explicar de um nível zero o assunto, todo esse tempo passou a ser utilizado para tirar dúvidas. O trabalho do conteúdo não se dá somente na resolução em busca de respostas certas, mas explicar o passo a passo, de como ele pode utilizar o conhecimento prévio para resolver as questões. Como se pode observar no

gráfico a seguir, foi possível, em um primeiro momento, analisar um resultado geral dos dados a fim de compreender, em escala ampla, o desempenho dos alunos diante o exercício proposto.

Gráfico 18 - Distribuição total dos pontos



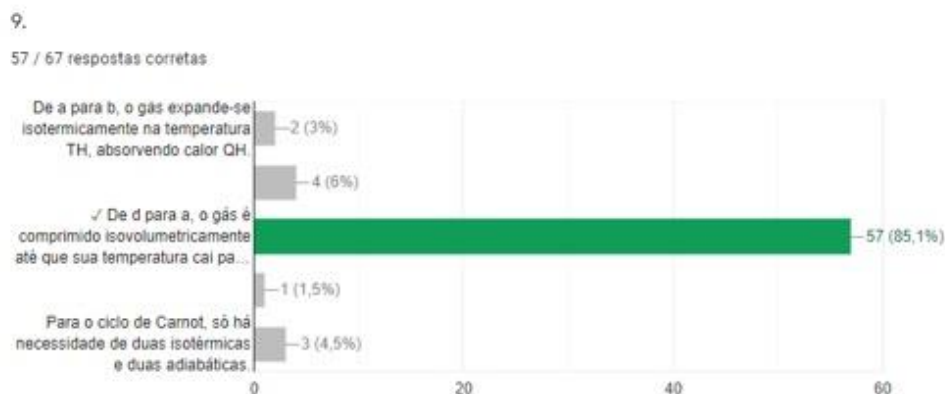
Fonte: O Autor, 2021

Para além da discussão a respeito de metas e resultados do método invertido, Bergmann e Sams dão ideias logísticas para implementar a sala de aula invertida, inclusive no que diz respeito à produção ou aquisição de vídeos de alta qualidade, oferecendo sugestões para a inversão da sala de aula. Os autores ressaltam que as tecnologias adotadas devem servir de ferramenta adequada para a atividade executada, tendo em vista que não se pode utilizar de tecnologias apenas por apego ou por achar que essa já é uma forma de inverter a sala de aula. Para isso, pode-se, além de utilizar da experiência profissional como base na escolha da ferramenta didática, é importante estabelecer diálogo com os alunos e até mesmo com outros professores, isso certamente trará ideias e apontará caminhos que podem ou não serem seguidos. Com isso, a intenção dos autores é trazer para a discussão o fato de não existir um passo a passo específico para a utilização do método. É preciso sempre levar em consideração os aspectos e as dimensões que formam o contexto. O professor, por exemplo, se o vídeo for uma das ferramentas adotadas, pode escolher entre produzir os vídeos ou usar vídeos de terceiros para implementar a sala de aula invertida.

Isto em mente, o questionário serviu (APÊNDICE) para, além de ter uma visão mais geral da situação de cada turma, entender o desempenho dos alunos em cada questão. No exemplo abaixo, a questão de número nove figura um bom desempenho por 85,1% dos alunos. Esse fato, por exemplo, permite que o professor classifique o conteúdo trabalhado como um

objetivo alcançado por a grande maioria dos alunos, sendo necessários apenas tirar as dúvidas que restam aos alunos que não conseguiram resolver a questão e, se necessário, reservar um tempo individual, ou em um pequeno grupo, para auxiliar esses alunos em específico desenvolver o objetivo proposto pela questão.

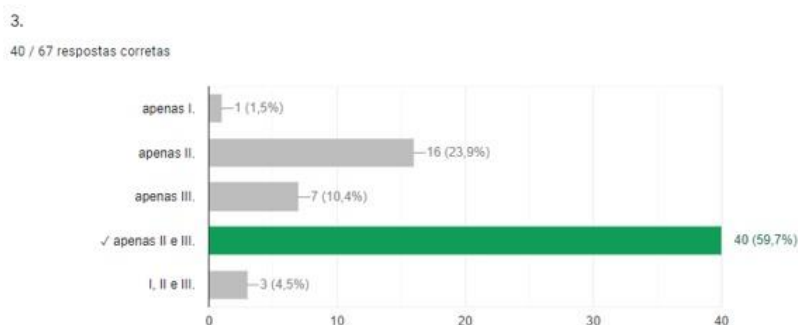
Gráfico 19 - Contagem de pontos, questão 9



Fonte: O Autor, 2021

Já no segundo gráfico, o movimento é completamente oposto. Se na questão mencionada anteriormente 85,1% dos alunos conseguiram superar o grau de dificuldade. Nesta segunda, a questão de número três, praticamente metade da turma não conseguiu atingir o objetivo proposto. O que significa dizer que grande parte dos alunos ainda se encontram com dúvida em relação ao processo de expansão e compressão dos gases em seu interior, como indicado pela questão. Movimento que certamente leva ao professor de incluir a questão como prioridade para encontros próximos.

Gráfico 20 - Contagem de pontos, questão 3



Fonte: O Autor, 2021

Considerando que os professores, geralmente, vêm de universos diversos e distantes, e também o fato de que alguns mostram habilidade para o uso de tecnologias, enquanto outros não sentem a vontade de se colocar diante de um computador e gravar, os autores aconselham a usar vídeos produzidos por outros professores em vez de fazer os próprios vídeos, talvez seja essa a melhor opção para quem está começando a inverter a sala de aula. Para além desses fatores citados anteriormente, talvez o professor queira fazer a inversão, mas não tenha tempo para gravar os vídeos. Talvez não se considere bom ao falar diante de uma tela de computador. Portanto, se se encontra um professor habilidoso, que já tenha produzido vídeos sobre a disciplina, não se deve ter escrúpulos em usá-los. Com a explosão do YouTube e outros websites de compartilhamento de vídeos, a quantidade de vídeos disponíveis tem crescido cada vez mais, e muito deles podem ser utilizados na sala de aula. Para aqueles que resolverem produzir seus próprios vídeos, os autores dão dicas de equipamentos para a produção, como: software de captura de tela, anotações manuscritas com caneta digital, microfone, webcam, câmera de vídeo entre outros. Além disso, indicam as fases de produção de um vídeo: planejamento da aula, gravação, edição e divulgação do vídeo. E terminam indicando, a partir de experiências reais, maneiras de produzir vídeos que certamente farão sucesso entre os alunos: ser breve, falar com entusiasmo, convidar professores diferentes para os vídeos, não desperdiçar o tempo dos alunos, falar o essencial, acrescentar anotações e, acima de tudo, sempre respeitar os direitos autorais. É importante que, nesse método, os alunos aprendam a trabalhar e a respeitar as referências.

4.1 Reconhecimento do campo de pesquisa

O Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco (IFPE), criado sob os termos da Lei de número 11.892, de 29 de dezembro de 2008, está diretamente ligado ao Ministério da Educação do Brasil. Situado na sede de sua Reitoria, na Avenida Professor Luiz Freire, Cidade Universitária, Recife, Pernambuco. De acordo com o Plano de Desenvolvimento Institucional (PDI), o Instituto possui uma área de 3. 120. 000 m², desses, 103.668, 00 são de áreas construídas que abarcam o desenvolvimento de práticas de Ensino, Pesquisa, Extensão, esporte, lazer e cultura. Sendo essa uma instituição descentralizada no Estado de Pernambuco, o IFPE é uma instituição que enquadra educação básica, técnica, tecnológica e superior, ofertando educação profissional e tecnológica em várias modalidades.

Figura 27 - Campus Recife do IFPE



Fonte: Instituto Federal de Pernambuco, 2020

4.2 *Google* formulário

O *Google* Formulário é uma ferramenta gratuita que permite a coleta fácil e rápida de informações por meio de formulários elaborados e respondidos exclusivamente de maneira online, possibilitando ferramentas que levam ao uso personalizado de layout gráfico e dos mais variados tipos de resposta de acordo com as necessidades estabelecidas pelo pesquisador. Além dessas vantagens, um dos méritos de utilizar essa plataforma é a facilidade para o compartilhamento dos formulários que podem ser respondidos tanto em computadores do tipo desktop como a partir de aparelhos móveis. Os resultados são apresentados de forma rápida e didática, organizadas em gráficos em tempo real, o que certamente facilita o trabalho de análise dos dados coletados.

O *Google* Formulário é uma ferramenta que faz parte do *Google Drive*, sendo essa mais uma ferramenta utilizada como forma de compartilhamento e troca de materiais com os alunos. A aplicabilidade desse recurso é diversificada tendo em vista que ele pode ser utilizado em qualquer área do conhecimento. Nesse sentido, a ferramenta foi utilizada nesta pesquisa com a intenção de avaliar, revisar e diagnosticar o conhecimento dos alunos em relação a conteúdos determinados. Ademais, é esse um recurso que otimiza o tempo do professor, tendo em vista que reduz os procedimentos necessários para a realização de uma avaliação geral de uma turma, por exemplo, sobrando mais tempo para que o docente dedique mais tempo ao planejamento de atividades futuras ou que realize outras atividades. De um modo geral, o *Google* Formulários foi escolhido como uma das ferramentas para dar forma ao método

invertido devido ao fato de ser essa uma metodologia diferente das utilizadas em uma modalidade de ensino mais tradicional, permitindo o acesso ao material de uma maneira nunca antes trabalhada na sala de aula. É essa uma forma de proporcionar novas interações. Outro diferencial é o sistema de feedback que é disponibilizado para que o professor possa dar todo o suporte nas atividades.

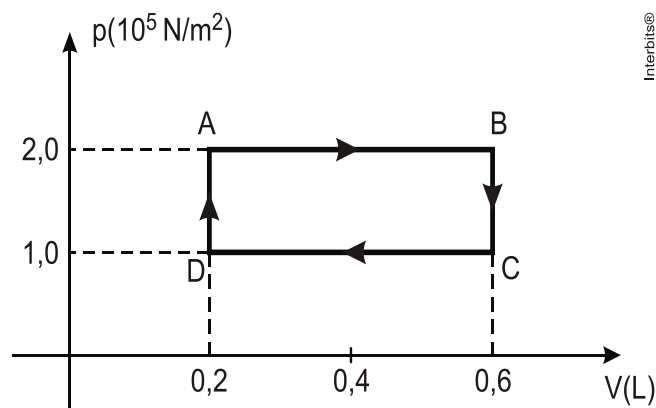
REFERÊNCIAS

- ARAGÃO, Heliete Meira Coelho Arruda e Pedro Henrique Arruda. **Física: Ensino Médio**, 3ª série. Brasília: CIB – Cisbrasil, 2006.
- BARRETO FILHO, Benigno; SILVA, Claudio Xavier. **360º: física: aula por aula: partes 1, 2 e 3**, volume único. São Paulo: FTD, 2015.
- BARROS, E. L. R.; BARROS, E. M. R., Blog de psicanálise. In: MELAINE Klein: ontem, hoje e amanhã. [S. l.: s. n.], 2017. Disponível em <<https://www.sbpsp.org.br/blog/melanie-klein-ontem-hoje-e-amanha/>>. Acesso em: 25 fev. 2022.
- BAUMAN, Zygmunt. **Modernidade líquida**. Rio de Janeiro: Zahar, 2001.
- BELLONI, Maria Luiza; GOMES, Nilza Godoy. Infância, mídias e aprendizagem: autodidaxia e colaboração. **Educação e Sociedade**, Campinas, v. 29, n. 104, p. 717-746, 2008.
- BERGMANN, Jonathan; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa da aprendizagem**. Rio de Janeiro: LTC, 2018.
- BRASIL. **Lei n. 9.394, de 20 de dezembro de 1996**. Estabelece as diretrizes e bases da educação nacional. Brasília, DF, 1996.
- BRASIL. Ministério da Educação. **PCN Ensino Médio: Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais: Ciências da Natureza Matemática e suas Tecnologias: Física**. Brasília: MEC, 2002.
- BISCUOLA, Gualter José; BÔAS, Newton Villas; Doca, Ricardo Helou. **Tópicos de Física 2**. termologia, ondulatória e óptica. São Paulo: Saraiva, 2012.
- DIOGO, Rodrigo Claudino; GOBARA, Shirley Takeco. **Sociedade, educação e ensino de física no Brasil: do Brasil Colônia ao fim da Era Vargas**. In: Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2007, São Luis. Anais. Sociedade Brasileira de Física.
- DUARTE, Newton. **Vigotski e o aprender a aprender: crítica às apropriações neoliberais e pós-moderna da teoria vigotskiana**. São Paulo: Autores Associados, 2001.
- DURAU, Karina [org.]. **Demandas e contextos da educação no século XXI**. Ponta Grossa: Atena, 2019.
- FERREIRA, A. B. d. H. **Mini Aurélio: o dicionário da língua portuguesa**. Curitiba: Positivo, 2010.
- FREITAS, Maria Teresa. **Letramento digital e formação de professores**. In: Educação em Revista, Belo Horizonte, v. 26, n. 3335-352, 2010.
- FUKE, L. F.; YAMAMOTO, K. **Física para o Ensino Médio: Mecânica**. São Paulo: Saraiva, 2010.
- GASPAR, Alberto. **Cinquenta anos de ensino de física: muitos equívocos, alguns acertos e a necessidade de recolocar o professor no centro do processo educacional**. Educação Revista de Estudos da Educação, v. 13, 2004.
- GASPAR, Alberto. **Experiências de Ciências para o 1º grau**. São Paulo: Editora Ática S.A., 1990.
- GUIMARÃES, O.; PIQUEIRA, J. R.; CARRON, W. **Física 1**. São Paulo: Ática 2014.
- HALLIDAY, D.; RESNICK, R.; WALKER, J. **Fundamentos de Física**, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- LEITÃO, Carla Faria; NICOLACI-DA-COSTA, Ana Maria. **Impactos da internet sobre pacientes: a visão de psicoterapeutas**. In: Psicologia em Estudo, v. 10, n. 3, p. 441-450, 2005.
- LOPES, Ivone Goulart (org.). **História da educação no Brasil: desafios e perspectivas**. Curitiba: Atena, 2016.
- LUZ, A.M. R.; ÁLVARES, B. A. **Física contexto e aplicações**. São Paulo: Scipione, 2014.

- MAZUR, Eric. **Peer instruction**: a revolução da aprendizagem ativa. Porto Alegre: Penso, 2015.
- NICOLACI-DA-COSTA, Ana Maria. **Revoluções tecnológicas e transformações subjetivas**. In: Psicologia: teoria e pesquisa, v. 18, n. 2, p. 193-202, 2002.
- NUSSENZVEIG, H. Moysés. **Curso de Física básica 2**: fluidos, oscilações e ondas, calor. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- PEDRISA, Cíntia Mara. **Características históricas do ensino de ciências**. In: Ciência em Foco, São Paulo, v. 1, n. 1, 2013.
- RAMALHO Junior, Francisco; FERRARO, Nicolau Gilberto; SOARES, Paulo Antônio de Toledo. **Os Fundamentos da Física**: termologia. v. 2, 11. ed. São Paulo: Moderna, 2015.
- SANTAELLA, Lucia. **Cultura das mídias**. São Paulo: Experimento, 2003.
- SANTOS, Gilberto Lacerda. **A internet na escola fundamental**: sondagem de modos de usos por professores. In: Educação e Pesquisa, São Paulo, v. 20, n. 2, p. 303-312, 2003.
- SARAIVA-NEVES, M.; CABALLERO, C.; MOREIRA, M. A. **Repensando o papel do trabalho experimental, na aprendizagem da física, em sala de aula—um estudo exploratório**: investigações em Ensino de Ciências, v. 11, n. 3, p. 383–401, 2006.
- SEARS, Francis; ZEMANSKY, Mark W.; YOUNG, Hugh D. **Física**, volume 2: mecânica dos fluidos, calor e movimento ondulatório. Rio de Janeiro: LTC, 1984.
- SILVA, Diego José Raposo da. **Termodinâmica de solvatação**: implicações, aplicações e generalizações. 236 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. Química Fundamental, Recife, 2019.
- SILVA, Gislene Albuquerque Pires da. **Flipped classroom, aprendizagem colaborativa e gamification**: conceitos aplicados em um ambiente colaborativo para ensino de programação. 90 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Ciência da Computação, Recife, 2017.
- SILVA, João Carlos Sedraz. **Uma abordagem de learning analytics para a autorregulação da aprendizagem de estudante em sala de aula invertida**. 248 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco. Ciência da Computação, Recife, 2018.
- SILVA, Rogério Soares da. **Aceleração de cálculos e visualização de propriedades termodinâmicas**. 55 f. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco. Engenharia Mecânica, Recife, 2004.
- SYDNER, Ilana. **Antes, agora, adiante**: hipertexto, letramento e mudança. In: Educação em Revista, v. 26, n. 3, p. 255-282, Belo Horizonte, 2010.
- TAYLOR, J. R. **Introdução à análise de erros**: o estudo de incertezas em medições físicas. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2012.
- TIPLER, Paul Allan; MOSCA, Gene. **Física para cientistas e engenheiros**, volume 1: mecânica, oscilações e ondas, termodinâmica. Rio de Janeiro: LTC, 2006.

APÊNDICE A - PROVA DE TERMODINÂMICA

1. O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por n mols de um gás ideal.

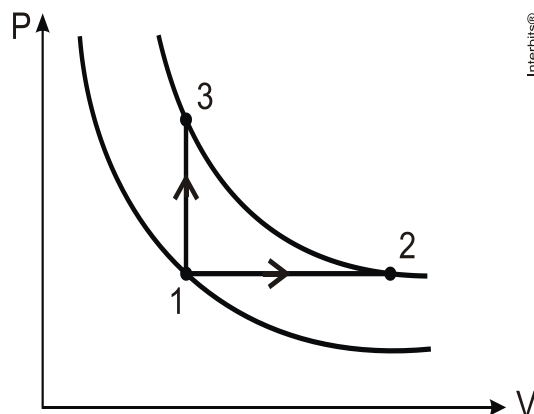


Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o)

- a) potência desse sistema é de 1600 W.
- b) trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- c) quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- d) temperatura do gás é menor no ponto C.
- e) A variação da energia interna no ciclo é 80J.

Resposta:[A]

2. A invenção e a crescente utilização de máquinas térmicas, a partir da revolução industrial, produziram, ao longo de dois séculos, impactos ecológicos de proporções globais. Para compreender o funcionamento das máquinas térmicas, é necessário estudar os processos de expansão e compressão dos gases no seu interior. Em certas condições, todos os gases apresentam, aproximadamente, o mesmo comportamento. Nesse caso, são denominados gases ideais. Considere o diagrama pressão (P) x volume (V) para um gás ideal, sendo as curvas isotermas.



Analise, então, as afirmativas:

- I. A energia interna do estado 1 é maior do que a energia interna do estado 2.
- II. No processo $1 \rightarrow 3$, o gás não realiza trabalho contra a vizinhança.
- III. No processo $1 \rightarrow 2$, o gás recebe energia e também fornece energia para a vizinhança.

Está(ão) correta(s)

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

Resposta:[D]

3. Além de contribuir para a análise das condições de saúde, a tecnologia é um meio para promover bem-estar.

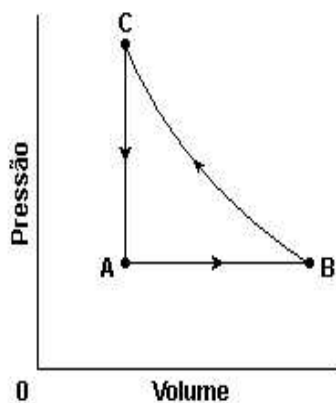
O condicionador de ar é uma máquina térmica e funciona com um ciclo termodinâmico que possui quatro processos, sendo dois adiabáticos. Numa _____ adiabática de um gás ideal, o trabalho realizado contra a vizinhança faz _____ a energia interna do gás, provocando um _____ na sua temperatura.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- a) expansão - diminuir - aumento
- b) compressão - aumentar - abaixamento
- c) expansão - aumentar - abaixamento
- d) compressão - diminuir - aumento
- e) expansão - diminuir - abaixamento

Resposta:[E]

4. Um gás ideal, confinado numa câmara, é submetido ao ciclo termodinâmico ABCA indicado na figura a seguir. A curva BC é uma isoterma. Verifique se as proposições a seguir são corretas ou incorretas.



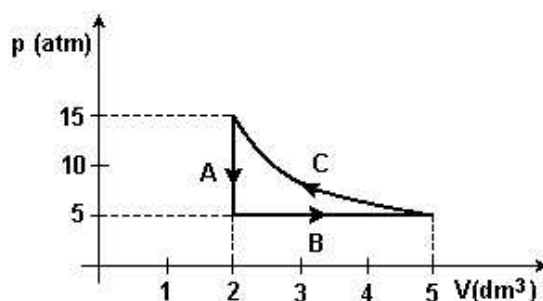
- I. Na etapa BC, calor flui do gás para a vizinhança;
- II. Na etapa BC, a energia interna do gás aumenta;
- III. Na etapa AB, a energia interna do gás fica constante;
- IV. Na etapa AB, o gás recebe calor e realiza trabalho sobre a vizinhança;
- V. Num ciclo ABCA, a energia interna do gás aumenta e este aumento é igual à área delimitada pelo ciclo.

Marque a alternativa que contém as proposições corretas.

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

Resposta:[C]

5. O gás que circula num compressor de geladeira executa um ciclo termodinâmico no sentido anti-horário como o apresentado na figura a seguir:



Sabendo que a transformação C é adiabática, considere as seguintes afirmativas:

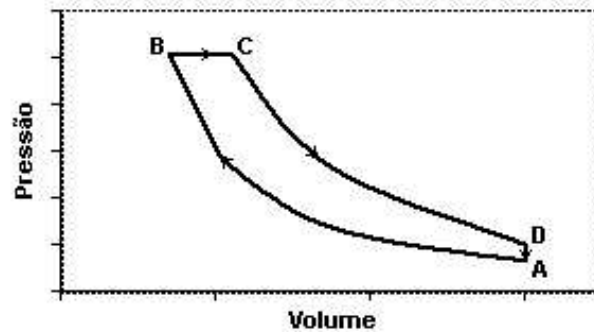
- I. A transformação A ocorre a volume constante e nenhum trabalho é realizado.
- II. A transformação B é isobárica e o meio externo realiza trabalho sobre o gás.
- III. Não há trocas de calor na transformação C.
- IV. A temperatura na transformação C é constante.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I e III são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas I e II são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas II e IV são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I, II e III são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas III e IV são verdadeiras.

Resposta:[A]

6. Motores de potências relativamente altas são utilizados em embarcações marítimas, locomotivas, geradores e caminhões, tendo por base o ciclo Diesel de quatro tempos. Esses motores, em geral, são alimentados com a injeção direta do combustível em cada cilindro. O gráfico a seguir, da pressão em função do volume, representa esquematicamente o ciclo Diesel, por meio de seus quatro processos: "compressão adiabática" AB, "expansão isobárica" BC, "expansão adiabática" CD e "transformação isovolumétrica" DA.

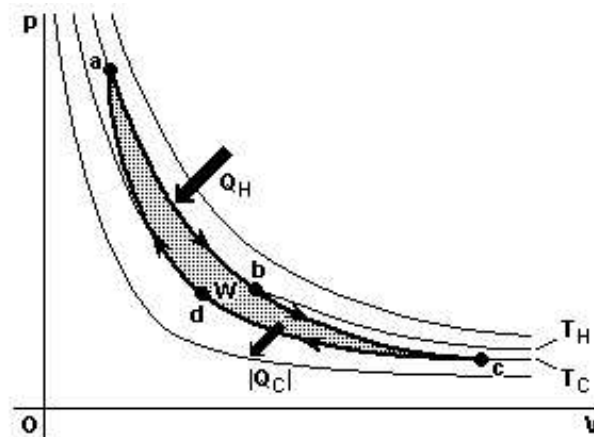


Considerando o ciclo Diesel apresentado no gráfico,

- a) não há variação de temperatura durante o processo AB.
- b) não há variação de temperatura durante o processo DA.
- c) a temperatura aumenta durante o processo AB.
- d) a temperatura aumenta durante o processo CD.
- e) a temperatura diminui durante o processo BC.

Resposta:[C]

7. A figura a seguir mostra um ciclo de Carnot, usando como substância-trabalho um gás ideal dentro de um cilindro com um pistão. Ele consiste de quatro etapas.



De acordo com a figura, é INCORRETO afirmar:

- a) De a para b, o gás expande-se isotermicamente na temperatura T_H , absorvendo calor Q_H .

- b) De b para c, o gás expande-se adiabaticamente até que sua temperatura cai para T_c .
- c) De d para a, o gás é comprimido isovolumetricamente até que sua temperatura cai para T_c .
- d) De c para d, o gás é comprimido isotermicamente na temperatura T_c , rejeitando calor Q_c .
- e) Para o ciclo de Carnot, só há necessidade de duas isotérmicas e duas adiabáticas.

Resposta:[C]

8. A primeira lei da termodinâmica para sistemas fechados foi originalmente comprovada pela observação empírica, no entanto é hoje considerada como a definição de calor através da lei da conservação da energia e da definição de trabalho em termos de mudanças nos parâmetros externos de um sistema.

Com base nos conhecimentos sobre a Termodinâmica, é correto afirmar:

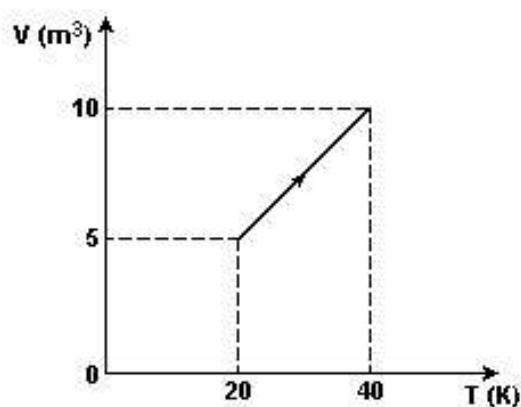
- a) A energia interna de uma amostra de um gás ideal é função da pressão e da temperatura absoluta.
- b) Ao receber uma quantidade de calor Q igual a 48,0 J, um gás realiza um trabalho igual a 16,0 J, tendo uma variação da energia interna do sistema igual 64,0 J.
- c) Quando se fornece a um sistema certa quantidade de energia Q , esta energia pode ser usada apenas para o sistema realizar trabalho.
- d) Nos processos cíclicos, a energia interna não varia, pois volume, pressão e temperatura são iguais no estado inicial e final.
- e) A energia interna, o trabalho realizado e a quantidade de calor recebida ou cedida independem do processo que leva o sistema do estado inicial A até um estado final B.

Resposta: [D]

9. A variação da energia interna de um gás perfeito em uma transformação isobárica foi igual a 1200 J. Se o gás ficou submetido a uma pressão de 50 N/m² e a quantidade de energia que recebeu do ambiente foi igual a 2000 J, então, a variação de volume sofrido pelo gás durante o processo foi

- a) 10 m³.
- b) 12 m³.
- c) 14 m³.
- d) 16 m³.
- e) 25 m³

10. Em uma transformação termodinâmica sofrida por uma amostra de gás ideal, o volume e a temperatura absoluta variam como indica o gráfico a seguir, enquanto a pressão se mantém igual a 20 N/m².

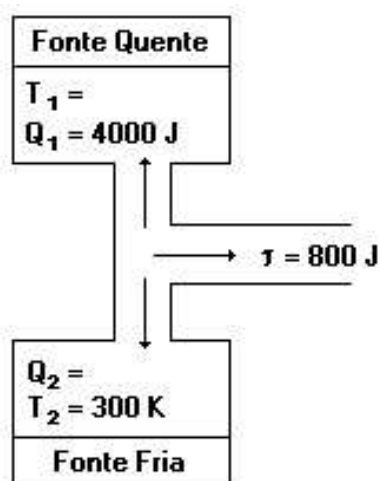


Sabendo-se que nessa transformação o gás absorve 250 J de calor, pode-se afirmar que a variação de sua energia interna é de

- a) 100 J.
- b) 150 J.
- c) 250 J.
- d) 350 J.
- e) 400 J.

Resposta:[B]

11. O esquema a seguir representa trocas de calor e realização de trabalho em uma máquina térmica. Os valores de T_1 e Q_2 não foram indicados mas deverão ser calculados durante a solução desta questão.



Considerando os dados indicados no esquema, se essa máquina operasse segundo um ciclo de Carnot, a temperatura T_1 , da fonte quente, seria, em Kelvins, igual a

- a) 375
- b) 400
- c) 525
- d) 1200
- e) 1500

Resposta:[A]

12. Considere as seguintes afirmações sobre uma máquina térmica operando segundo o ciclo de Carnot, entre duas fontes de calor, uma a 27°C e a outra a 57°C .

- () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 52% e esse rendimento é máximo, ao menos que a temperatura da fonte fria seja zero.
- () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5.000 J de calor da fonte quente, rejeitará 1.000 J para a fonte fria.
- () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente 10% e, caso essa máquina receba 5.000 J da fonte quente, rejeitará 4.500 J para a fonte fria.
- () O rendimento dessa máquina irá aumentar se houver aumento da diferença de temperatura entre as fontes de calor.

Atribuindo-se verdadeiro (V) ou falso (F) para cada uma das afirmações, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- a) V – F – V – F
- b) V – V – V – F
- c) F – F – V – F
- d) F – F – V – V
- e) V – V – F – F

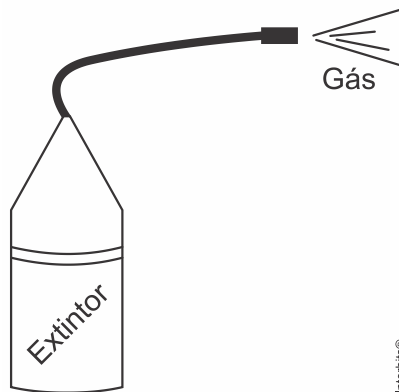
Resposta:[D]

13. Uma das maneiras de se obter sal de cozinha é a sua extração a partir de sítios subterrâneos. Para a realização de muitas das tarefas de mineração, são utilizadas máquinas térmicas, que podem funcionar, por exemplo, como motores para locomotivas, bombas de água e ar e refrigeradores. A respeito das propriedades termodinâmicas das máquinas térmicas, qual das alternativas é INCORRETA?

- a) O rendimento de uma máquina térmica funcionando como motor será máximo quando a maior parte da energia retirada da fonte quente for rejeitada, transferindo-se para a fonte fria.
- b) Uma máquina térmica funcionando como refrigerador transfere energia de uma fonte fria para uma fonte quente mediante realização de trabalho.
- c) Máquinas térmicas necessitam de duas fontes térmicas com temperaturas diferentes para operar.
- d) Dentre as consequências da segunda lei da termodinâmica, está a impossibilidade de se construir uma máquina térmica com rendimento de 100%.
- e) Todas as etapas de uma máquina térmica operando no ciclo de Carnot são reversíveis.

Resposta:[A]

14. Um extintor de incêndio de CO_2 é acionado e o gás é liberado para o ambiente.



Analise as asserções que se seguem:

A figura ilustra uma expansão volumétrica muito rápida, característica de uma transformação adiabática

PORQUE

em uma transformação adiabática, a transmissão de calor entre o gás e a vizinhança é muito grande e o trabalho realizado pelo gás é igual à variação da sua energia interna.

É correto afirmar que

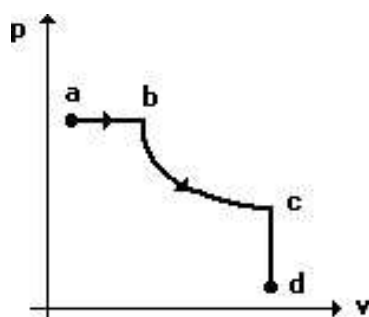
- a) as duas asserções são proposições verdadeiras, e a segunda é uma justificativa correta da primeira.
- b) as duas asserções são proposições verdadeiras, mas a segunda não é justificativa correta da primeira.
- c) a primeira asserção é uma proposição verdadeira, e a segunda, uma proposição falsa.
- d) a primeira asserção é uma proposição falsa, e a segunda, uma proposição verdadeira.
- e) a primeira e a segunda asserção são proposições falsas.

Resposta: [C]

APÊNDICE B – ATIVIDADES

GASES CONCEITUAIS: ATIVIDADE DE CASA

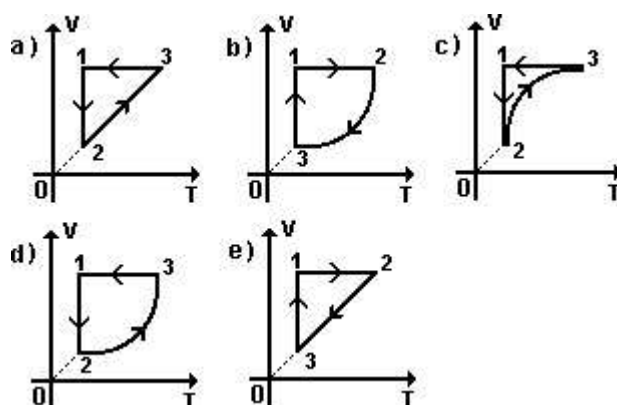
1. Um gás perfeito sofre as transformações indicadas no gráfico pressão x volume, onde o trecho BC é uma hipérbole.



Em relação às temperaturas dos estados a, b, c e d, é CORRETO afirmar:

- a) $T_a > T_b > T_c > T_d$
- b) $T_a < T_b < T_c < T_d$
- c) $T_a < T_b$; $T_b = T_c$; $T_c > T_d$
- d) $T_a > T_b$; $T_b = T_c$; $T_c = T_d$
- e) $T_a > T_b$; $T_b = T_c$; $T_c < T_d$

2. Uma determinada massa de gás perfeito, inicialmente no estado 1, sofreu as seguintes e sucessivas transformações gasosas: foi comprimido isotermicamente até um estado 2; depois foi aquecido isobaricamente até um outro estado 3; e finalmente esfriado isometricamente retornando o estado 1. Dentre os diagramas Volume $\times$ Temperatura Absoluta apresentados, assinale aquele que melhor representa a sucessão de transformações descritas.

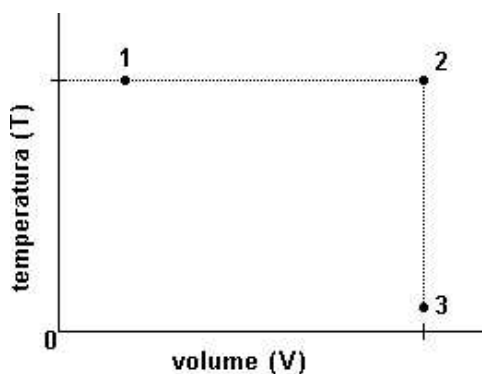


3. Numa transformação isobárica, a temperatura absoluta de uma amostra de gás ideal é diretamente proporcional à(ao):

- a) sua massa
- b) sua densidade
- c) volume ocupado pelo gás
- d) seu número de moles

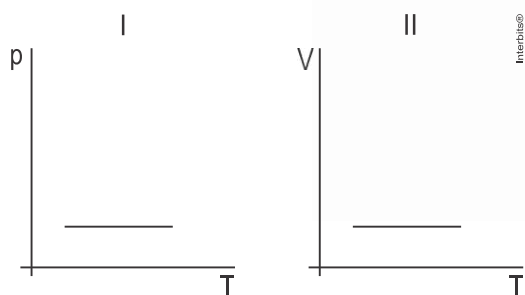
4. Um cilindro fechado contém determinada massa de gás ideal. No gráfico a seguir (temperatura absoluta T versus volume V), os pontos 1, 2 e 3 representam estados de equilíbrio termodinâmico do gás. Considere os valores da pressão do gás, P_1 , P_2 e P_3 , nos estados 1, 2 e 3, respectivamente.

Escolha a seguir a alternativa correta.



- a) $P_1 = P_3 < P_2$
- b) $P_1 > P_2 > P_3$
- c) $P_1 < P_2 < P_3$
- d) $P_1 = P_2 > P_3$
- e) $P_1 < P_2 = P_3$

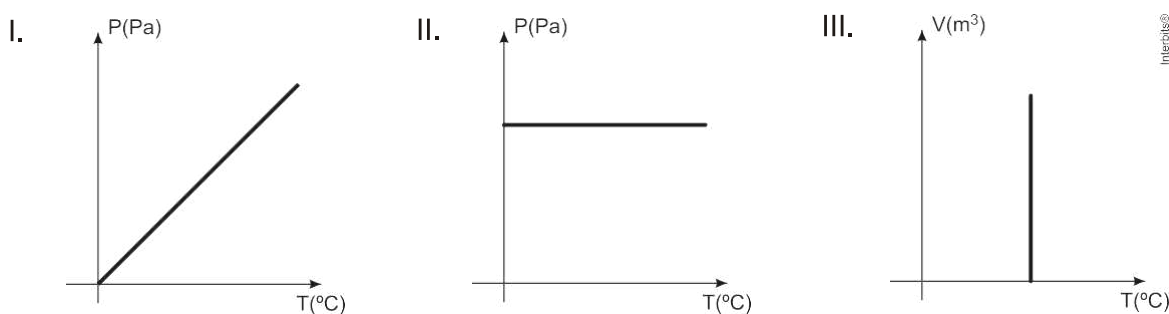
5. Nos gráficos I e II abaixo, p representa a pressão a que certa massa de gás ideal está sujeita, T a sua temperatura e V o volume por ela ocupado.



Escolha a alternativa que identifica de forma correta as transformações sofridas por esse gás, representadas, respectivamente, em I e II.

- a) Isobárica e isocórica.
- b) Isotérmica e isocórica.
- c) Isotérmica e isobárica.
- d) Isocórica e isobárica.
- e) Isocórica e isotérmica.

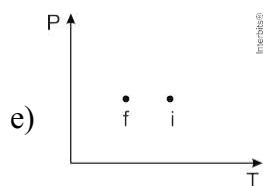
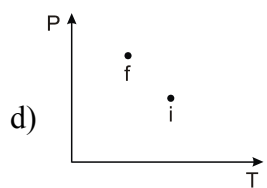
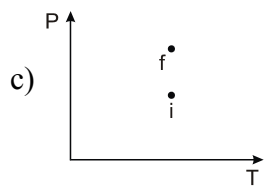
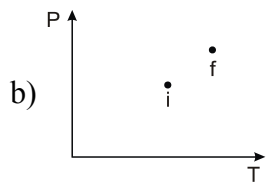
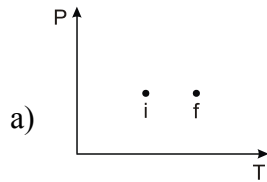
6. Uma dada massa gasosa, que está limitada em um cilindro por um êmbolo móvel, sofre as transformações representadas pelos seguintes gráficos:



Assinale a alternativa que contém a correta classificação das três transformações apresentadas acima.

- a) I. isovolumétrica / II. isobárica / III. isotérmica.
- b) I. isotérmica / II. isobárica / III. isovolumétrica.
- c) I. isobárica / II. isovolumétrica / III. isotérmica.
- d) I. isovolumétrica / II. isotérmica / III. isobárica.
- e) I. isobárica / II. isotérmica / III. isovolumétrica.

7. Uma quantidade de um gás ideal é colocada em um recipiente de vidro hermeticamente fechado e exposto ao sol por um certo tempo. Desprezando-se a dilatação do recipiente, assinale a alternativa que representa corretamente, de forma esquemática, os estados iniciais (i) e final (f) do gás em um diagrama P x T (Pressão x Temperatura).

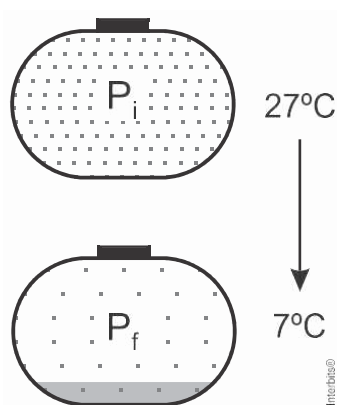


8. Assinale a alternativa que completa corretamente a frase: "Para gases ideais, o valor da relação PV/T ...

- a) é diretamente proporcional à pressão do gás."
- b) é diretamente proporcional ao volume do gás."
- c) é inversamente proporcional à temperatura absoluta do gás."
- d) diferente para massas diferentes de um mesmo gás."
- e) é o mesmo para uma dada massa de gases diferentes."

GASES NUMÉRICOS: ATIVIDADE DE SALA DE AULA

1. Analise a figura abaixo.



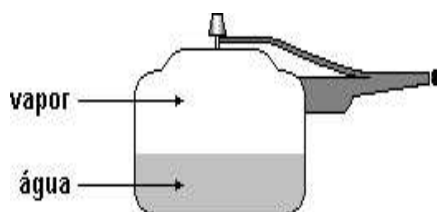
Após uma lavagem, certa quantidade de vapor d'água, na temperatura inicial de $27\text{ }^{\circ}\text{C}$, permaneceu confinada no interior de um tanque metálico. A redução da temperatura para $7,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ causou condensação e uma consequente redução de 50% no número de moléculas de vapor. Suponha que o vapor d'água se comporte como um gás ideal ocupando um volume constante. Se a pressão inicial for $3,0 \cdot 10^3\text{ Pa}$, a pressão final, em quilopascal, será

- a) 1,4
- b) 1,5
- c) 2,0
- d) 2,8
- e) 2,9

2. Um motorista calibra os pneus de seu carro com uma pressão de trintas libras pol^2 a uma temperatura de 27°C . Após uma viagem, a temperatura deles subiu para 47°C . Desprezando-se a variação de volume dos pneus e sabendo-se que 10% da massa de ar contida em um dos pneus escapou pela válvula durante a viagem, a pressão do ar neste pneu, ao término desta viagem, em libras pol^2 , é de aproximadamente

- a) 25
- b) 26
- c) 29
- d) 32

3. Uma panela de pressão com volume interno de 3,0 litros e contendo 1,0 litro de água é levada ao fogo. No equilíbrio térmico, a quantidade de vapor de água que preenche o espaço restante é de 0,2 mol. A válvula de segurança da panela vem ajustada para que a pressão interna não ultrapasse 4,1 atm. Considerando o vapor de água como um gás ideal e desprezando o pequeno volume de água que se transformou em vapor, calcule a temperatura, em 10^2 K , atingida dentro da panela.



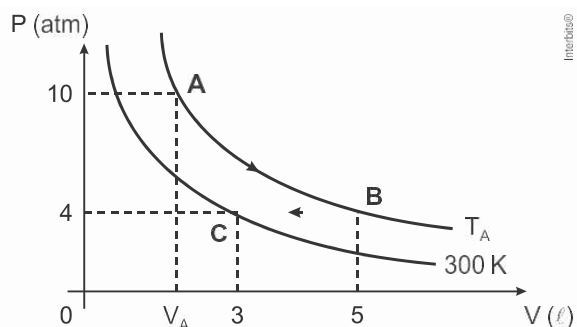
- a) 4,0
- b) 4,2
- c) 4,5
- d) 4,7
- e) 5,0

4. Dois mols de um gás ideal, inicialmente sob pressão de $1,01 \times 10^5\text{ Pa}$, temperatura de 10°C e volume de 4 m^3 , são submetidos a uma transformação isobárica, elevando seu volume até 8 m^3 .

Nessas condições, é possível afirmar que a temperatura final do gás, em graus Celsius, é de:

- a) 526
- b) 131,5
- c) 20
- d) 10
- e) 253

5.



A figura acima representa duas isotérmicas em que certa massa gasosa, inicialmente no estado A, sofre uma transformação atingindo o estado B, que por sua vez sofre uma transformação, atingindo o estado C. A e o volume V_A são iguais a temperatura T_A

- a) 200 K e 5ℓ .
- b) 300 K e 2ℓ .
- c) 400 K e 4ℓ .
- d) 500 K e 2ℓ .
- e) 500 K e 4ℓ .

6. Um gás perfeito, que tem um volume de 12,0ℓ encontra-se no interior de um frasco sob pressão de 3,00 atm e com temperatura de 200 K. Inicialmente, o gás sofre uma transformação isotérmica, de tal forma que sua pressão passa a ser de 9,00 atm, a seguir, o gás sofre uma transformação segundo a lei de Gay-Lussac, atingindo uma temperatura de 500 K. Os volumes, após as duas transformações, respectivamente, são iguais a

- a) 10,0 ℓ e 4,00ℓ .
- b) 4,00 ℓ e 2,00ℓ .
- c) 10,0 ℓ e 2,00ℓ .
- d) 2,00 ℓ e 4,00ℓ .
- e) 4,00 ℓ e 10,0ℓ .

7. Ao ser admitido no interior da câmara de combustão do motor de uma motocicleta, o vapor de etanol chega a ocupar o volume de 120 cm³ sob pressão de 1,0 atm e temperatura de 127 °C. Após o tempo de admissão, o pistão sobe, o volume ocupado por essa mistura diminui para 20 cm³, e a pressão aumenta para 12 atm.

Considerando a mistura um gás ideal e desprezando perdas de calor devido à rápida compressão, a temperatura do gás resultante desse processo no interior da câmara passa a ser, em $^{\circ}\text{C}$, de

- a) 473.
- b) 493.
- c) 527.
- d) 573.
- e) 627.

8. Um gás ideal, inicialmente a 300 K e a 1 atm, é aquecido a pressão constante até que seu volume seja o triplo do original. O gás é, então, comprimido de volta ao seu volume inicial, e sua pressão final é de 2 atm. Qual é a temperatura final do gás, em K?

- a) 600
- b) 300
- c) 900
- d) 100
- e) 450

GASES NUMÉRICOS: TAREFA DE CASA

1.

A bola utilizada em uma partida de futebol é uma esfera de diâmetro interno igual a 20 cm. Quando cheia, a bola apresenta, em seu interior, ar sob pressão de 1,0 atm e temperatura de 27°C .

Considere $\pi = 3$, $R = 0,080 \text{ atm}\cdot\text{L}\cdot\text{mol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$ e, para o ar, comportamento de gás ideal e massa molar igual a $30 \text{ g}\cdot\text{mol}^{-1}$.

No interior da bola cheia, a massa de ar, em gramas, corresponde a:

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 2,5
- b) 5,0
- c) 7,5
- d) 10,0

2

0,5 moles de um gás ocupam um volume V de $0,1 \text{ m}^3$ quando a uma temperatura de 300 K. Qual é a pressão do gás a

300 K? Considere $R = 8,3 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$.

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 830 Pa
- b) 1245 Pa
- c) 1830 Pa
- d) 12450 Pa
- e) 18300 Pa

3.

Um mol de gás ideal, à pressão de 16,6 atm, ocupa uma caixa cúbica cujo volume é de $0,001 \text{ m}^3$. Qual a temperatura do gás e a força que o gás exerce sobre a tampa quadrada da caixa?

(Considere $1,0 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, $R = 8,3 \text{ J/mol K}$)

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 100 K e $8,3 \cdot 10^3 \text{ N}$
- b) 100 K e $16,6 \cdot 10^3 \text{ N}$
- c) 166 K e $8,3 \cdot 10^3 \text{ N}$
- d) 200 K e $16,6 \cdot 10^3 \text{ N}$
- e) 200 K e $8,3 \cdot 10^3 \text{ N}$

4.

Dois gases ideais A e B encontram-se em recipientes separados. O gás A possui volume $V_A = 10 \text{ L}$ e está submetido à pressão $p_A = 5 \text{ atm}$. O gás B possui volume $V_B = 5 \text{ L}$ e está submetido à pressão $p_B = 3 \text{ atm}$. As temperaturas respectivas são $t_A = 27^\circ\text{C}$ e $t_B = 177^\circ\text{C}$. Os gases são misturados em um mesmo recipiente de volume $V = 10 \text{ L}$, a uma temperatura $t = 127^\circ\text{C}$. A pressão, em atm, que esta mistura exercerá nas paredes do recipiente é:

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 2
- b) 5
- c) 8
- d) 10

5.

Considere que a bola tenha um volume de $4 \times 10^{-3} \text{ m}^3$ e que a pressão do ar, no seu interior, seja de $5 \times 10^5 \text{ N/m}^2$, quando a temperatura for de 27°C .

Sabendo que o valor da constante universal dos gases é $R = 8,31 \text{ J/mol K}$ e que o ar, nessas condições, comporta-se, aproximadamente, como gás ideal, a quantidade de ar dentro da bola, em mol, é de, aproximadamente,

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 0,8
- b) 1,25
- c) 8,8

- d) 80
- e) 160

6.

Um extintor de incêndio cilíndrico, contendo CO_2 , possui um medidor de pressão interna que, inicialmente, indica 200 atm. Com o tempo, parte do gás escapa, o extintor perde pressão e precisa ser recarregado. Quando a pressão interna for igual a 160 atm, a porcentagem da massa inicial de gás que terá escapado corresponderá a:

Obs: Considere que a temperatura permanece constante e o CO_2 , nessas condições, comporta-se como um gás perfeito

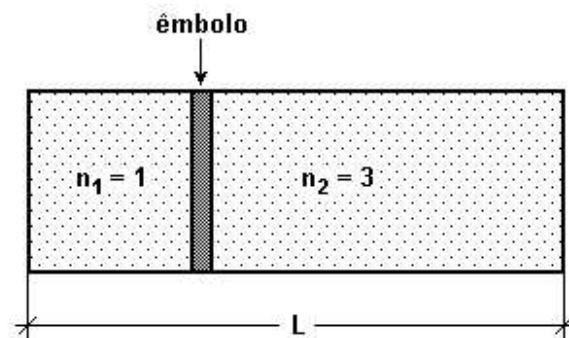
$$1 \text{ atm} = 10^5 \text{ N/m}^2$$

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 10%
- b) 20%
- c) 40%
- d) 60%
- e) 75%

7.

O volume interno do cilindro de comprimento $L=20 \text{ cm}$, mostrado na figura, é dividido em duas partes por um êmbolo condutor térmico, que pode se mover sem atrito. As partes da esquerda e da direita contêm, respectivamente, um mol e três moles, de um gás ideal. Determine a posição de equilíbrio do êmbolo em relação à extremidade esquerda do cilindro.



Marcar apenas uma alternativa.

- a) 2,5 cm
- b) 5,0 cm
- c) 7,5 cm
- d) 8,3 cm
- e) 9,5 cm

8.

Certo gás, considerado ideal, com massa 34 g, está contido em um recipiente de 12,3 litros, sob pressão de 4 atm a 27 °C. Considerando apenas as massas atômicas dadas pela tabela a seguir, assinale o gás contido no recipiente:

Elemento	Massa Atômica
H	1
C	12
N	14
O	16

Dado: $R = 0,082 \text{ atm.litro/(mol.K)}$

Marcar apenas uma alternativa.

- a) CH₄
- b) C₂H₆
- c) CO₃
- d) NH₃
- e) N₂

9.

Um recipiente rígido contém gás perfeito sob pressão de 3 atm. Sem deixar variar a temperatura, são retirados 4 mols do gás, fazendo com que a pressão se reduza a 1 atm. O número de mols existente inicialmente no recipiente era

Marcar apenas uma alternativa.

- a) 6
- b) 8
- c) 10
- d) 12
- e) 16

10.

Quando se estuda o comportamento físico de uma massa gasosa (gás ideal), são levadas em consideração as chamadas variáveis de estado, ou seja, a pressão, o volume e a temperatura. Isto posto, podemos afirmar que a massa de 11,2 litros de oxigênio ($M=32\text{g}$) nas C.N.T.P. (condições normais de temperatura e pressão) é:

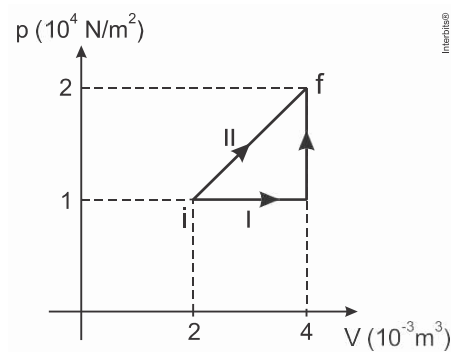
Marcar apenas uma alternativa.

- a) 8,0 g
- b) 16 g
- c) 22,4 g

- d) 24 g
- e) 32 g

TERMODINÂMICA: TAREFA DE CASA

Um gás ideal contido em um cilindro com pistão pode ser levado de um estado inicial i até um estado final f, seguindo dois processos distintos, I e II, conforme ilustrado na figura abaixo.



1. Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do enunciado abaixo, na ordem em que aparecem.

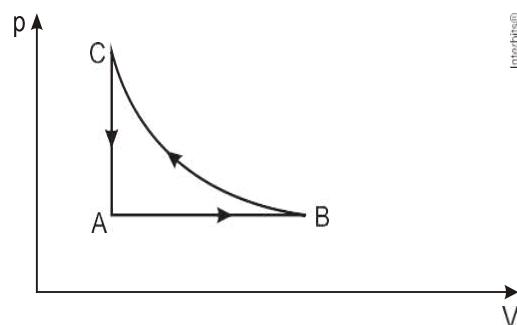
No processo I, o gás sofre duas transformações sucessivas, sendo a primeira

_____ a segunda _____. A variação de energia interna no processo I, DU_I , é _____ variação de energia interna no processo II, DU_{II} .

- a) isobárica – isocórica – maior do que a
- b) isocórica – isotérmica – maior do que a
- c) isotérmica – isocórica – igual à
- d) isobárica – isocórica – igual à
- e) isocórica – isobárica – menor do que a

Resposta:[D]

2. Certa quantidade de gás sofre três transformações sucessivas, $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ e $C \rightarrow A$, conforme o diagrama $p - V$ apresentado na figura abaixo.



A respeito dessas transformações, afirmou-se o seguinte:

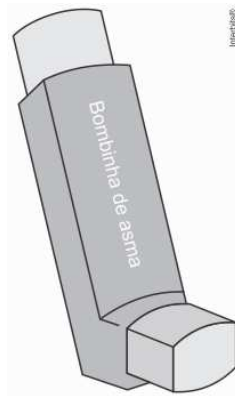
- I. O trabalho total realizado no ciclo ABCA é nulo.
- II. A energia interna do gás no estado C é maior que no estado A.
- III. Durante a transformação $A \rightarrow B$, o gás recebe calor e realiza trabalho.

Está correto o que se afirma em:

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

Resposta: [E]

3. Considere o caso abaixo e responda: Qual é a transformação sofrida pelo gás ao sair do spray?



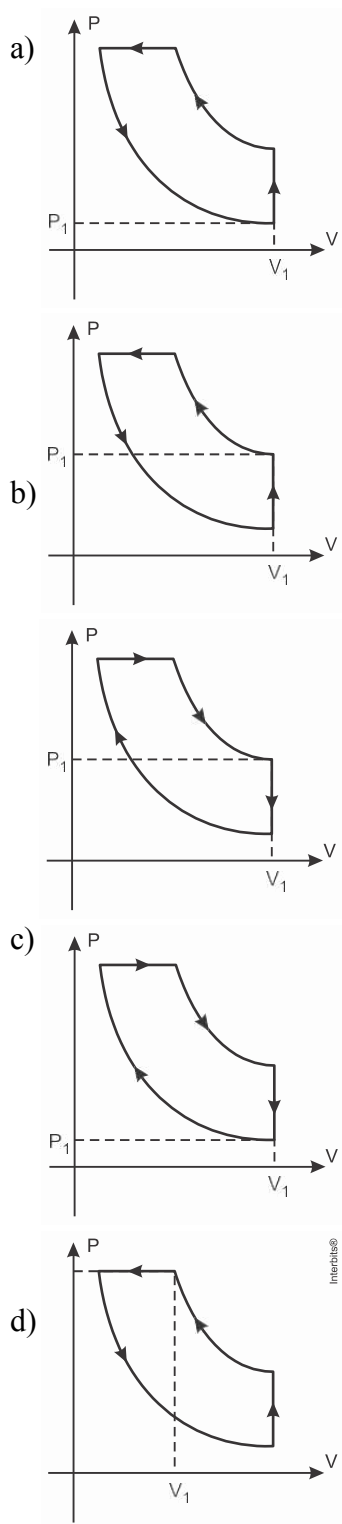
As pessoas com asma, geralmente, utilizam bronco dilatadores em forma de spray ou mais conhecidos como bombinhas de asma. Esses, por sua vez, precisam ser agitados antes da inalação para que a medicação seja diluída nos gases do aerossol, garantindo sua homogeneidade e uniformidade na hora da aplicação.

Podemos considerar o gás que sai do aerossol como sendo um gás ideal, logo, sofre certa transformação em sua saída.

- a) O gás sofre uma compressão adiabática.
- b) O gás sofre uma expansão adiabática.
- c) O gás sofre uma expansão isotérmica.
- d) O gás sofre uma compressão isotérmica.
- e) O gás sofre uma expansão isocórica.

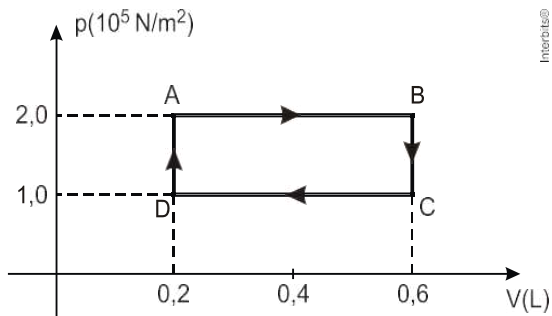
Resposta:[B]

4. O estado inicial de certa massa de gás ideal é caracterizado pela pressão P_1 e volume V_1 . Essa massa gasosa sofre uma compressão adiabática seguida de um aquecimento isobárico, depois se expande adiabaticamente até que o seu volume retorne ao valor inicial e, finalmente, um resfriamento isovolumétrico faz com que o gás retorne ao seu estado inicial. Qual o gráfico que melhor representa as transformações sofridas pelo gás?



Resposta:[D]

5. O diagrama abaixo representa um ciclo realizado por um sistema termodinâmico constituído por n mols de um gás ideal.

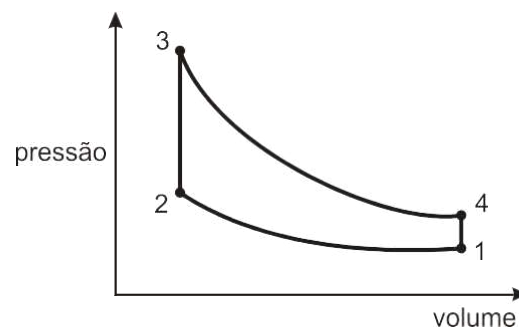


Sabendo-se que em cada segundo o sistema realiza 40 ciclos iguais a este, é correto afirmar que a(o)

- a) potência desse sistema é de 1600 W.
- b) trabalho realizado em cada ciclo é - 40 J.
- c) quantidade de calor trocada pelo gás com o ambiente em cada ciclo é nula.
- d) temperatura do gás é menor no ponto C.

Resposta:[A]

6. O ciclo Otto é um ciclo termodinâmico constituído por dois processos adiabáticos e dois processos isovolumétricos, como mostra o gráfico que segue.



Num motor que opera segundo este ciclo, um pistão inicialmente na posição correspondente ao máximo volume, estado 1, comprime o ar até que atinja o volume mínimo, estado 2. Então ocorre a combustão, resultando em um súbito aumento da pressão enquanto o volume permanece constante, levando o ar ao estado 3. O processo que segue é a ejeção de potência quando o ar expande adiabaticamente para o estado 4. No processo final, calor é transferido para a vizinhança e o ciclo é completado.

A partir das informações obtidas pela análise do gráfico representativo do ciclo Otto e de acordo com as leis da termodinâmica, é correto afirmar que:

- a) o calor líquido trocado no ciclo é nulo, visto que a temperatura final é igual à temperatura inicial.
- b) o sistema realiza um trabalho líquido nulo durante o ciclo, pois o volume final é igual ao volume inicial.
- c) o trabalho realizado no processo de compressão adiabática é maior do que o realizado no processo de expansão adiabática.
- d) o sistema absorve calor durante a compressão adiabática e rejeita calor durante a expansão adiabática.
- e) a variação da energia interna no ciclo é zero, porque o estado final é igual ao estado inicial.

Resposta:[E]

7. Uma quantidade de ar sofre uma compressão adiabática, ou seja, $pV^{7/5} = \text{constante}$, onde p é a pressão e V o volume do gás. O volume diminui por um fator de $1/32$ durante essa compressão. De quanto variou a pressão?

- a) Diminuiu 16 vezes.
- b) Aumentou 32 vezes.
- c) Aumentou 64 vezes.
- d) Aumentou 128 vezes.
- e) Diminuiu 32 vezes.

Resposta:[D]

8. Dentre as transformações realizadas por um gás ideal, é certo que:

- a) não há variação da energia interna nas transformações isobáricas.
- b) a temperatura se mantém constante, tanto nas transformações isotérmicas quanto nas

isométricas.

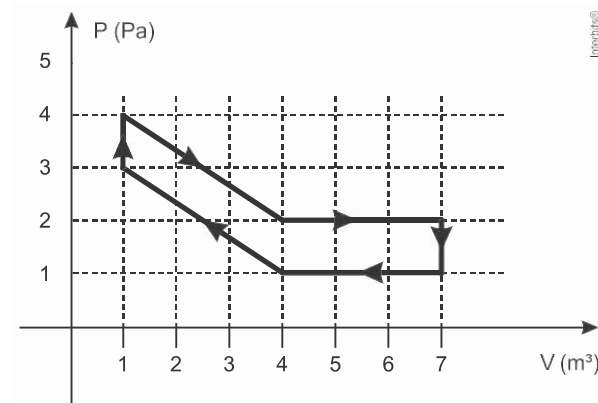
c) nas transformações adiabáticas não há troca de calor entre o gás e o recipiente que o contém.

d) não há realização de trabalho nas transformações isotérmicas, uma vez que nelas o volume não varia.

e) tanto a pressão quanto o volume do gás se mantêm constantes nas transformações isométricas.

Resposta: [C]

9. O gráfico a seguir representa o ciclo de uma máquina térmica ideal.

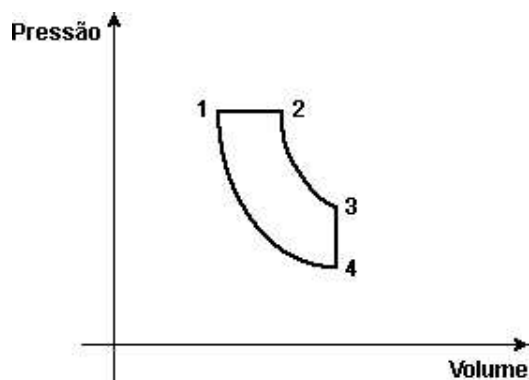


O trabalho total realizado em um ciclo é

- a) 0 J.
- b) 3,0J.
- c) 4,5J.
- d) 6,0J.
- e) 9,0J.

Resposta:[D]

10. Para responder a questão, considere as afirmativas a seguir e o gráfico Pressão (P) $\times$ Volume (V), que apresenta quatro transformações de um gás, cujo comportamento é o de um gás ideal. Duas das transformações são isotérmicas, e o gás está contido em um cilindro com êmbolo.



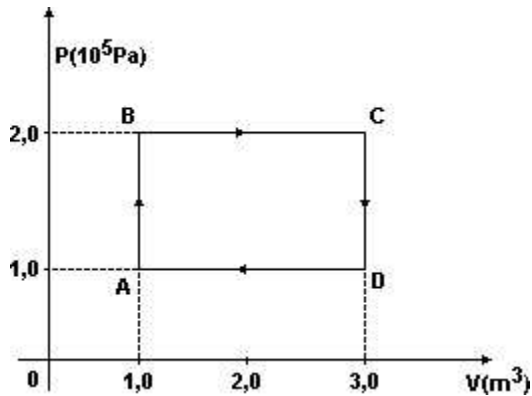
- I. A transformação do estado 1 para o estado 2 é isométrica com aquecimento.
- II. Na passagem do estado 2 para o estado 3, não ocorre variação de temperatura, e o gás realiza trabalho positivo.
- III. Na passagem do estado 3 para ao estado 4, há resfriamento do gás e não há realização de trabalho, pois a transformação é isométrica.
- IV. Na transformação do estado 4 para o estado 1, não há variação da energia interna do gás, e um agente externo realiza um trabalho sobre ele.

Estão corretas apenas

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

Resposta:[E]

11. Um sistema realiza o ciclo ABCDA representado na figura a seguir.

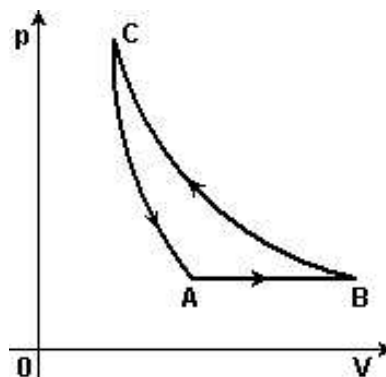


A partir do gráfico e baseado em seus conhecimentos sobre Termodinâmica, é correto afirmar que

- a) o trabalho realizado durante a transformação cíclica foi nulo porque a situação final do gás é exatamente igual à inicial.
- b) não houve transformação cíclica e sim duas transformações termodinâmicas, uma isocórica e outra isobárica.
- c) o trabalho realizado durante a transformação cíclica foi de 4105 J.
- d) o trabalho realizado durante a transformação cíclica foi de 2105 J.
- e) é impossível determinar o valor do trabalho durante a transformação cíclica, já que as transformações não representam o Ciclo de Carnot.

Resposta: [D]

12. Um gás ideal é submetido a três transformações consecutivas, em que A $\rightarrow$ B é isobárica, B $\rightarrow$ C é isotérmica e C $\rightarrow$ A é adiabática, como mostra o diagrama p - V a seguir.



Em relação a essas transformações, identifique com V a(s) afirmativa(s) verdadeira(s) e com F, a(s) falsa(s).

- () Em A $\rightarrow$ B, a energia interna do gás diminui.
- () Em B $\rightarrow$ C, o gás recebe calor.
- () Em C $\rightarrow$ A, não há variação da energia interna do gás.

A sequência correta é:

- a) VVF
- b) VFV
- c) FVF
- d) VVV
- e) FFF

Resposta:[E]

13. Durante cada ciclo, uma máquina térmica absorve 500 J de calor de um reservatório térmico, realiza trabalho e rejeita 420 J para um reservatório frio. Para cada ciclo, o trabalho realizado e o rendimento da máquina térmica são, respectivamente, iguais a

- a) 80 J e 16%
- b) 420 J e 8%
- c) 420 J e 84%
- d) 80 J e 84%

Resposta:[A]

14. Um mol de um gás ideal é aquecido, a pressão constante, passando da temperatura $T_i = 300$ K para a temperatura $T_f = 350$ K. O trabalho realizado pelo gás durante esse processo é aproximadamente (o valor da constante universal dos gases é $R \approx 8,31$ J/(mol.K)) igual a:

- a) 104 J.
- b) 208 J.
- c) 312 J.
- d) 416 J.
- e) 520 J.

Resposta:[D]

15. No estudo da termodinâmica dos gases perfeitos, são parâmetros básicos as grandezas físicas quantidade de calor (Q), trabalho (W) e energia interna (U), associadas às transformações que um gás perfeito pode sofrer.

Analisar as seguintes afirmativas referentes às transformações termodinâmicas em um gás perfeito:

- I. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação adiabática, o trabalho (W) que o sistema troca com o meio externo é nulo.
- II. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isotérmica, a variação da energia interna é nula ($\Delta U = 0$).
- III. Quando determinada massa de gás perfeito sofre uma transformação isométrica, a variação da energia interna (ΔU) sofrida pelo sistema é igual a quantidade de calor (Q) trocado com o meio externo.

Está (ão) correta (s) apenas a(s) afirmativa (s)

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

Resposta:[D]

16. Com base nas Leis da Termodinâmica, analisar as afirmativas a seguir:

- I. Existem algumas máquinas térmicas que, operando em ciclos, retiram energia, na forma de calor, de uma fonte, transformando-a integralmente em trabalho.
- II. Não existe transferência de calor de forma espontânea de um corpo de temperatura menor para outro de temperatura maior.
- III. Refrigeradores são dispositivos, que transferem energia na forma de calor de um sistema de menor temperatura para outro de maior temperatura.

Está(ão) **CORRETA(S)**

- a) apenas I.
- b) apenas II.

- c) apenas I e III.
- d) apenas II e III.
- e) I, II e III.

Resposta:[D]

17. Um *dispositivo mecânico* usado para medir o equivalente mecânico do calor recebe 250 J de energia mecânica e agita, por meio de pás, 100 g de água que acabam por sofrer elevação de 0,50 °C de sua temperatura.

Adote $1 \text{ cal} = 4,2 \text{ J}$ e $c_{\text{água}} = 1,0 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

O rendimento do dispositivo nesse processo de aquecimento é de

- a) 16%.
- b) 19%.
- c) 67%.
- d) 81%.
- e) 84%.

Resposta:[E]

18. Podemos considerar como máquina térmica qualquer dispositivo que receba uma quantidade de calor Q_1 e converta parte da energia recebida dessa maneira em trabalho mecânico W . O calor não aproveitado, chamado $Q_2 = Q_1 - W$, é devolvido ao ambiente sem ser aproveitado. Em relação a essas trocas de calor, definimos como eficiência de uma máquina térmica a razão entre o trabalho mecânico W produzido e a quantidade de calor Q_1 entregue à máquina. Em particular, considere uma máquina térmica que opera entre as temperaturas 300 K e 1200 K. Sobre as informações acima descritas, assinale a alternativa INCORRETA.

- a) Todas as máquinas térmicas devem satisfazer igualmente a primeira e a segunda lei da termodinâmica.
- b) A eficiência máxima de uma máquina térmica que opere entre as temperaturas citadas é de 75%.
- c) Diminuindo pela metade as temperaturas citadas, o rendimento máximo de uma máquina térmica que opere entre essas temperaturas não é alterado.
- d) Com a tecnologia moderna, é possível construir uma máquina térmica que opere entre as temperaturas citadas com rendimento superior a 75%.
- e) Devido à segunda lei da termodinâmica, é impossível construir um dispositivo cujo único efeito seja converter calor integralmente em trabalho.

Resposta:[D]

APÊNDICE C – PRODUTO EDUCACIONAL



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

CENTRO DE CIÊNCIAS DO AGRESTE – CCA – CARUARU

CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (M.N.P.E.F.)

BERALDO PEREIRA DA SILVA NETO

**EM DEFESA DO MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAGEM:
A SALA DE AULA INVERTIDA COMO PROPOSTA PARA O ENSINO DE
TERMODINÂMICA**

**CARUARU
2022**



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AGRESTE – CCA – CARUARU
CURSO DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (M.N.P.E.F.)

BERALDO PEREIRA DA SILVA NETO

EM DEFESA DO MODELO INVERTIDO DE APRENDIZAGEM:
A SALA DE AULA INVERTIDA COMO PROPOSTA PARA O ENSINO DE
TERMODINÂMICA

Produto Educacional apresentado ao Programa de
Mestrado Profissional em Ensino em Física
Eixo Temático: Física

Orientador: Prof. Dr. Ernesto Arcenio Valdés Rodriguez

CARUARU
2022

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Entrada principal do IFPE campus Recife, área externa.	154
Figura 2- Essa tarefa de casa de termodinâmica obteve um engajamento de 87 alunos.	158
Figura 3 - Questões da tarefa de casa que menos de 50% dos alunos acertaram.	158
Figura 4 - Percentual de acertos da questão 1 (destaque verde).....	158
Figura 5- Percentual de acertos da questão 7 (destaque verde).....	159
Figura 6 - Biblioteca Joseph Mesel (IFPE)	160
Figura 7- Número de acertos. O aluno que acertou menos, acertou 3 questões e o aluno que acertou mais acertou 18.	162
Figura 8 - Formato de sala ideal para fomentar o debate entre os alunos mediado pelo professor.	162
Figura 9 - Aula expositiva em sala de aula convencional	164
Figura 10- Resultado da verificação de aprendizagem, obtido após a aplicação da metodologia.....	164
Figura 11- Sala de computação onde ocorreu a maior parte das atividades que necessitavam de conectividade.....	165
Figura 12 - Resultados sendo colhidos em tempo real, à medida que os alunos vão resolvendo as questões objetivas propostas.	165
Figura 13 - Quantitativo de alunos que participaram da avaliação.	166
Figura 14 - Reunião com os pibidianos da licenciatura em Física da UNICAP.	167
Figura 15 - Oficina ministrada aos pibidianos de Licenciatura em Química da UNICAP	167
Figura 16 - Quantitativo de alunos que responderam à pesquisa.	168
Figura 17 - Quantitativo de alunos que respondera a pesquisa e o percentual.....	168
Figura 18 - Quantitativo de alunos que possuem computador para uso doméstico	169
Figura 19 - Quantitativo dos alunos que tem acesso à internet. 100% do alunado respondeu que possui acesso à internet.	169
Figura 20 - Quantitativo dos alunos que possuem smartphone. 100% dos alunos possuem smartphone.	170
Figura 21 - Quantitativo dos alunos que utiliza sinal residencial de internet, onde a maioria respondeu que faz uso.....	170
Figura 22 - Quantitativo de alunos que utilizam ou não o smartphone para estudar.	170
Figura 23 - Quantitativo de alunos que já haviam utilizado o YouTube como auxílio nos estudos. ..	171
Figura 24 - Quantitativo de alunos que utilizam o YouTube com frequência como ferramenta de estudos.....	171

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice A.....25

Apêndice B.....50

APRESENTAÇÃO

Prezado(a) Professor(a),

O trabalho que ora lhe é apresentado é baseado na experiência que adquirimos ao longo de vários anos de ensino da disciplina de Física no Ensino Médio, durante os quais nos deparamos com diversas dificuldades encontradas pelos alunos no estudo da Física, em particular, a Termodinâmica.

Durante muitos anos a Física foi ensinada mediante a apresentação de conceitos, leis e fórmulas muitas vezes desarticuladas dos problemas reais, sem que a linguagem matemática levasse ao entendimento efetivo dos fenômenos. Segundo Moreira (2003), dominar a linguagem de uma Ciência é a chave para a compreensão de um conhecimento ou de um conteúdo. Confere-se, então, à matemática o papel de vilã, sendo isso, na verdade, o reflexo de um ensino de Física puramente matemático, cheio de fórmulas prontas e, muitas vezes, sem a discussão do porquê de utilizá-las. (MENDES E BATISTA, 2016). O ensino era baseado em copiar e memorizar, de modo que o grande número de exercícios repetitivos, meramente condicionado, demonstravam que o trabalho do professor estava centrado na automação e memorização, com prejuízo da compreensão dos problemas que por vezes estavam desvinculados da realidade.

O atual modelo de educação reflete a era em que foi concebido: a revolução industrial. Os alunos são educados como em linha de montagem, para tornar eficiente a educação padronizada. Sentam-se em fileiras de carteiras bem arrumadas, devem ouvir um “especialista” na exposição de um tema e ainda precisam se lembrar das informações recebidas em um teste avaliativo. (BERGMANN E SAMS, 2019)

Apesar do professor desempenhar papel fundamental para o sucesso da aprendizagem, ele não pode se colocar como mero transmissor de informação, e, sim, como facilitador da aprendizagem, pois surgirão dúvidas e indagações que podem, de certa forma, nos surpreender e tornar a nossa explanação ainda mais rica, pois o aluno não entra em uma sala de aula com a expectativa de assistir uma aula e sim de participar de uma. (DEMO, 2018)

O Professor Pedro Demo expressa bem como a educação básica costuma acontecer nas escolas brasileiras. Vejamos:

“Vítima de aula” é a condição típica do estudante brasileiro da escola básica e da universidade: seu cardápio consiste apenas de aula, prova e repasse. As atividades se esgotam no âmbito do ensino, centrado na atuação do professor, que tem como função crucial transmitir conteúdos curriculares, em geral às carradas. Estudante frequentador de aula é o modelo de comportamento esperado, a ponto de vermos a escola reduzida a esse figurino quase exclusivo. (DEMO, 2017)

Precisamos de pessoas que pensem criativamente, inovadoramente, de forma independente, com a capacidade de se conectar e encontrar resultados, pois a prática nos mostra que quando há envolvimento direto do aprendiz a aquisição de novos conhecimentos é mais efetiva.

Observar, experimentar e investigar são competências que ganham, no Ensino Médio, um sentido maior, com a identificação das relações mais gerais e com a introdução de modelos explicativos específicos da Física, promovendo a construção das abstrações, indispensáveis ao pensamento científico a à vida. (BRASIL, 2002).

Cabe a nós, facilitadores, prepararmos atividades capazes de estimular a curiosidade, dirigindo o trabalho dos alunos, incentivando o protagonismo tão necessário para que eles possam ir além da elucidação de problemas pela observação direta dos fenômenos, mas que gerem questionamentos que associem ensino, pesquisa didática e compreensão da realidade que os cerca. Não se trata de apresentar ao jovem a Física para que ele simplesmente seja informado de sua existência, mas para que esse conhecimento transforme-se em uma ferramenta a mais em suas formas de pensar e agir (BRASIL, 2002)

A iniciativa de elaborar esse material para o Ensino Médio, no que tange o estudo da Termodinâmica baseado na Sala de Aula Invertida, tem o intuito de produzir estudantes que sejam corresponsáveis pelo seu aprendizado, não apenas mero receptores e repetidores de informações.

Não tem o presente trabalho a intenção de ser a melhor nem a mais completa proposta de ensino de Termodinâmica, já que é um curso básico, que tem por finalidade dar aos alunos as primeiras informações a respeito desta importante área da Física, e aos professores um elemento norteador para auxiliá-los no ensino desse conteúdo presente nos principais concursos do país, e que é particularmente avaliado no Exame Nacional do Ensino Médio (ENEM).

Convém ressaltarmos que estamos abertos às sugestões que tenham por objetivo o aprimoramento do presente trabalho.

SUMÁRIO

1 OBJETIVOS.....	7
2 DISTRIBUIÇÃO DOS CONTEÚDOS.....	7
3 METODOLOGIA.....	9
3.1 Apresentação inicial.....	9
3.2 Desenvolvimento das atividades	12
4 CONCLUSÃO.....	19
5 APÊNDICE	26

1 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma metodologia diferenciada de ensino, baseada nas técnicas da Sala de Aula Invertida, abordando o tema da Termodinâmica no Ensino Médio, para as turmas do 3º período do Instituto Federal de Pernambuco (IFPE), *campus* Recife. A metodologia busca uma participação mais diligente do aluno, que faz com que a aprendizagem se torne mais efetiva.

Como objetivo específico, buscamos estimular uma forma alternativa de discussão de conteúdos como Primeira e Segunda Leis da Termodinâmica, Máquinas Térmicas e Refrigeradores, dando ênfase aos fenômenos ligados a estes temas e suas aplicações no cotidiano.

Figura 28 -Entrada principal do IFPE campus Recife, área externa.



Fonte: O Autor.

2 DISTRIBUIÇÃO DOS CONTEÚDOS

Antes de mostrar como os conteúdos foram distribuídos, é importante destacar que as aulas de Física no IFPE, no *Campus* Recife, são geminadas, ou seja, são três aulas seguidas com duração de 45 minutos cada uma, fazendo um total de 135 minutos de aula. Na sala de aula invertida a distribuição do tempo não é engessada, mas o professor deve dedicar o tempo que for necessário para dirimir as dúvidas dos alunos, acerca dos vídeos que eles assistiram, dos exercícios do livro didático adotado e das questões de vestibulares, mas especificamente o

ENEM (Exame Nacional do Ensino Médio) e do SSA (Sistema Seriado de Avaliação) da UPE (Universidade de Pernambuco). Vamos tratar disso com mais detalhes na metodologia.

Distribuição dos conteúdos de Termodinâmica por tópicos:

1. Introdução;
2. Energia Interna, Trabalho e Calor
 - Energia Interna
 - Trabalho
 - Calor;
3. A 1ª lei da Termodinâmica;
4. Transformações Termodinâmicas Particulares
 - Transformação Isotérmica
 - Transformação Isométrica
 - Transformação isobárica;
 - Transformação Adiabática
 - Expansão Livre;
5. Diagramas Termodinâmicos
 - Transformação aberta
 - Transformação Cíclica;
6. Calores Específicos dos Gases Perfeitos
 - Transformação a volume constante
 - Transformação a pressão constante
 - Comparação entre Q_p e Q_v ;
7. Gráfico da Transformação adiabática;
8. Energia mecânica e calor;
9. As Máquinas térmicas e a 2ª Lei da termodinâmica
 - A 2ª Lei da Termodinâmica
 - Máquinas térmicas
 - Ciclos termodinâmicos
 - Refrigeradores;
10. Entropia
 - Transformações Reversíveis e Irreversíveis

Entropia e desordem;

Tabela 2 - Distribuição semanal dos tópicos a serem trabalhados pelos alunos e professor.

SEMANAS	TÓPICOS	Páginas do livro
1ª semana (3 aulas = 145')	Tarefa de casa	81 a 90 e 94 a 98
2ª Semana (3 aulas = 145')	1,2,3,4,5,6 e 7	81 a 90
3ª Semana (3 aulas = 145')	8,9 e 10	94 a 98
4ª Semana (3 aulas = 145')	1,2,3,4,5,6,7,8,9, e 10	81 a 99
5ª Semana (3 aulas = 145')	Verificação da aprendizagem	Formulário <i>Google</i>

Fonte: O Autor, 2022

3 METODOLOGIA

3.1 Apresentação Inicial

De início, e de maneira bem sucinta, sobre o conceito de sala de aula invertida, podemos explicá-lo dizendo que o que tradicionalmente é feito em sala de aula, agora é executado em casa e, o que comumente é feito em casa, agora será realizado em sala de aula. (BERGMANN, JONATHAN 2019). A sala de aula invertida (ou *flipped classroom*, em inglês) é uma variação do ensino híbrido. Nesse modelo, alunos estudam previamente os conteúdos à distância, através de materiais digitais - textos e videoaulas, principalmente - que servem como introdução aos temas que, mais adiante, serão aprofundados com professores e colegas.

No que tange à aplicabilidade do projeto da sala de aula invertida, no primeiro encontro fora apresentado aos alunos o que seria a sala de aula invertida, a proposta dessa metodologia, como seria desenvolvido o nosso trabalho no referido semestre e justificada a sua importância no processo de ensino e aprendizagem. Nesta etapa, os alunos são apresentados ao plano de atividades que serão desenvolvidas durante o semestre. Convém salientar que esse primeiro

encontro ocorre no início do semestre, e os alunos ainda não estudaram nenhum tópico de terminologia.

Ao serem apresentados ao plano de atividades que serão desenvolvidas, o professor deve deixar claro para os alunos quais estudos e tarefas iniciais precisarão fazer para que a estratégia possa ser implementada na turma. Deste modo, espera-se que os alunos, cientes da importância do conteúdo proposto, sejam mais participativos durante o desenvolvimento subsequente, de modo que essa sistemática possa ser bem executada. Uma apresentação malfeita ou incompleta pode gerar dúvidas e desengajar os alunos sem que eles tenham tido a possibilidade de participarem dessa estratégia educacional.

O livro didático adotado foi disponibilizado pela editora em formato digital e as videoaulas, em sua maioria, não foram autorais, houve uma busca de vídeos disponíveis na internet (*YouTube*, principalmente). Os vídeos autorais que foram gravados por mim, essencialmente, sanaram as dúvidas enviadas pelos alunos e revisaram os exercícios que os alunos erraram com frequência. Na visão do formulário Google, quando mais de 50% dos alunos erram uma determinada questão, ele nos informa qual é a questão, quantos alunos acertaram e o percentual de acerto. Cabe ao professor não se limitar a trabalhar apenas as questões indicadas, mas observar outras questões que também necessitariam de esclarecimento, no momento da sala de aula. No caso da termodinâmica, o *link* abaixo demonstra qual foi a tarefa sugerida pelo professor para que os alunos respondessem como tarefa de casa.

https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSdWDDwjp1Bd_RrNpgvGWDWOSzbVXDbrx9VhT5_IPqq8b2J3A/viewform

Sabendo-se que os alunos já haviam estudado gases, mas ainda não haviam estudado termodinâmica em sala de aula. Deste exercício, podemos observar quantos alunos acessaram a plataforma e resolveram as questões, assim como a porcentagem de acerto dos alunos. Vejamos:

Figura 29- Essa tarefa de casa de termodinâmica obteve um engajamento de 87 alunos.

Perguntas Respostas 87 Configurações

FAÇA SUA PARTE - Tarefa de Casa de Termodinâmica

Descrição do formulário

E-mail *

Fonte: O Autor

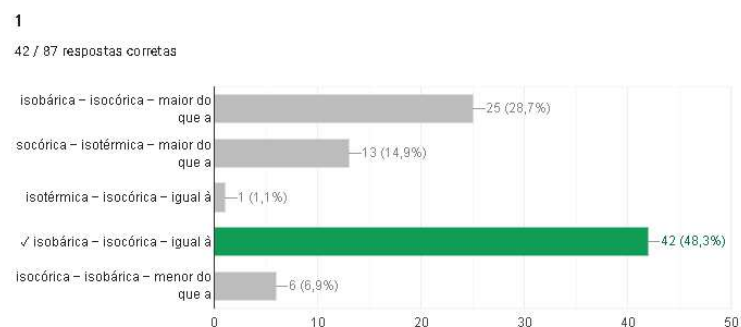
Figura 30 - Questões da tarefa de casa que menos de 50% dos alunos acertaram.

Perguntas erradas com frequência ?

Pergunta	Respostas corretas
1	42 / 87
6.	35 / 87
10.	39 / 87
16.	43 / 87
18.	38 / 87

Fonte: O Autor

Figura 31 - Percentual de acertos da questão 1 (destaque verde).

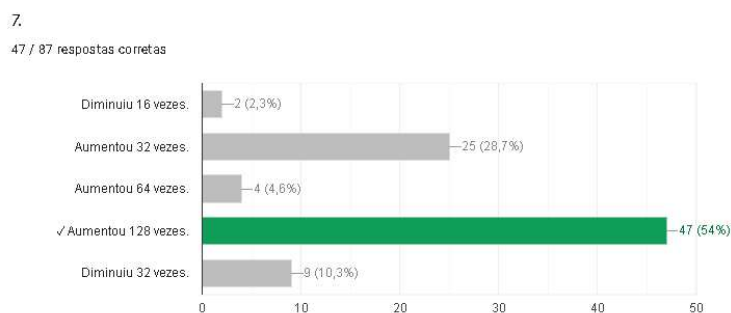


Fonte: O Autor

Quando os alunos respondem às questões do formulário, fica evidente a não compreensão de algum tópico, e, dessa forma, o professor pode dar mais atenção a essas dúvidas

em sala de aula. Muitas vezes, apesar do percentual de acertos estar acima dos 50%, o professor percebe que a questão carece de esclarecimentos, como é o caso da questão 7, onde 25 alunos marcaram a letra B. Durante o desenvolvimento do meu trabalho, estabeleci que abaixo dos 70% de acertos, eu iria esclarecer as possíveis dúvidas da questão.

Figura 32- Percentual de acertos da questão 7 (destaque verde).



Fonte: O Autor

É importante salientar que termodinâmica não é o primeiro conteúdo de Termologia. Os alunos já estudaram conteúdos anteriores, como, por exemplo, termometria e calorimetria, no formato da sala de aula invertida; por esse motivo, os alunos já adquiriram uma certa autonomia da escolha dos vídeos e até mesmo de materiais disponibilizados no *Google*, não se limitando ao livro texto adotado, que, no caso, foi a obra Física 2 – Termologia ondulatória óptica, dos autores Gualter José Biscuola, Newton Villas Bôas, Ricardo Helou Doca, Editora Saraiva, 2016.

3.2 Desenvolvimento das atividades

Após assistirem às videoaulas indicadas pelo professor, ler o material disponibilizado pela editora digitalmente e trabalhado a tarefa disponibilizada no formulário *Google*, eu chamei essa etapa de ‘faça sua parte’, e foi possível, através dela, fazer um levantamento dos conhecimentos prévios do aluno a respeito do conteúdo que estamos iniciando e, dessa forma, tornar viável a adequação dos tópicos seguintes para aproveitar os pontos fortes e aperfeiçoar os pontos fracos dos alunos, em tópicos específicos do conteúdo. Ao conversar com os alunos, divididos em pequenos grupos, ficou evidente a dificuldade de interpretar as questões que traziam a linguagem gráfica das transformações gasosas, em especial os ciclos termodinâmicos.

O livro didático adotado contém uma boa quantidade de exercícios que são divididos em questões comentadas, aquelas que vem com resolução e questões propostas para que sejam

resolvidas pelos alunos. Os alunos também foram estimulados a utilizar outras obras, disponibilizadas na biblioteca do IFPE (Campus Recife).

Figura 33 - Biblioteca Joseph Mesel (IFPE)



Fonte: O Autor

Apesar de receberem o livro através do PNLD (Programa Nacional do Livro Didático), muitos alunos preferem o material digital, para não ter que devolver o livro no final do semestre. Vale ressaltar que o livro serve de referência e guia de estudos. Não faz sentido adotar um livro se não for para utilizá-lo.

Acerca das videoaulas indicadas, é fundamental que o professor assista aos vídeos antes de indicá-los, para ter certeza que o conteúdo que ele pretende ensinar esteja contemplado de maneira clara, lógica e concisa. A prática nos mostrou que os alunos preferem vídeos mais curtos, entre 5 e 15 minutos, em detrimento aos vídeos mais longos, com mais de 25 minutos de duração. Os vídeos curtos, além de facilitar as anotações das possíveis dúvidas, norteiam o aluno para que, na aula presencial, ele tenha clareza do que ficou em dúvida. O momento em que os alunos mais precisam da minha presença física, eu não estou tão acessível a eles; com a nova proposta, eles vão ter a oportunidade de tirar as dúvidas na sala de aula, no momento da aula, e não quando tiverem estudando em casa. O papel do professor deixa de ser o de mero transmissor de informações.

Um benefício colateral que está surgindo é a constatação pelos alunos de que eles próprios podem fazer buscas on-line e encontrar lições gravadas de outras fontes. Essa é uma ótima ferramenta de aprendizagem para eles, uma vez que, assim, estão assumindo responsabilidade pela própria aprendizagem e descobrindo como encontrar as informações necessárias. Esses adolescentes estão crescendo em um mundo digital e é importante que, nesse

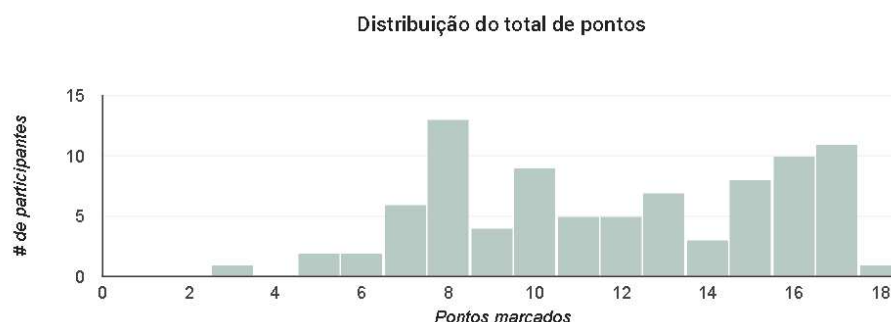
contexto, elas aprendam a navegar com autonomia e a encontrar as informações de que talvez precisem. (BERGMANN E JONATHAN, 2019)

O grande desafio hoje é passar de uma expertise em ensino para uma expertise em aprendizagem. Em outras palavras, a educação tradicional tinha como pressuposto a oferta de conhecimento ao aluno, já que este não teria acesso a tal conhecimento fora dos limites das instituições de ensino. Essa barreira não existe mais, hoje o aluno busca pertinência, aplicabilidade, usabilidade, discussão, troca de experiências, entre outras necessidades. (Desafios da Educação, 2013)

Diante de tanta informação na era da globalização digital, e a enxurrada de informações disponíveis, o que fazer agora que o professor não é mais o detentor do conhecimento e a informação está acessível a todos que tem a sua disposição um computador e conexão de internet? De acordo com a visão moderna, o professor passa a ser um orientador, um fomentador de todos os processos que levam os alunos a construir seus conceitos, atitudes e habilidades que lhes permitam utilizar com competência as ferramentas tecnológicas e cognitivas à sua disposição. O professor ‘explicador’ deixa de ser apenas aquele que ensina, mas o que ajuda a formar ‘aprendedores’, ou seja, alunos que tenham aprendido a aprender.

Na prática elaborada para este trabalho, os alunos foram orientados a assistir as videoaulas, fazendo anotações de suas dúvidas, ler a parte conceitual do(s) livro(s), estudar apenas as questões resolvidas/comentadas e resolver as questões propostas do formulário *Google*. É fundamental que fique claro para os alunos que eles devem fazer as atividades propostas sozinhos(as), e não busque respostas prontas, busque aprender. Como essa atividade não vale nota, seu principal objetivo é fazer um diagnóstico real do aprendizado do aluno e da turma. Pelo resultado obtido quanto a distribuição de pontos, fui levado a acreditar que eles entenderam o objetivo da tarefa proposta.

Figura 34- Número de acertos. O aluno que acertou menos, acertou 3 questões e o aluno que acertou mais acertou 18.



Fonte: O Autor

Aos poucos os alunos estavam se tornando verdadeiros protagonistas do seu aprendizado, se convertendo de alunos em estudantes, não meros expectadores, mas participantes do processo de aprendizagem.

Após o diagnóstico proporcionado pelo formulário *Google*, o professor deve utilizar o tempo de aula para dirimir as dúvidas referentes à primeira semana de estudos, e baseado nos resultados obtidos na produção inicial, o professor/facilitador deve ouvir os alunos de modo que eles possam expressar o que sabem e quais as dificuldades encontradas. A ideia é aproveitar o conhecimento prévio dos alunos como um ancoradouro, acrescentando mais informações que sejam coerentes com as informações previamente adquiridas pelo aluno. Nesse momento, eu optei por fazer debates em pequenos grupos para que eu conseguisse dar atenção aos alunos que apresentaram mais dificuldades.

Figura 35 - Formato de sala ideal para fomentar o debate entre os alunos mediado pelo professor.



Fonte: O Autor

Na forma tradicional, é comum darmos mais atenção aos alunos mais extrovertidos, enquanto o restante fica como meros espectadores. Ao dividir a turma em pequenos grupos, percebi que o debate das questões propostas no questionário fez com que eles se apropriassem ainda mais do conteúdo. Por vezes, percebi que alguns alunos entendiam melhor determinados pontos do conteúdo quando eram explicados pelos colegas

Algumas vezes, parece que os estudantes são capazes de ensinar os conceitos uns aos outros de forma mais eficiente do que os seus professores. Uma explicação provável é que os estudantes, os que foram capazes de entender o conceito que fundamenta a questão dada, acabaram de aprender a ideia e ainda estão cientes das dificuldades que tiveram que superar para compreender o conceito envolvido. Consequentemente, eles sabem exatamente o que enfatizar em sua explicação. Nada torna as ideias mais claras do que explicá-las aos outros. (MAZUR, 2015).

À medida que o professor repete o mesmo conteúdo para várias turmas, a cada nova turma, ele já se antecipa às possíveis dúvidas que poderão surgir, pois já vai aproveitando as dúvidas das turmas anteriores dando um polimento nas aulas posteriores e, dessa forma, o conteúdo vai parecendo cada vez mais simples e a aula mais completa, é como se estivéssemos escondendo as dificuldades por baixo do tapete. Acreditamos, como sugere Moreira (2000), que princípios facilitadores terão o papel de contribuir para a aprendizagem, usados em conjunto com outros materiais já disponíveis, como os livros didáticos, textos norteadores, aulas expositivas e até o quadro de giz. Em relação ao ensino de Física nas escolas, as informações e os saberes relacionados aos conhecimentos que se espera que o estudante aprenda são geralmente apresentados pelo professor ao estudante em exposições orais, (MOREIRA, 2010)

É importante salientar que o presente trabalho não está fazendo apologia ao abandono do 'quadro de giz', mas, sim, evidenciando a implantação de outras formas para aprimorar o aprendizado onde o professor é parte essencial. No tempo destinado às aulas expositivas, o professor fará apresentações orais de alguns tópicos que merecem ser esclarecidos diante do grande grupo, aprofundando a compreensão e fornecendo exemplos adicionais, trabalhando principalmente os pontos que foram objeto da maior parte das dúvidas dos alunos.

Figura 36 - Aula expositiva em sala de aula convencional

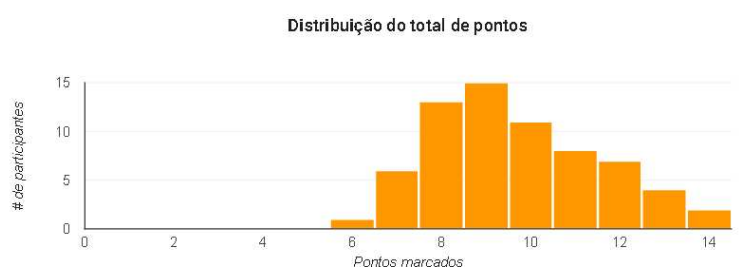


Fonte: O Autor

3.3 Verificação da Aprendizagem

Essa etapa tem o objetivo de averiguar o que foi aprendido ao longo da execução das atividades propostas e comprovar a eficácia ou não das ações sugeridas. Para tanto se faz necessário comparar os resultados da produção final dos alunos com o da produção inicial (Figura 7) - aquela que demonstrou quais eram as dificuldades que precisavam ser combatidas a fim de melhorar o aprendizado dos alunos).

Figura 37- Resultado da verificação de aprendizagem, obtido após a aplicação da metodologia.



Fonte: O Autor

Após a verificação da aprendizagem, devemos analisar os resultados gerados automaticamente pelo formulário *Google*, a fim de verificar se obtivemos um resultado razoável com a implantação da metodologia. A resolução do questionário objetivo gerado no formulário *Google*, em sala de aula apropriada, sala de computação, para avaliação do aprendizado, irá averiguar se os procedimentos empregados ao longo das semanas foram eficientes, podendo, inclusive, servir como critério de avaliação da aprendizagem do aluno e da própria metodologia.

Figura 38- Sala de computação onde ocorreu a maior parte das atividades que necessitavam de conectividade.



Fonte: O Autor

Figura 39 - Resultados sendo colhidos em tempo real, à medida que os alunos vão resolvendo as questões objetivas propostas.



Ao compararmos as figuras 7 e 10, sentimos uma melhora significativa no desempenho dos alunos, pois o formulário *Google*, referente ao resultado da verificação da aprendizagem, não indicou nenhum tópico que devesse ser revisitado. Como mencionei anteriormente, eu considerei 70% o índice para ser revisado na tarefa de casa, já na avaliação, tive que considerar 60%, uma vez que a média para o aluno não ficar em recuperação no IFPE é 6,0. Abaixo, seguem os links para acessos aos formulários Google enviados aos alunos e, também, de acompanhamento do professor:

Link enviado aos alunos para responderem a tarefa de casa.

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSeLwPudht5wRA6J9iJKWMVlvWmuFojgTiWvt7O1iQZ8OeSz0Q/viewform>

Link para acompanhamento do professor. Dessa forma é possível fechar a tarefa no tempo acordado com os alunos. No meu caso, eu deixei a tarefa de casa aberta até às 23h59min. do dia anterior à aula. Os alunos dispunham de 6 dias até o fechamento da tarefa.

<https://docs.google.com/forms/d/1YU54KfVQlkdQGJz0vxjXpc7K3ZqgnikjgMEEBg06Po/e/dit>

Link disponibilizado aos alunos para a avaliação.

<https://docs.google.com/forms/d/e/1FAIpQLSfJtYOyIjU26RPHIWXASLfHRj0FaFwKppH4nLfD8hbHjoih1Q/viewform>

Link para acompanhamento do professor da avaliação. No nosso caso, os alunos teriam 120 minutos para respondê-la. Os alunos que chegaram atrasados fizeram uma segunda chamada, e, conseqüentemente, outra avaliação; por isso, não foram incluídos no nesse trabalho.

https://docs.google.com/forms/d/1tu66fdQz4aorkFMijkfrifs1DBuAcWHeP9AGnEp1_MI/edit

Figura 40 - Quantitativo de alunos que participaram da avaliação.



Fonte: O Autor

4 CONCLUSÃO

Quando decidi adotar a sala de aula invertida para ser aplicada nesse produto educacional, a primeira providência tomada foi a de planejar e me certificar de que eu seria capaz de adotar o modelo. Para isso, eu me reuni com os alunos que estavam sob minha

supervisão do PIBID (Programa Institucional de Bolsa de Iniciação à docência) e expus para eles o que seria essa metodologia. Em seguida, propusemos ao professor coordenador a realização de uma oficina para os pibidianos do curso de Licenciatura em Química, também alunos da UNICAP (Universidade católica de Pernambuco), a ideia foi aceita e tive a oportunidade de compartilhar o modelo com mais pessoas, futuros professores; afinal, “nada torna as ideias mais claras do que explicá-las aos outros”. Quanto mais repetíssemos mais interiorizaríamos o modelo.

Figura 41 - Reunião com os pibidianos da licenciatura em Física da UNICAP.



Fonte: O Autor

Figura 42 - Oficina ministrada aos pibidianos de Licenciatura em Química da UNICAP

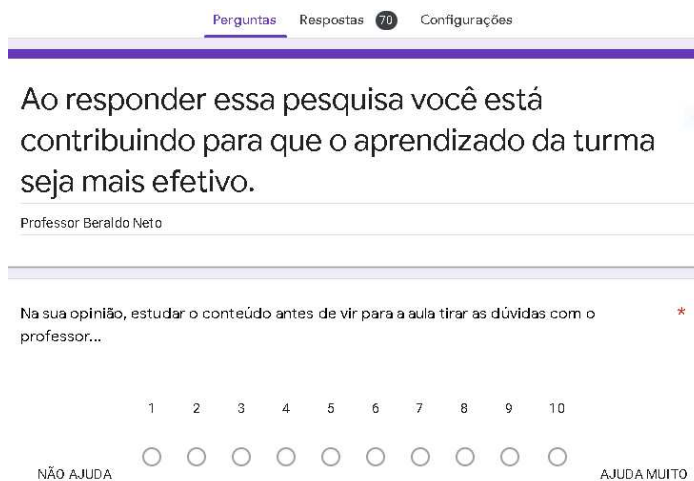


Fonte: O Autor

Os nossos objetivos sempre visaram a Matriz de Referência do ENEM para a área de Ciências da Natureza e suas Tecnologias, cujos eixos cognitivos propõem-se a dominar linguagens, compreender fenômenos, enfrentar situações-problema, construir argumentação e elaborar propostas. Durante a fase de execução, o objetivo primordial era potencializar a aprendizagem por meio de diferentes enfoques ao conteúdo, e para atestar a eficácia ou não das ações propostas foi feita uma comparação dos resultados da produção final dos alunos com o da produção inicial, aquela que demonstrou quais eram as dificuldades que precisavam ser

atacadas para melhorar o aprendizado dos alunos. Quando perguntados se a metodologia contribuía para uma melhor compreensão dos conteúdos, os alunos responderam, em sua maioria, acima de 50% que ajudava muito.

Figura 43 - Quantitativo de alunos que responderam à pesquisa.



Fonte: O Autor

Figura 44 - Quantitativo de alunos que respondera a pesquisa e o percentual.

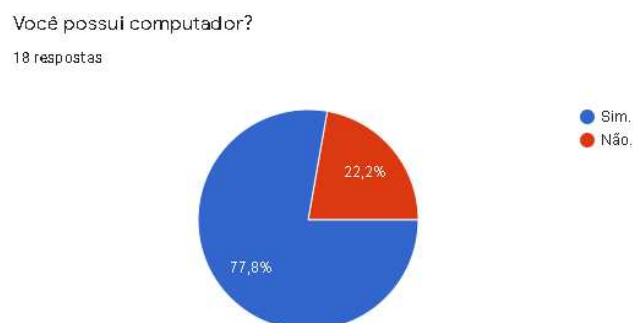


Fonte: O Autor

Dentre as dificuldades, existem os alunos que não faziam as tarefas propostas para casa (Faça sua Parte), e, dessa forma, não poderiam ter dúvidas, porque não haviam estudado; provavelmente porque eles aprenderam e até preferem o método tradicional, pois aprenderam como funciona o “jogo da escola”, onde o sucesso é medido pela capacidade e se lembrar de informações e conseguir boas notas, muitas vezes estudando dois ou três dias antes da prova.

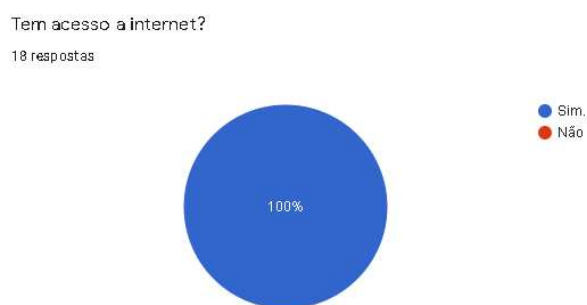
Inclusive, posso citar o exemplo de uma aluna que expressou a opinião de que preferia quando eu dava aula. Não é fácil mudar um paradigma se você não tiver verdadeiramente convencido do ganho pedagógico dos alunos, muito provavelmente você vai desistir. Outra dificuldade comum, principalmente nas escolas públicas, reside no fato da conectividade, onde a maioria dos alunos possuem *smartphone*, mas não tem um pacote de dados móveis que suportem o tempo de utilização necessário. Preocupado em não ampliar o abismo digital entre os alunos, eu fiz uma pesquisa, mas apenas 18 alunos responderam; mesmo assim, eu me guiei por essa pequena amostra e utilizei a sala de computação do IFPE o máximo foi possível.

Figura 45 - Quantitativo de alunos que possuem computador para uso doméstico



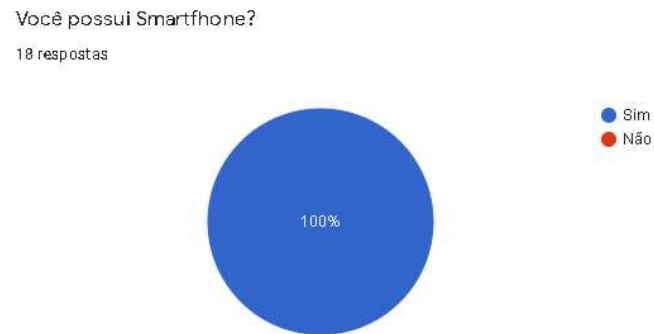
Fonte: O Autor

Figura 46 - Quantitativo dos alunos que tem acesso à internet. 100% do alunado respondeu que possui acesso à internet.



Fonte: O Autor

Figura 47 - Quantitativo dos alunos que possuem smartphone. 100% dos alunos possuem smartphone.



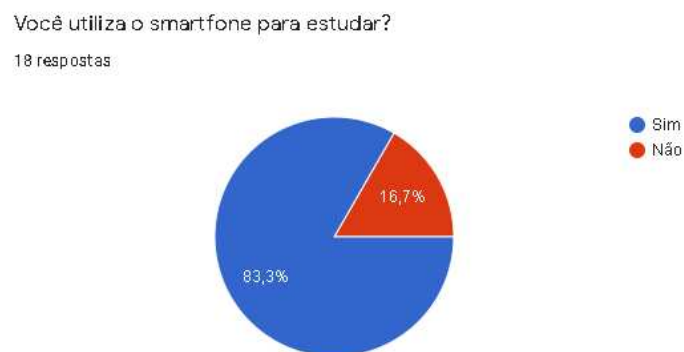
Fonte: O Autor

Figura 48 - Quantitativo dos alunos que utiliza sinal residencial de internet, onde a maioria respondeu que faz uso.



Fonte: O Autor

Figura 49 - Quantitativo de alunos que utilizam ou não o *smartphone* para estudar.



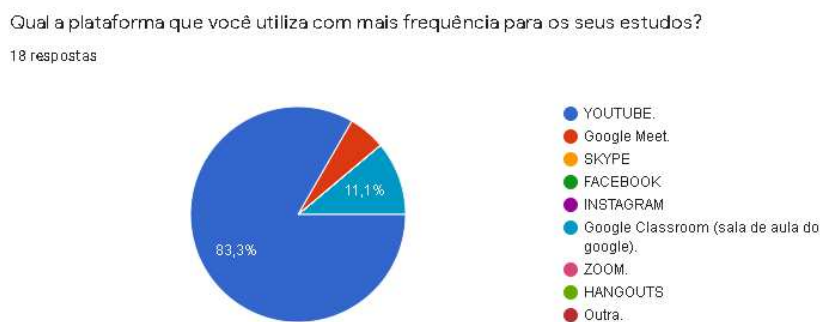
Fonte: O Autor

Figura 50 - Quantitativo de alunos que já haviam utilizado o *YouTube* como auxílio nos estudos.



Fonte: O Autor

Figura 51 - Quantitativo de alunos que utilizam o YouTube com frequência como ferramenta de estudos.



Fonte: O Autor

Sempre que eu indicava vídeos para serem assistidos em casa, os mesmos eram retirados ou indicados do YouTube, deixando-os livres para utilizarem vídeos de outros professores que eles se adaptassem melhor ao método de ensino, sem, contudo, abrir mão das anotações. à medida que os alunos percebem que o professor vai verificar se eles fizeram as anotações, eles fazem. O livro didático norteia toda sequência do nosso trabalho. Ao passo que você vai utilizando, os alunos também vão, mesmo que você os deixe livres para a utilização de outras obras. No caso do professor não utilizar o livro adotado, os alunos não percebem a importância de utilizá-lo. Nas minhas exposições, além do quadro, eu utilizei uma plataforma de educação chamada EDUCANDUS; essa plataforma tem um contrato com a Secretaria de Educação do

Estado de Pernambuco, mas também pode ser utilizada por qualquer professor que deseje, mediante um pagamento anual. Para facilitar a busca das questões dos principais concursos do país, eu utilizei o aplicativo do Super Professor, que também é uma ferramenta paga, mas foi essencial para o meu trabalho. Nos apêndices, estará disponível uma grande quantidade de questões em *Word*, para que possam ser utilizadas por todos os professores que desejem aplicá-las com seus alunos. Nem todos os conceitos são mais bem transmitidos pelas mesmas técnicas; dependendo das circunstâncias, alguns assuntos ainda devem ser ensinados pelo método tradicional, outros são mais bem aprendidos por meio de descobertas independentes dos alunos, e ainda outros são absorvidos com mais profundidade no contexto da sala de aula invertida. (KURBIS)

A bem da verdade, a sala de aula invertida se mostrou uma ferramenta de grande utilidade para transformar alunos em estudantes, dando-lhes mais autonomia e desenvolvendo o seu protagonismo enquanto aprendiz. O intuito não é descobrir a roda, e sim fazer um questionamento que deve percorrer toda a nossa vida docente: **O que é melhor para os nossos alunos?**

REFERÊNCIAS

BERGMANN, Jonatham; SAMS, Aaron. **Sala de aula invertida: uma metodologia ativa de aprendizagem**/Jonatham Bergmann; Aaron Sams; tradução Afonso Celso da Cunha Serra. – 1.ed. – [Reimpr.]. – Rio de Janeiro: LTC, 2019.

BRASIL, PCN + - Ensino Médio. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. Física. Disponível em http://www.sbfisica.org.br/arquivos/PCN_FIS.pdf. Acesso em 12 de jan de 2022

DEMO, Pedro. **Atividades de aprendizagem. Sair da mania do ensino para compreender-se com a aprendizagem do estudante**. Secretaria de Estado da Educação. Governo do Estado – Mato Grosso do Sul. Disponível em < <https://www.sed.ms.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/eBook-Atividades-de-Aprendizagem-Pedro-Demo.pdf> >. Acesso em 10 de jan de 2022

Desafios da Educação. **O papel do professor não pode mais ser o de transmissor de conhecimento**, 2013. Disponível em < <https://desafiosdaeducacao.grupoa.com.br/papel-professor-nao-pode-mais-ser-de-transmissor-de-conhecimento/> >. Acesso em 02 de fev. de 2022.

MAZUR, Eric. Peer instruction: **a revolução da aprendizagem ativa [recurso eletrônico]** / Eric Mazur; tradução Anatólio Laschuk. – Porto Alegre: Penso, 2015

MENDES, Gabriela Helena Geraldo Issa; BATISTA, Irinéa de Lourdes. **Matematização e ensino de Física: uma discussão de noções docentes**. Universidade estadual de Londrina (UEI). **Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Londrina, PR, Brasil**. Disponível em <https://www.scielo.br/j/ciedu/a/BNXzxm3dq6ZdX3sdzzmHRD/?format=pdf&lang=pt>. Acesso em 03 de jan de 2022

MOREIRA, Marco Antonio. **Linguagem e aprendizagem significativa**. Instituto de Física UFRGS. Disponível em <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/linguagem.pdf>. Acesso em 03 de jan de 2022.

_____. **Mapas Conceituais e Aprendizagem Significativa**. Disponível em < <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/mapasport.pdf> >. Acesso em 02 de fev. de 2022.

SILVA, Mariana Elvira Saraiva; MEIRA, Ana Clara Gonçalves Alves De; JÚNIOR, Edson Antunes Quaresma; FRANCISCO, Thiago José. **Uma reflexão sobre o uso do google forms na educação**. Junho de 2018. Disponível em < <https://www.even3.com.br/anais/sicaracuai/81597-uma-reflexao-sobre-o-uso-do-google-forms-na-educacao/> >

APÊNDICE

Apêndice A - Termodinâmica – Questões Numéricas

1. (Espcex (Aman) 2021) Considere uma máquina térmica que opera um ciclo termodinâmico que realiza trabalho. A máquina recebe **400 J** de uma fonte quente cuja temperatura é de **400 K** e rejeita **200 J** para uma fonte fria, que se encontra a **200 K**. Neste ciclo a máquina térmica realiza um trabalho de **200 J**.

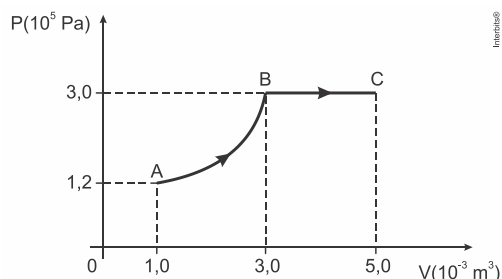
- Analisando o ciclo termodinâmico exposto acima conclui-se que a máquina térmica é um ____ I ____.
- Essa máquina térmica ____ II ____ a 1ª Lei da Termodinâmica.
- O rendimento desta máquina é ____ III ____ a **50%**.

A opção que corresponde ao preenchimento correto das lacunas (I), (II) e (III) é:

- | | | | |
|----|-------------------|-----------------|-----------------|
| a) | I - refrigerador | II - não atende | III - maior que |
| b) | I - refrigerador | II - atende | III - igual a |
| c) | I - motor térmico | II - atende | III - menor que |
| d) | I - motor térmico | II - não atende | III - maior que |
| e) | I - motor térmico | II - atende | III - igual a |

Resposta:[E]

2. (Fac. Albert Einstein - Medicina 2019) Para provocar a transformação gasosa **ABC**, representada no diagrama **P × V**, em determinada massa constante de gás ideal, foi necessário fornecer-lhe **1.400 J** de energia em forma de calor, dos quais **300 J** transformaram-se em energia interna do gás, devido ao seu aquecimento nesse processo.

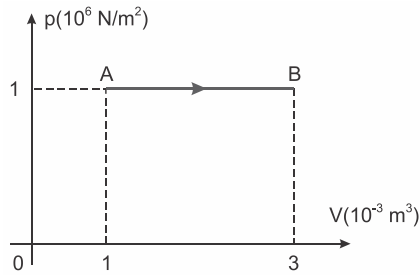


Considerando não ter havido perda de energia, o trabalho realizado pelas forças exercidas pelo gás no trecho **AB** dessa transformação foi de

- a) 600 J.
- b) 400 J.
- c) 500 J.
- d) 1.100 J.
- e) 800 J.

Resposta: [C]

3. (Unisinos 2017) Um gás ideal sofre a transformação do estado A para o estado B, conforme representado no gráfico pressão (**p**) versus volume (**V**):



Disponível em: https://www.google.com.br/search?q=equil%C3%ADbrio+de+um+corpo+PRIMEIRA+LEI&rlz=1C1GGGE_pt-BR620BR633&espv=2&source=lnms&tbn=isch&sa=X&ved=0ahUKewjw-6S_jrvTAhXlXpAKHe5eAgkQ_AUIBygC&biw=1366&bih=648&dpr=1#tbn=isch&q=TRANSFORMA%C3%87%C3%83O+ISOB%C3%81RICA&imgsrc=_iaaCvRgskjFM
Acesso em: 02 maio 2017.

Nesta transformação, a temperatura _____, e o trabalho realizado pelo gás, em J (joules), é de _____.

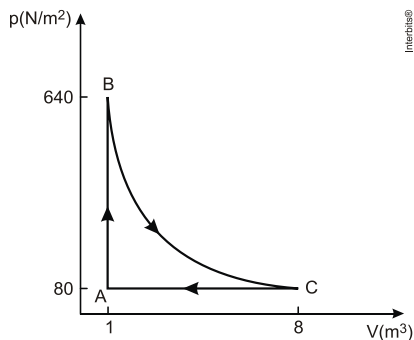
As lacunas são corretamente preenchidas, respectivamente, por

- a) triplica; 2.000
- b) duplica; 3.000
- c) triplica; 3.000
- d) duplica; 2.000
- e) não varia; 2.000

Resposta: [A]

4. (Ufrgs 2012) A figura a seguir apresenta um diagrama $p \times V$ que ilustra um ciclo termodinâmico de um gás ideal. Este ciclo, com a realização de trabalho de 750 J, ocorre em três processos sucessivos.

No processo AB, o sistema sofre um aumento de pressão mantendo o volume constante; no processo BC, o sistema se expande mantendo a temperatura constante e diminuindo a pressão; e, finalmente, no processo CA, o sistema retorna ao estado inicial sem variar a pressão.

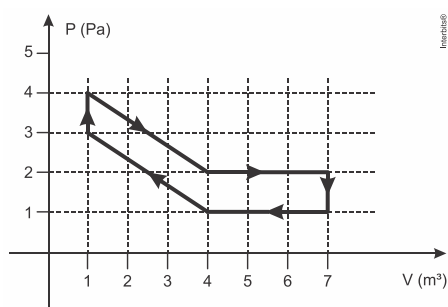


O trabalho realizado no processo BC e a relação entre as temperaturas T_A e T_B são, respectivamente,

- a) 1310 J e $T_A = T_B/8$.
- b) 1310 J e $T_A = 8T_B$.
- c) 560 J e $T_A = T_B/8$.
- d) 190 J e $T_A = T_B/8$.
- e) 190 J e $T_A = 8T_B$.

Resposta: [A]

5. (Ufrgs 2008) O gráfico a seguir representa o ciclo de uma máquina térmica ideal.



O trabalho total realizado em um ciclo é

- a) 0J.
- b) 3,0J.
- c) 4,5J.
- d) 6,0J.
- e) 9,0J.

Resposta: [D]

6. (Ufpi 2003) Um mol de um gás ideal é aquecido, a pressão constante, passando da temperatura $T_i = 300$ K para a temperatura $T_f = 350$ K. O trabalho realizado pelo gás durante esse processo é aproximadamente (o valor da constante universal dos gases é $R \approx 8,31$ J/(mol.K)) igual a:

- a) 104 J.
- b) 208 J.
- c) 312 J.
- d) 416 J.
- e) 520 J.

Resposta: [D]

7. (Ufpi 2001) A eficiência de um motor térmico é definida como a razão entre o trabalho por ele realizado e o calor por ele recebido durante um ciclo completo de seu funcionamento. Considere um motor que recebe 440 J de calor por ciclo, que tem uma eficiência de 30% e que completa um ciclo de funcionamento a cada 0,02 segundos. A potência fornecida por esse motor é, em kW,

- a) 1,1
- b) 2,2
- c) 4,4
- d) 6,6
- e) 8,8

Resposta: [D]

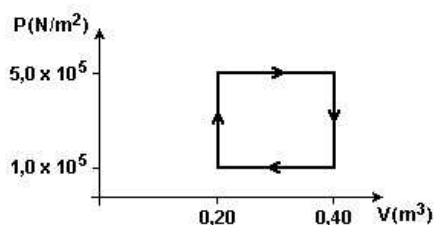
8. (Unesp 2001) Uma bexiga vazia tem volume desprezível; cheia, o seu volume pode atingir $4,0 \times 10^{-3} \text{ m}^3$. O trabalho realizado pelo ar para encher essa bexiga, à temperatura ambiente, realizado contra a pressão atmosférica, num lugar onde o seu valor é constante e vale $1,0 \times 10^5 \text{ Pa}$, é no mínimo de

- a) 4 J.
- b) 40 J.
- c) 400 J.

- d) 4000 J.
e) 40000 J.

Resposta: [C]

9. (Ufv 2000) Uma máquina térmica executa o ciclo representado no gráfico seguinte:



Se a máquina executa 10 ciclos por segundo, a potência desenvolvida, em quilowatt, é:

- a) 8
b) 8000
c) 80
d) 0,8
e) 800

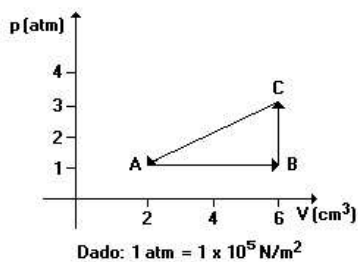
Resposta: [E]

10. (Uel 1998) Suponha que num motor a explosão o gás no cilindro se expanda 1,50 litros ($1,50 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$) sob pressão de $5,00 \cdot 10^5 \text{ N/m}^2$. Suponha também que, neste processo, são consumidos 0,20g de combustível cujo calor de combustão é $7,50 \cdot 10^3 \text{ cal/g}$. Adotando $1,0 \text{ cal} = 4,0 \text{ J}$, o rendimento deste motor, em porcentagem, é um valor mais próximo de

- a) 10
b) 13
c) 16
d) 20
e) 25

Resposta: [B]

11. (Fatec 1997) Um gás ideal sofre transformações segundo o ciclo dado no esquema p x V a seguir.



O trabalho total no ciclo ABCA é

- a) igual a - 0,4 J, sendo realizado sobre o gás.
b) igual a - 0,8 J, significando que o gás está perdendo energia.
c) realizado pelo gás, valendo + 0,4 J.
d) realizado sobre o gás, sendo nulo.
e) nulo, sendo realizado pelo gás.

Resposta: [A]

12. (Ufrgs 2020) Uma máquina de Carnot apresenta um rendimento de 40%, e a temperatura de sua fonte quente é 500 K. A máquina opera a uma potência de 4,2 kW e efetua 10 ciclos por segundo.

Qual é a temperatura de sua fonte fria e o trabalho que a máquina realiza em cada ciclo?

- a) 200 K – 42 J.
- b) 200 K – 420 J.
- c) 200 K – 42.000 J.
- d) 300 K – 42 J.
- e) 300 K – 420 J.

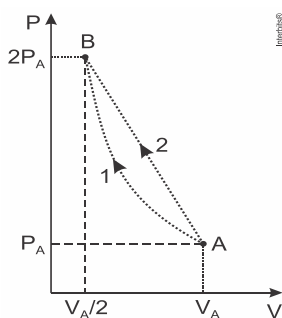
Resposta: [E]

13. (Esc. Naval 2020) Uma máquina térmica realiza a cada ciclo um trabalho de 8×10^2 J, com uma eficiência de 20%. Considerando que essa máquina opere segundo um ciclo de Carnot, com a fonte fria a uma temperatura de 300 K, qual é a temperatura da fonte quente e quanto calor é cedido para a fonte fria, respectivamente?

- a) 375 K e 3200 J
- b) 375 K e 4000 J
- c) 400 K e 3200 J
- d) 400 K e 4000 J
- e) 750 K e 4800 J

Resposta: [A]

14. (Esc. Naval 2019) Analise o gráfico abaixo.



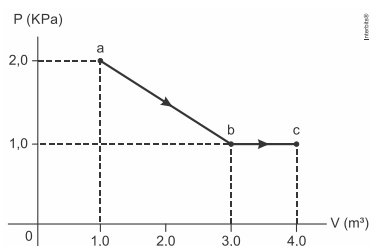
Um mol de certo gás ideal monoatômico, no estado inicial (P_A, V_A, T_A) , deve ter sua pressão dobrada e seu volume reduzido à metade, atingindo o estado (P_B, V_B, T_B) . Para isso, dois processos distintos são testados separadamente: o processo 1 é isotérmico, com o gás cedendo ao meio externo um calor Q_1 . Já no processo 2, a curva AB é retilínea, e o calor cedido pelo gás é $Q_2 = Q_1/0,92$. Sendo R a constante dos gases ideais, o produto $RT_A = U_0$ e W_1 o trabalho realizado sobre o gás no processo 1, a razão W_1/U_0 vale:

- a) 0,90
- b) 0,75
- c) 0,69

- d) 0,50
e) 0,32

Resposta: [C]

15. (Efomm 2019) Um mol de um gás ideal monoatômico vai do estado **a** ao estado **c**, passando pelo estado **b** com pressão, como mostrado na figura abaixo. A quantidade de calor **Q** que entra no sistema durante esse processo é de aproximadamente:



- a) 4.000 J
b) 5.000 J
c) 6.000 J
d) 7.000 J
e) 8.000 J

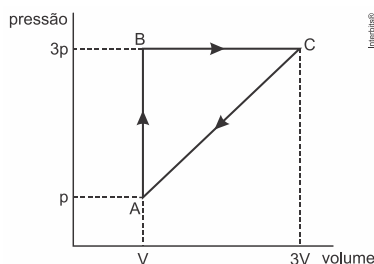
Resposta: [D]

16. (Espcex (Aman) 2019) Considere uma máquina térmica **X** que executa um ciclo termodinâmico com a realização de trabalho. O rendimento dessa máquina é de **40%** do rendimento de uma máquina **Y** que funciona segundo o ciclo de Carnot, operando entre duas fontes de calor com temperaturas de **27 °C** e **327 °C**. Durante um ciclo, o calor rejeitado pela máquina **X** para a fonte fria é de **500 J**, então o trabalho realizado neste ciclo é de

- a) 100 J.
b) 125 J.
c) 200 J.
d) 500 J.
e) 625 J.

Resposta:[B]

17. (Esc. Naval 2018) Analise o diagrama PV abaixo.



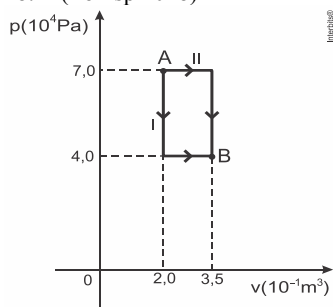
A figura acima exibe, num diagrama PV, um ciclo reversível a que está submetido **2 moles** de um gás monoatômico ideal.

Sabendo que as temperaturas nos estados **A, B** e **C** estão relacionadas por $T_C = 3T_B = 9T_A$, qual a eficiência do ciclo?

- a) $1/3$
- b) $1/5$
- c) $1/6$
- d) $1/7$
- e) $1/9$

Resposta:[E]

18. (Ebmsp 2018)



A figura representa uma transformação termodinâmica da mudança do estado inicial A para o estado final B de uma massa de gás ideal e pode ser feita pelo “caminho” I ou pelo “caminho” II.

Uma análise do gráfico, associada aos conhecimentos de termodinâmica, permite concluir:

- a) A temperatura da massa de gás no estado A é maior do que no estado B.
- b) A variação da energia interna do gás no “caminho” I é maior do que no “caminho” II.
- c) A quantidade de calor trocada pela massa de gás no “caminho” I é igual a $4,15 \cdot 10^4$ J.
- d) O trabalho realizado pela massa de gás no “caminho” II tem módulo igual a $6,0 \cdot 10^3$ J.
- e) A quantidade de calor trocada pela massa de gás no “caminho” II é da ordem de 10^4 J.

Resposta: [E]

19. (Esc. Naval 2013) Considere que **0,40** gramas de água vaporize isobaricamente à pressão atmosférica. Sabendo que, nesse processo, o volume ocupado pela água varia de **1,0** litro, pode-se afirmar que a variação da energia interna do sistema, em kJ, vale

Dados: calor latente de vaporização da água = $2,3 \cdot 10^6$ J/kg;

Conversão: $1 \text{ atm} = 1,0 \cdot 10^5 \text{ Pa}$.

- a) $-1,0$
- b) $-0,92$
- c) $0,82$
- d) $0,92$
- e) $1,0$

Resposta: [C]

20. (Ita 2020) Considere um sistema de três máquinas térmicas M_1 , M_2 e M_3 acopladas, tal que o rejeito energético de uma é aproveitado pela seguinte. Sabe-se que a cada ciclo, M_1 recebe 800 kJ de calor de uma fonte quente a 300 K e rejeita 600 kJ , dos quais 150 kJ são aproveitados por M_2 para realização de trabalho. Por fim, M_3 aproveita o rejeito de M_2 e descarta 360 kJ em uma fonte fria a 6 K . São feitas as seguintes afirmações:

- I. É inferior a 225 K a temperatura da fonte fria de M_1 .
- II. O rendimento do sistema é de 55% .
- III. O rendimento do sistema corresponde a 80% do rendimento de uma máquina de Carnot operando entre as mesmas temperaturas.

Conclui-se então que

- a) somente a afirmação I está incorreta.
- b) somente a afirmação II está incorreta.
- c) somente a afirmação III está incorreta.
- d) todas as afirmações estão corretas.
- e) as afirmações I e III estão incorretas.

Resposta:[E]

21. (Ime 2018) Considere as afirmações abaixo, relativas a uma máquina térmica que executa um ciclo termodinâmico durante o qual há realização de trabalho.

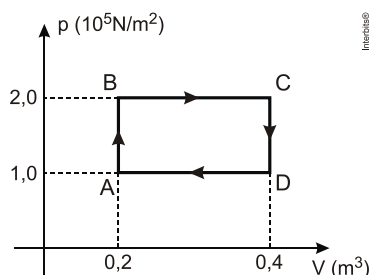
- I. Se as temperaturas das fontes forem 27° C e 427° C , a máquina térmica poderá apresentar um rendimento de 40% .
- II. Se o rendimento da máquina for 40% do rendimento ideal para temperaturas das fontes iguais a 27° C e 327° C e se o calor rejeitado pela máquina for $0,8 \text{ kJ}$, o trabalho realizado será $1,8 \text{ kJ}$.
- III. Se a temperatura de uma das fontes for 727° C e se a razão entre o calor rejeitado pela máquina e o calor recebido for $0,4$, a outra fonte apresentará uma temperatura de -23° C no caso de o rendimento da máquina ser 80% do rendimento ideal.

Está(ão) correta(s) a(s) seguinte(s) afirmação(ões):

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

Resposta:[D]

22. (Epcar (Afa) 2013) Uma máquina térmica funciona fazendo com que 5 mols de um gás ideal percorra o ciclo ABCDA representado na figura.



Sabendo-se que a temperatura em A é 227°C , que os calores específicos molares do gás, a volume constante e a pressão constante, valem, respectivamente, $2/3R$ e $5/2R$ e que R vale aproximadamente $8 \text{ J/mol} \cdot \text{K}$, o rendimento dessa máquina, em porcentagem, está mais próximo de

- a) 12
- b) 15
- c) 18
- d) 21

23. (Cefet MG 2014) O trabalho realizado em um ciclo térmico fechado é igual a 100 J e, o calor envolvido nas trocas térmicas é igual a 1000 J e 900 J , respectivamente, com fontes quente e fria.

A partir da primeira Lei da Termodinâmica, a variação da energia interna nesse ciclo térmico, em joules, é

- a) 0.
- b) 100.
- c) 800.
- d) 900.
- e) 1000.

Resposta:[A]

24. (Fgvjr 2010) Ao realizar um trabalho de 80 mil calorias, um sistema termodinâmico recebeu 60 mil calorias.

Pode-se afirmar que, nesse processo, a energia interna desse sistema

- a) aumentou 20 mil calorias.
- b) diminuiu 20 mil calorias.
- c) aumentou 60 mil calorias.
- d) diminuiu 80 mil calorias.
- e) se conservou.

Resposta:[B]

25. (Enem PPL 2009) O Inmetro procedeu à análise de garrafas térmicas com ampolas de vidro, para manter o consumidor informado sobre a adequação dos produtos aos Regulamentos e Normas Técnicas. Uma das análises é a de eficiência térmica. Nesse ensaio, verifica-se a capacidade da garrafa térmica de conservar o líquido aquecido em seu interior por determinado tempo. A garrafa é completada com água a 90°C até o volume total. Após 3 horas, a temperatura do líquido é medida e deve ser, no mínimo, de 81°C para garrafas com capacidade de 1 litro, pois o calor específico da água é igual a $1 \text{ cal/g}^{\circ}\text{C}$.

Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/consumidor/produtos/garrafavidro.asp>. Acesso em: 3 maio 2009 (adaptado)

Atingindo a água 81°C nesse prazo, a energia interna do sistema e a quantidade de calor perdida para o meio são, respectivamente,

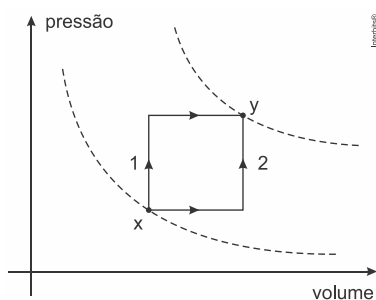
- a) menor e de 900 cal.
- b) maior e de 900 cal.
- c) menor e de 9.000 cal.
- d) maior e de 9.000 cal.
- e) constante e de 900 cal.

Resposta:[C]

26. (Unesp 2003) A energia interna U de uma certa quantidade de gás, que se comporta como gás ideal, contida em um recipiente, é proporcional à temperatura T , e seu valor pode ser calculado utilizando a expressão $U=12,5T$. A temperatura deve ser expressa em kelvins e a energia, em joules. Se inicialmente o gás está à temperatura $T=300\text{ K}$ e, em uma transformação a volume constante, recebe $1\,250\text{ J}$ de uma fonte de calor, sua temperatura final será
- a) 200 K.
 - b) 300 K.
 - c) 400 K.
 - d) 600 K.
 - e) 800 K.

Resposta:[C]

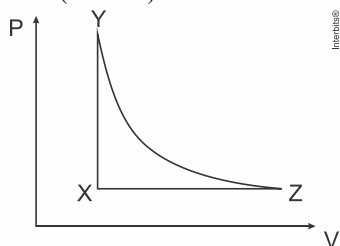
27. (Epcar (Afa) 2018) Um sistema gasoso constituído por n mols de um gás perfeito passa do estado X para o estado Y por meio dos processos distintos 1 e 2 mostrados no esquema a seguir.



- Se no processo 2 o sistema realiza um trabalho de 200 J e absorve uma quantidade de calor de 500 J , é correto afirmar que
- a) quando o sistema for trazido de volta ao estado inicial X sua energia interna irá diminuir de 700 J .
 - b) a variação da energia interna será a mesma tanto no processo 1 quanto no 2.
 - c) o trabalho realizado no processo 1 será igual ao trabalho realizado no processo 2.
 - d) se no processo 1 o trabalho realizado for de 400 J o calor recebido será de 1.000 J .

Resposta: [B]

28. (Ita 2017)



Uma transformação cíclica $XYZX$ de um gás ideal indicada no gráfico $P \times V$ opera entre dois extremos de temperatura, em que YZ é um processo de expansão adiabática reversível. Considere $R = 2,0 \text{ cal/mol} \cdot \text{K} = 0,082 \text{ atm} \cdot \text{l/mol} \cdot \text{K}$, $P_Y = 20 \text{ atm}$, $V_Z = 4,0 \text{ l}$, $V_Y = 2,0 \text{ l}$ e a razão entre as capacidades térmicas molar, a pressão e a volume constante, dada por $C_P/C_V = 2,0$. Assinale a razão entre o rendimento deste ciclo e o de uma máquina térmica ideal operando entre os mesmos extremos de temperatura.

- a) 0,38
- b) 0,44
- c) 0,55
- d) 0,75
- e) 2,25

Resposta:[B]

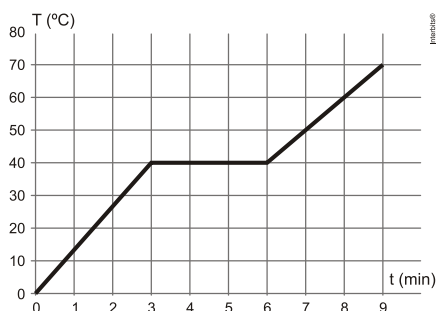
29. (Ime 2017) Um gás ideal e monoatômico contido em uma garrafa fechada com $0,1 \text{ m}^3$ está inicialmente a 300 K e a 100 kPa . Em seguida, esse gás é aquecido, atingindo 600 K .

Nessas condições, o calor fornecido ao gás, em kJ , foi:

- a) 5
- b) 10
- c) 15
- d) 30
- e) 45

Resposta:[C]

30. (Ufrgs 2014) O gráfico representa, em um processo isobárico, a variação em função do tempo da temperatura de uma amostra de um elemento puro cuja massa é de $1,0 \text{ kg}$, observada durante 9 minutos.



A amostra está no estado sólido a 0°C no instante $t = 0$ e é aquecida por uma fonte de calor que lhe transmite energia a uma taxa de $2,0 \times 10^3 \text{ J/min}$, supondo que não haja perda de calor.

O processo que ocorre na fase sólida envolve um trabalho total de $0,1 \text{ kJ}$. Nessa fase, a variação da energia interna da amostra é

- a) 6,1 kJ.
- b) 5,9 kJ.
- c) 6,0 kJ.

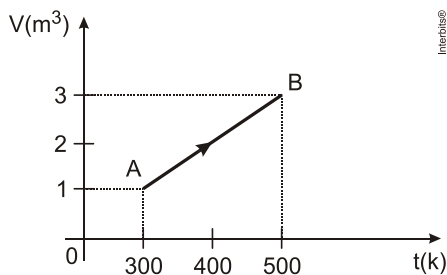
- d) $-5,9 \text{ kJ}$.
e) $-6,1 \text{ kJ}$.

Resposta:[B]

31. (Upf 2012) Uma amostra de um gás ideal se expande duplicando o seu volume durante uma transformação isobárica e adiabática. Considerando que a pressão experimentada pelo gás é $5 \times 10^6 \text{ Pa}$ e seu volume inicial $2 \times 10^{-5} \text{ m}^3$, podemos afirmar:
- O calor absorvido pelo gás durante o processo é de 25 cal.
 - O trabalho efetuado pelo gás durante sua expansão é de 100 cal.
 - A variação de energia interna do gás é de -100 J .
 - A temperatura do gás se mantém constante.
 - Nenhuma das anteriores.

Resposta:[C]

32. (Unemat 2010) O gráfico abaixo mostra a variação da energia interna de um gás ideal que sofreu uma transformação à pressão constante de $P = 120 \text{ N/m}^2$. A quantidade de calor recebida pelo gás durante o processo foi de 800 joules.



Com os dados, pode-se dizer que a variação da energia interna que este gás sofreu foi de:

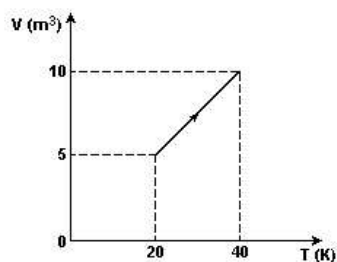
- 560 joules.
- 260 joules.
- 300 joules.
- 480 joules.
- 580 joules.

Resposta: [A]

33. (Unesp 2008) Um recipiente contendo um certo gás tem seu volume aumentado graças ao trabalho de 1664 J realizado pelo gás. Neste processo, não houve troca de calor entre o gás, as paredes e o meio exterior. Considerando que o gás seja ideal, a energia de 1 mol desse gás e a sua temperatura obedecem à relação $U = 20,8T$, onde a temperatura T é medida em kelvin e a energia U em joule. Pode-se afirmar que nessa transformação a variação de temperatura de um mol desse gás, em kelvin, foi de:
- 50.
 - 60.
 - 80.
 - 100.
 - 90.

Resposta:[C]

34. (Ufrgs 2006) Em uma transformação termodinâmica sofrida por uma amostra de gás ideal, o volume e a temperatura absoluta variam como indica o gráfico a seguir, enquanto a pressão se mantém igual a 20 N/m^2 .



Sabendo-se que nessa transformação o gás absorve 250 J de calor, pode-se afirmar que a variação de sua energia interna é de

- a) 100 J .
- b) 150 J .
- c) 250 J .
- d) 350 J .
- e) 400 J .

Resposta:[B]

35. (Ufc 2003) Uma amostra de n mols de um gás ideal monoatômico é levada do estado de equilíbrio termodinâmico inicial de temperatura T_i até o estado final de equilíbrio de temperatura T_f mediante dois diferentes processos: no primeiro, o volume da amostra permanece constante e ela absorve uma quantidade de calor Q_v ; no segundo, a pressão da amostra permanece constante e ela absorve uma quantidade de calor Q_p . Use a Primeira Lei da Termodinâmica, $\Delta U = Q - W$, sendo $\Delta U = (3/2)nR\Delta T$, para determinar que se Q_p for igual a 100 J então o valor de Q_v será igual a:

- a) 200 J .
- b) 160 J .
- c) 100 J .
- d) 80 J .
- e) 60 J .

Resposta:[E]

36. (Ufes 2001) Um cilindro de parede lateral adiabática tem sua base em contato com uma fonte térmica e é fechado por um êmbolo adiabático pesando 100 N . O êmbolo pode deslizar sem atrito ao longo do cilindro, no interior do qual existe uma certa quantidade de gás ideal. O gás absorve uma quantidade de calor de 40 J da fonte térmica e se expande lentamente, fazendo o êmbolo subir até atingir uma distância de 10 cm acima da sua posição original.

Nesse processo, a energia interna do gás

- a) diminui 50 J .
- b) diminui 30 J .
- c) não se modifica.
- d) aumenta 30 J .
- e) aumenta 50 J .

Resposta:[D]

37. (Ufal 1999) Um gás recebe um trabalho de 2100 J , sofrendo uma transformação isotérmica. Sendo o equivalente mecânico do calor igual a $4,2 \text{ J/cal}$, esse gás deve ter cedido uma quantidade de calor, em calorias, igual a

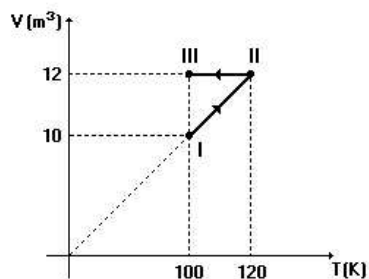
- a) $5,0 \cdot 10^2$
- b) $1,1 \cdot 10^3$
- c) $2,1 \cdot 10^3$
- d) $4,2 \cdot 10^3$
- e) $8,8 \cdot 10^3$

Resposta:[A]

38. (Uece 1999) Uma garrafa hermeticamente fechada contém 1 litro de ar. Ao ser colocada na geladeira, onde a temperatura é de 3°C , o ar interno cedeu 10 calorias até entrar em equilíbrio com o interior da geladeira. Desprezando-se a variação de volume da garrafa, a variação da energia interna desse gás foi:
- 13 cal
 - 13 cal
 - 10 cal
 - 10 cal

Resposta:[C]

39. (Uff 1997) O gráfico representa a transformação de um gás ideal que passa do estado I para o estado II e, depois, do estado II para o estado III. Para que o gás passe do estado I para o II, é necessário que se lhe forneçam 100 kJ de calor; para que passe do estado II para o III, que se lhe retirem 50 kJ de calor. Sabe-se que a pressão do gás no estado I é de 100 kPa.

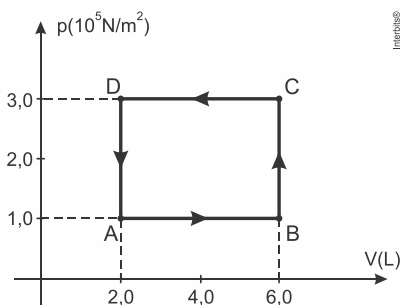


Pode-se afirmar que a variação da energia interna do gás ao passar do estado I para o III é igual a:

- zero
- 200 kJ
- 50 kJ
- 140 kJ
- 150 kJ

Resposta:[E]

40. (Epcar (Afa) 2017) Um sistema termodinâmico constituído de **n mols** de um gás perfeito monoatômico desenvolve uma transformação cíclica **ABCD** representada no diagrama a seguir.



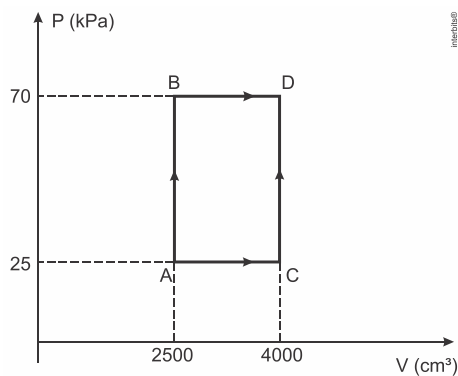
De acordo com o apresentado pode-se afirmar que

- o trabalho em cada ciclo é de **800 J** e é realizado pelo sistema.

- b) o sistema termodinâmico não pode representar o ciclo de uma máquina frigorífica uma vez que o mesmo está orientado no sentido anti-horário.
- c) a energia interna do sistema é máxima no ponto D e mínima no ponto B.
- d) em cada ciclo o sistema libera 800 J de calor para o meio ambiente.

Resposta:[D]

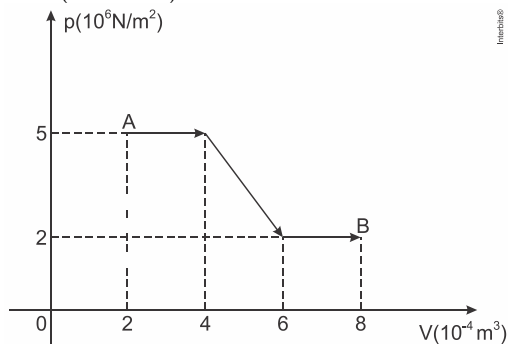
41. (Efomm 2016) O diagrama PV da figura mostra, para determinado gás ideal, alguns dos processos termodinâmicos possíveis. Sabendo-se que nos processos AB e BD são fornecidos ao gás 120 e 500 joules de calor, respectivamente, a variação da energia interna do gás, em joules, no processo ACD será igual a



- a) 105
b) 250
c) 515
d) 620
e) 725

Resposta: [C]

42. (Uefs 2016)



Um fluido se expande do estado A para o estado B, como indicado no diagrama da figura.

Analisando-se essas informações, é correto afirmar que o trabalho realizado nessa expansão, em kJ, é igual a

- a) 2,3
b) 2,2
c) 2,1

- d) 2,0
- e) 1,9

Resposta:[C]

43. (Epcar (Afa) 2014) Dispõe-se de duas máquinas térmicas de Carnot. A máquina 1 trabalha entre as temperaturas de 227°C e 527°C , enquanto a máquina 2 opera entre 227 K e 527 K .

Analise as afirmativas a seguir e responda ao que se pede.

- I. A máquina 2 tem maior rendimento que a máquina 1.
- II. Se a máquina 1 realizar um trabalho de 2000 J terá retirado 6000 J de calor da fonte quente.
- III. Se a máquina 2 retirar 4000 J de calor da fonte quente irá liberar aproximadamente 1720 J de calor para a fonte fria.
- IV. Para uma mesma quantidade de calor retirada da fonte quente pelas duas máquinas, a máquina 2 rejeita mais calor para a fonte fria.

São corretas apenas

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

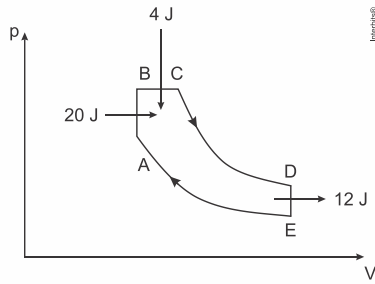
Resposta: [B]

44. (Espcex (Aman) 2012) Um gás ideal sofre uma compressão isobárica sob a pressão de $4 \cdot 10^3\text{ N/m}^2$ e o seu volume diminui $0,2\text{ m}^3$. Durante o processo, o gás perde $1,8 \cdot 10^3\text{ J}$ de calor. A variação da energia interna do gás foi de:

- a) $1,8 \cdot 10^3\text{ J}$
- b) $1,0 \cdot 10^3\text{ J}$
- c) $-8,0 \cdot 10^2\text{ J}$
- d) $-1,0 \cdot 10^3\text{ J}$
- e) $-1,8 \cdot 10^3\text{ J}$

Resposta: [D]

45. (Upe-ssa 2 2018)

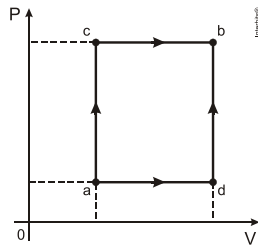


A figura ilustra os diversos processos termodinâmicos a que um gás é submetido em uma máquina térmica. Os processos AB e DE são isocóricos, EA e CD são adiabáticos, e o processo BC é isobárico. Sabendo que a substância de trabalho dessa máquina é um gás ideal, determine a sua eficiência.

- a) 10%
- b) 25%
- c) 35%
- d) 50%
- e) 75%

Resposta:[D]

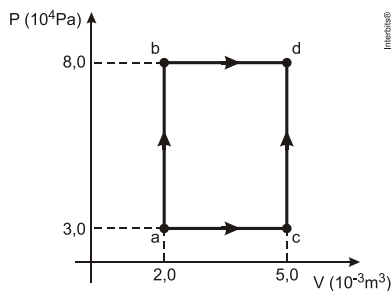
46. (Upe 2010) O diagrama PV para uma determinada amostra de gás está representado na figura a seguir. Se o sistema é levado do estado *a* para o estado *b*, ao longo do percurso *acb*, fornece-se a ele uma quantidade de calor igual a 100 cal, e ele realiza um trabalho de 40 cal. Se, por meio do percurso *adb*, o calor fornecido é de 72 cal, então o trabalho realizado vale em cal:



- a) 28
- b) 60
- c) 12
- d) 40
- e) 24

Resposta: [C]

47. (Upe 2010) No diagrama PV, a seguir, está representada uma série de processos termodinâmicos. No processo *ab*, 250 J de calor são fornecidos ao sistema, e, no processo *bd*, 600 J de calor são fornecidos ao sistema.



Analise as afirmações que se seguem.

- I. O trabalho realizado no processo ab é nulo.
- II. A variação de energia interna no processo ab é 320 J.
- III. A variação de energia interna no processo abd é 610 J.
- IV. A variação de energia interna no processo acd é 560 J.

É CORRETO afirmar que apenas as(a) afirmações(ão)

- a) II e IV estão corretas.
- b) IV está correta.
- c) I e III estão corretas.
- d) III e IV estão corretas.
- e) II e III estão corretas.

Resposta:[C]

48. (Ime 2021) Analise as afirmativas abaixo, referentes ao funcionamento de duas máquinas de Carnot, em que uma é ciclo motor e a outra, ciclo de refrigeração.

- 1: Levando em conta as temperaturas dos reservatórios térmicos e supondo que 80% da potência disponibilizada do ciclo motor seja empregada para o acionamento do ciclo de refrigeração, a quantidade de calor removida da fonte fria nesse ciclo será 120 kJ/min.
- 2: Considerando apenas o ciclo motor, se a temperatura da fonte fria for duplicada e, simultaneamente, a temperatura da fonte quente for quadruplicada, o motor térmico violará a Segunda Lei da Termodinâmica.
- 3: Se a temperatura da fonte quente do ciclo motor for modificada para 500 K, a quantidade máxima de calor removido da fonte fria do ciclo de refrigeração terá o mesmo valor numérico do apresentado na Afirmativa 1.

Dados:

- temperaturas, respectivamente, da fonte quente e da fonte fria do ciclo motor: 600 K e 300 K;
- temperaturas, respectivamente, da fonte quente e da fonte fria do ciclo de refrigeração: 300 K e 268 K; e
- calor adicionado à máquina térmica do ciclo motor: $\frac{2400}{67}$ kJ/min.

Considerando que a operação do refrigerador térmico é efetuada pela potência disponibilizada pelo motor térmico, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s)

- a) 1, apenas.
- b) 2, apenas.
- c) 3, apenas.
- d) 1 e 3, apenas.
- e) 1, 2 e 3.

Resposta:[D]

49. (Ime 2020) Um escritório de patentes analisa as afirmativas de um inventor que deseja obter os direitos sobre três máquinas térmicas reais que trabalham em um ciclo termodinâmico. Os dados sobre o calor rejeitado para a fonte fria e o trabalho produzido pela máquina térmica – ambos expressos em Joules – encontram-se na tabela abaixo.

Máquina Térmica	Calor Rejeitado [J]	Trabalho Produzido [J]
A	40	60
B	15	30
C	8	12

As afirmativas do inventor são:

Afirmativa 1: O rendimento das máquinas **A** e **C** são os mesmos para quaisquer temperaturas de fonte quente e de fonte fria.

Afirmativa 2: As máquinas **A**, **B** e **C** obedecem à Segunda Lei da Termodinâmica.

Afirmativa 3: Se o calor rejeitado nas três situações acima for dobrado e se for mantida a mesma produção de trabalho, a máquina **B** apresentará rendimento superior aos das máquinas **A** e **C**, supondo atendidos os princípios da termodinâmica.

Tomando sempre as temperaturas dos reservatórios das fontes quente e fria das máquinas como 900 K e 300 K, está(ão) correta(s) a(s) afirmativa(s):

- a) 1, apenas.
- b) 2, apenas.
- c) 1, 2 e 3.
- d) 1 e 3, apenas.
- e) 2 e 3, apenas.

Resposta:[D]

50. (Imed 2018) É consenso na comunidade científica que o efeito estufa em demasia, causado pela emissão excessiva de CO_2 no ambiente, pode contribuir para o aquecimento global. Em Setembro de 2017 o furacão Irma devastou várias regiões no hemisfério norte do planeta Terra mantendo por tempo considerável ventos acima de 200 km/h. Se acredita, baseado em evidências e dados cada vez mais numerosos, que o aquecimento global também possa corroborar com a frequência e intensidade desses fenômenos naturais, já que estes, ocorrem devido ao aquecimento das águas do oceano. Isso acaba reforçando a necessidade do controle da quantidade de emissão de gases poluentes.

Sobre as teorias vigentes na física sobre Calorimetria e Termodinâmica analise as proposições a seguir.

- I. Para cada grama de gelo a uma temperatura de 273 K são necessárias aproximadamente 80 calorias, para transformá-lo em água a 0 °C.
- II. A primeira Lei da Termodinâmica afirma que a energia do universo não se conserva, já que para o bom funcionamento de uma máquina térmica, uma parte deve ser dissipada.
- III. A temperatura alta das águas dos oceanos permite que ventos quentes desçam e frios subam como ocorre nas correntes de convecção devido à diferença de densidades, permitindo a formação de furacões.
- IV. Se uma mini máquina térmica de laboratório trabalha a temperatura na fonte quente de 473 K e sua fonte fria está a 60 °C, o rendimento dessa máquina, sabendo-se que foi projetada para trabalhar pelo ciclo de Carnot, é de aproximadamente 29%.

Marque a alternativa que apresenta as CORRETAS:

- a) Apenas I e IV.
- b) Apenas II e III.
- c) Apenas III e IV.
- d) Apenas I e III.
- e) Apenas I e II.

Resposta:[A]

51. (Esc. Naval 2015) As turbinas a vapor da propulsão nuclear de um submarino possuem um rendimento de **15%** e são capazes de produzir uma potência mecânica constante de **40 MW** nos eixos rotativos. Se essa potência é entregue em 3,0 minutos, observa-se que a variação de entropia do sistema vapor-turbinas é $\left(\frac{1}{12}\right) \text{ GJ/K}$. A temperatura, em $^{\circ}\text{C}$, do vapor superaquecido produzido pelo reator nuclear vale, aproximadamente
- 327**
 - 303**
 - 247**
 - 207**
 - 177**

Resposta:[B]

52. (Eear 2019) Considere as seguintes afirmações sobre uma máquina térmica operando segundo o ciclo de Carnot, entre duas fontes de calor, uma a **27 °C** e a outra a **57 °C**.
- () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente **52%** e esse rendimento é máximo, ao menos que a temperatura da fonte fria seja zero.
 - () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente **10%** e, caso essa máquina receba **5.000 J** de calor da fonte quente, rejeitará **1.000 J** para a fonte fria.
 - () O rendimento dessa máquina é de aproximadamente **10%** e, caso essa máquina receba **5.000 J** da fonte quente, rejeitará **4.500 J** para a fonte fria.
 - () O rendimento dessa máquina irá aumentar se houver aumento da diferença de temperatura entre as fontes de calor.

Atribuindo-se verdadeiro (V) ou falso (F) para cada uma das afirmações, assinale a alternativa que apresenta a sequência correta.

- V – F – V – F**
- V – V – V – F**
- F – F – V – F**
- F – F – V – V**

Resposta:[C]

53. (Udesc 2016) Uma máquina a vapor foi projetada para operar entre duas fontes térmicas, a fonte quente e a fonte fria, e para trabalhar segundo o ciclo de Carnot. Sabe-se que a temperatura da fonte quente é de **127 °C** e que a máquina retira, a cada ciclo, **600 J** desta fonte, alcançando um rendimento máximo igual a **0,25**. O trabalho realizado pela máquina, por ciclo, e a temperatura da fonte fria são, respectivamente:
- 240 J e 95 °C**
 - 150 J e 27 °C**
 - 15 J e 95 °C**
 - 90 J e 27 °C**
 - 24 J e 0 °C**

Resposta: [B]

54. (Ufpa 2012) Um técnico de manutenção de máquinas pôs para funcionar um motor térmico que executa 20 ciclos por segundo. Considerando-se que, em cada ciclo, o motor retira uma quantidade de calor de 1200 J de uma fonte quente e cede 800 J a uma fonte fria, é correto afirmar que o rendimento de cada ciclo é
- 13,3%
 - 23,3%
 - 33,3%
 - 43,3%
 - 53,3%

Resposta:[C]

55. (Ufal 2010) A cada ciclo de funcionamento, o motor de um certo automóvel retira 40 kJ do compartimento da fonte quente, onde se dá a queima do combustível, e realiza 10 kJ de trabalho. Sabendo que parte do calor retirado da fonte quente é dispensado para o ambiente (fonte fria) a uma temperatura de 27 °C, qual seria a temperatura no compartimento da fonte quente se esse motor operasse segundo o ciclo de Carnot?

Dado: considere que as temperaturas em graus centígrados, T_C , e Kelvin, T_K , se relacionam através da expressão $T_C = T_K - 273$.

- 127 °C
- 177 °C
- 227 °C
- 277 °C
- 377 °C

Resposta:[A]

56. (Ufal 2007) A revolução industrial ocorreu no início do século XIX, com o desenvolvimento de máquinas térmicas e estudos teóricos da termodinâmica realizados por Watt, Carnot e Mayer, entre outros.

Certa máquina térmica, que funciona realizando o ciclo de Carnot, opera entre duas fontes de calor a 400 K e 300 K. Suponha que, em cada ciclo, o motor receba $2,4 \times 10^3$ J da fonte quente. Por ciclo, o calor rejeitado à fonte fria é, em joules,

- $2,4 \times 10^2$
- $6,0 \times 10^2$
- $1,2 \times 10^3$
- $1,8 \times 10^3$
- $2,4 \times 10^3$

Resposta: [D]

57. (Ufsm 2007) Um condicionador de ar, funcionando no verão, durante certo intervalo de tempo, consome 1.600 cal de energia elétrica, retira certa quantidade de energia do ambiente que está sendo climatizado e rejeita 2.400 cal para o exterior. A eficiência desse condicionador de ar é

- 0,33
- 0,50
- 0,63
- 1,50
- 2,00

Resposta: [B]

58. (Ufc 2003) A eficiência de uma máquina de Carnot que opera entre a fonte de temperatura alta (T_1) e a fonte de temperatura baixa (T_2) é dada pela expressão

$$n = 1 - (T_2/T_1),$$

em que T_1 e T_2 são medidas na escala absoluta ou de Kelvin.

Suponha que você dispõe de uma máquina dessas com uma eficiência $n = 30\%$. Se você dobrar o valor da temperatura da fonte quente, a eficiência da máquina passará a ser igual a:

- a) 40%
- b) 45%
- c) 50%
- d) 60%
- e) 65%

Resposta:[E]

59. (Ufrgs 2000) Uma máquina térmica ideal opera recebendo 450J de uma fonte de calor e liberando 300J no ambiente. Uma segunda máquina térmica ideal opera recebendo 600J e liberando 450J. Se dividirmos o rendimento da segunda máquina pelo rendimento da primeira máquina, obteremos

- a) 1,50.
- b) 1,33.
- c) 1,00.
- d) 0,75.
- e) 0,25.

Resposta: [D]

60. (Uel 2000) Uma central de energia utilizada por uma equipe móvel de TV desenvolve $1,8 \cdot 10^7$ joules de energia elétrica enquanto seu motor a gasolina consome 2,5 litros de combustível cujo poder calorífico é de $3,6 \cdot 10^7$ joules/litro. O rendimento da central é de

- a) 10%
- b) 20%
- c) 40%
- d) 50%
- e) 100%

Resposta: [B]

61. (Uel 1999) Uma máquina térmica de Carnot é operada entre duas fontes de calor a temperaturas de 400K e 300K. Se, em cada ciclo, o motor recebe 1200 calorias da fonte quente, o calor rejeitado por ciclo à fonte fria, em calorias, vale

- a) 300
- b) 450
- c) 600
- d) 750
- e) 900

Resposta: [E]

62. (Ufv 1996) Um folheto explicativo sobre uma máquina térmica afirma que ela, ao receber 1000 cal de uma fonte quente, realiza 4186 J de trabalho. Sabendo que 1 cal equivale a 4,186 J e com base nos dados fornecidos pelo folheto, você pode afirmar que esta máquina:

- a) viola a 1ª Lei da Termodinâmica.
- b) possui um rendimento nulo.
- c) possui um rendimento de 10%.
- d) viola a 2ª Lei da Termodinâmica.
- e) funciona de acordo com o ciclo de Carnot.

Resposta: [D]

63. (Uel 1995) Uma determinada máquina térmica deve operar em ciclo entre as temperaturas de 27°C e 227°C . Em cada ciclo ela recebe 1000 cal da fonte quente. O máximo de trabalho que a máquina pode fornecer por ciclo ao exterior, em calorias, vale
- 1000
 - 600
 - 500
 - 400
 - 200

Resposta:[D]

64. (Efomm 2020) Uma máquina de Carnot é projetada para operar com **200 W** de potência entre fontes de calor de **200°C** e **100°C** . Com base nas características descritas, a quantidade de calor absorvida por essa máquina, a cada segundo, é de aproximadamente
- 400 J
 - 550 J
 - 670 J
 - 800 J
 - 950 J

Resposta:[E]

65. (Uemg 2017) Uma máquina térmica que opera, segundo o ciclo de Carnot, executa **10** ciclos por segundo. Sabe-se que, em cada ciclo, ela retira **800 J** da fonte quente e cede **400 J** para a fonte fria. Se a temperatura da fonte fria é igual a **27°C** , o rendimento dessa máquina e a temperatura da fonte quente valem, respectivamente,
- 20%; 327 K .
 - 30%; 327 K .
 - 40%; 700 K .
 - 50%; 600 K .

Resposta:[D]

66. (Esc. Naval 2017) Uma máquina de Carnot tem rendimento médio diurno $\eta_0 = 0,6$. No período noturno, as fontes quente e fria têm suas temperaturas reduzidas para metade e para $3/4$ da temperatura média diurna, respectivamente.

Se o rendimento noturno é η_1 , qual a variação percentual, $\frac{\eta_1 - \eta_0}{\eta_0} \times 100\%$, do rendimento dessa máquina de Carnot?

- 16,7%
- 25,0%
- 33,3%
- 41,7%
- 50,0%

Resposta:[C]

67. (Esc. Naval 2016) Uma máquina de Carnot, operando inicialmente com rendimento igual a **40%**, produz um trabalho de **10** joules por ciclo. Mantendo-se constante a temperatura inicial da fonte quente, reduziu-se a temperatura da fonte fria de modo que o rendimento passou para **60%**. Com isso, o módulo da variação percentual ocorrida no calor transferido à fonte fria, por ciclo, é de
- 67%
 - 60%
 - 40%
 - 33%
 - 25%

Resposta:[D]

68. (Imed 2016) Uma máquina térmica ideal opera em um ciclo termodinâmico diferente do ciclo de Carnot. Se essa máquina térmica operar entre as temperaturas de **27°C** e **477°C**, fornecendo trabalho através do calor gerado na fonte quente, sua eficiência será:
- Menor do que se a máquina operasse com base no ciclo de Carnot.
 - De **60%**.
 - A porcentagem do calor que chega à fonte fria.
 - De **75%**.
 - A razão entre os calores das fontes fria e quente.

Resposta:[A]

69. (Upe-ssa 2 2016) Um refrigerador foi construído, utilizando-se uma máquina de Carnot cuja eficiência, na forma de máquina de calor, é igual a **0,1**. Se esse refrigerador realiza um trabalho de **10 J**, é **CORRETO** afirmar que a quantidade de calor removida do reservatório de menor temperatura foi, em joules, de
- 100**
 - 99
 - 90
 - 10
 - 1

Resposta: [C]

70. (Esc. Naval 2013) Uma máquina térmica, funcionando entre as temperaturas de **300 K** e **600 K** fornece uma potência útil, P_U , a partir de uma potência recebida, P_R . O rendimento dessa máquina corresponde a **4/5** do rendimento máximo previsto pela máquina de Carnot. Sabendo que a potência recebida é de **1200 W**, a potência útil, em watt, é
- 300
 - 480
 - 500
 - 600
 - 960

Resposta: [B]

71. (Uepg 2018) Uma máquina térmica ideal opera de acordo com o ciclo de Carnot realizando um ciclo a cada 2 segundos e possui uma eficiência de 20%. Ela recebe 1.000 cal de uma fonte de calor a uma temperatura de 127 °C, realiza trabalho e rejeita calor para uma fonte fria. Em relação ao enunciado, assinale o que for correto.
- 01) A eficiência da máquina térmica operando no ciclo de Carnot é inversamente proporcional à diferença de temperatura entre as fontes quente e fria.
- 02) A quantidade de calor rejeitada para a fonte fria é 800 cal.
- 04) A potência da máquina térmica é 400 W.
- 08) O trabalho realizado pela máquina térmica a cada ciclo é 400 J.
- 16) A temperatura da fonte fria é 47 °C.

Resposta: 02 + 04 + 16 = 22.

72. (Uepg 2017) Uma máquina térmica funciona realizando o ciclo de Carnot. Em cada ciclo, ela realiza certa quantidade de trabalho útil. A máquina possui um rendimento de 25% e são retirados, por ciclo, 4.000 J de calor da fonte quente que está a uma temperatura de 227 °C. Sobre o assunto, assinale o que for correto.
- 01) O trabalho útil fornecido pela máquina térmica é 1.500 J.
- 02) O ciclo de Carnot consta de duas transformações adiabáticas alternadas com duas transformações isotérmicas.
- 04) Nenhum ciclo teórico reversível pode ter um rendimento maior do que o do ciclo de Carnot.
- 08) A quantidade de calor fornecida para a fonte fria é 5.000 J.
- 16) A temperatura da fonte fria é 102 °C.

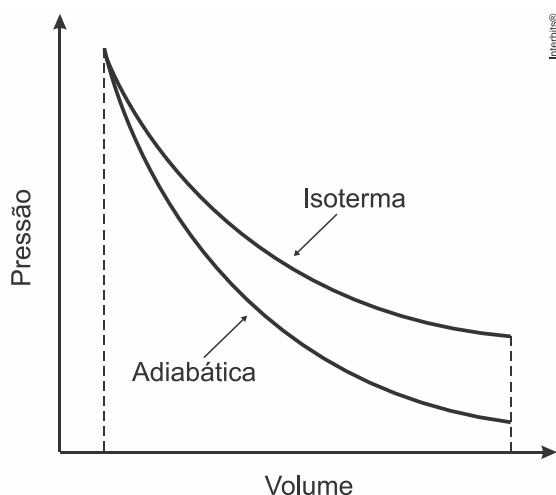
Resposta: 02 + 04 + 16 = 22.

73. (Uem 2017) Em relação às máquinas térmicas, assinale o que for **correto**.
- 01) Se o rendimento de uma máquina térmica é de 25%, significa que apenas 1/4 da energia recebida por essa máquina, na forma de calor, é convertida em trabalho realizado pela máquina.
- 02) O ciclo de Carnot determina o rendimento máximo que uma máquina térmica pode ter entre duas temperaturas fixas.
- 04) Uma máquina térmica operando segundo um ciclo constituído por duas transformações isotérmicas e duas transformações adiabáticas, trabalhando entre as temperaturas absolutas $T_1 = 500\text{ K}$ e $T_2 = 400\text{ K}$, apresenta um rendimento de 20%.
- 08) Em um ciclo de transformações sofridas por um sistema termodinâmico, não há variação da energia interna, significando que a temperatura do sistema permanece constante ao longo do processo.
- 16) Um ciclo de transformações dado por duas isobáricas e por duas isovolumétricas pode ser representado por um retângulo em um diagrama PV.

Resposta: 01 + 02 + 04 + 16 = 23.

Apêndice B - Termodinâmica – Questões Conceituais

1. (Enem PPL 2020) Tanto a conservação de materiais biológicos como o resfriamento de certos fotodetectores exigem baixas temperaturas que não são facilmente atingidas por refrigeradores. Uma prática comum para atingi-las é o uso de nitrogênio líquido, obtido pela expansão adiabática do gás N_2 , contido em um recipiente acoplado a um êmbolo, que resulta no resfriamento em temperaturas que chegam até seu ponto de liquefação em -196°C . A figura exibe o esboço de curvas de pressão em função do volume ocupado por uma quantidade de gás para os processos isotérmico e adiabático. As diferenças entre esses processos podem ser identificadas com base na primeira lei da termodinâmica, que associa a variação de energia interna à diferença entre o calor trocado com o meio exterior e o trabalho realizado no processo.

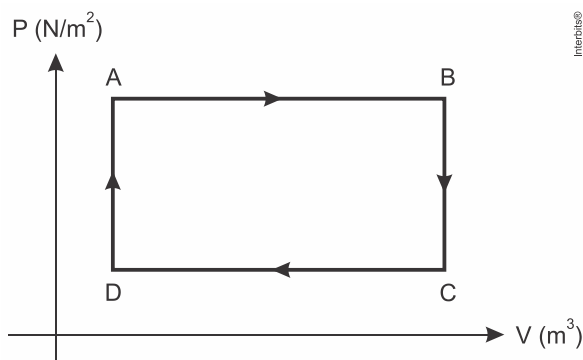


A expansão adiabática viabiliza o resfriamento do N_2 porque

- a entrada de calor que ocorre na expansão por causa do trabalho contribui para a diminuição da temperatura.
- a saída de calor que ocorre na expansão por causa do trabalho contribui para a diminuição da temperatura.
- a variação da energia interna é nula e o trabalho é associado diretamente ao fluxo de calor, que diminui a temperatura do sistema.
- a variação da energia interna é nula e o trabalho é associado diretamente à entrada de frio, que diminui a temperatura do sistema.
- o trabalho é associado diretamente à variação de energia interna e não há troca de calor entre o gás e o ambiente.

Resposta: [E]

2. (Unioeste 2021) De acordo com os princípios da Termodinâmica, é possível construir uma máquina térmica operando em ciclos e convertendo calor em trabalho. A descrição física do funcionamento de uma máquina térmica se dá pela investigação das transformações termodinâmicas que ocorrem durante cada ciclo. As transformações termodinâmicas que ocorrem durante um ciclo podem ser representadas por um gráfico do comportamento da pressão do gás de trabalho (P) em função do volume (V) por ele ocupado, chamado de diagrama P - V . O diagrama P - V a seguir mostra o ciclo $ABCD$ de uma máquina térmica composto pelas transformações termodinâmicas representadas nos trechos AB , BC , CD e DA .



Considere as seguintes afirmativas sobre o ciclo termodinâmico representado no diagrama:

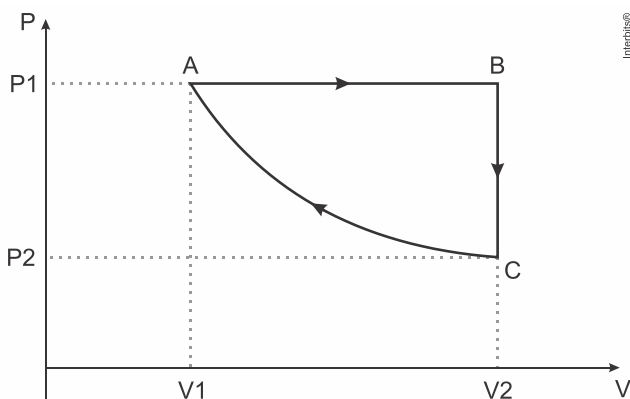
- I. Na transformação termodinâmica de A para B ocorre uma expansão isobárica;
- II. Na transformação termodinâmica de B para C um trabalho é realizado pelo sistema;
- III. No ciclo $ABCD$ a variação de energia interna é positiva;
- IV. No ciclo $ABCD$, a variação de energia interna é nula e o trabalho total realizado pode ser calculado pela área do retângulo no diagrama.

Estão CORRETAS as afirmativas:

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

Resposta: [C]

3. (Fuvest 2021) Um mol de um gás ideal percorre o processo cíclico $ABCA$ em um diagrama P - V , conforme mostrado na figura, sendo que a etapa AB é isobárica, a etapa BC é isocórica e a etapa CA é isotérmica.



Considere as seguintes afirmações:

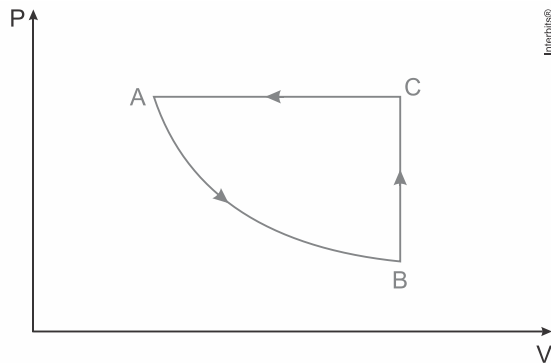
- I. O gás libera calor tanto na etapa BC quanto na etapa CA.
 II. O módulo do trabalho realizado pelo gás é não nulo tanto na etapa AB quanto na etapa BC.
 III. O gás tem sua temperatura aumentada tanto na etapa AB quanto na etapa CA.

É correto o que se afirma em:

- a) Nenhuma delas.
 b) Apenas I.
 c) Apenas II.
 d) Apenas III.
 e) Apenas I e II.

Resposta: [B]

4. (Fgv 2021) Certa massa de gás ideal sofreu três transformações. A primeira, AB, foi isotérmica, a segunda, BC, foi isovolumétrica e a terceira, CA, foi isobárica, como mostra a figura.



Considerando-se que o calor absorvido pelo gás seja positivo, que o calor cedido seja negativo, que o trabalho realizado pela força aplicada pelo gás no meio exterior seja positivo e que o trabalho realizado pela força aplicada pelo meio exterior sobre o gás seja negativo, montou-se o quadro a seguir.

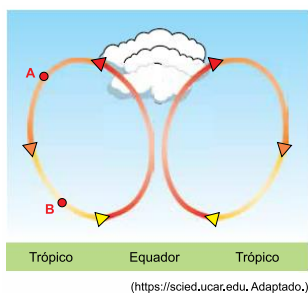
Transformação	Calor envolvido	Trabalho realizado	Energia interna do gás
AB	positivo	positivo	X
BC	positivo	Y	aumenta
CA	Z	negativo	diminui

Completam, respectivamente, as células X, Y e Z do quadro:

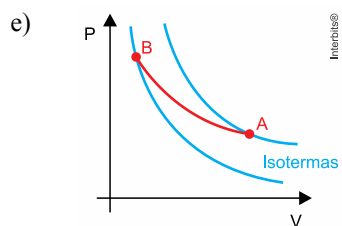
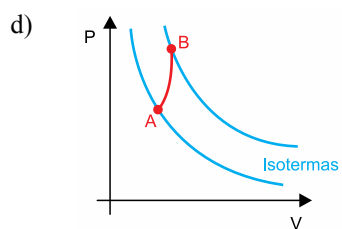
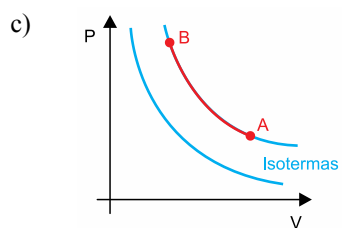
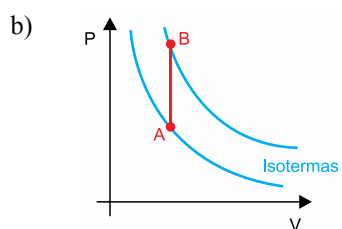
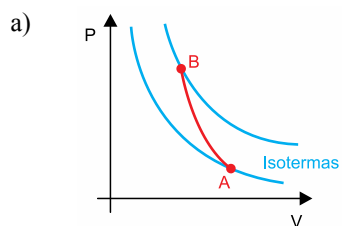
- a) não se altera, nulo e negativo.
 b) não se altera, positivo e negativo.
 c) aumenta, positivo e positivo.
 d) aumenta, nulo e positivo.
 e) diminui, negativo e nulo.

Resposta:[A]

5. (Femscsp 2021) Existe uma circulação vertical do ar na atmosfera terrestre. Em uma das células de circulação, o ar sobe na região do equador e desce nas regiões dos trópicos, como mostra a figura.

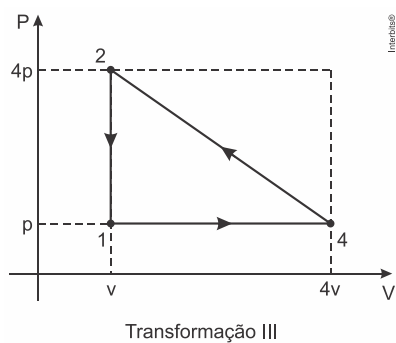
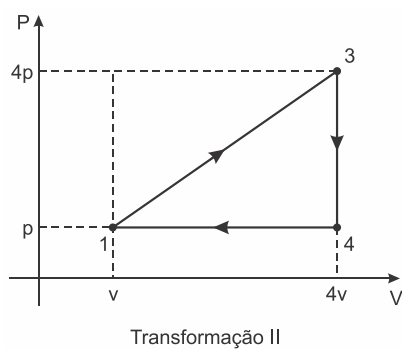
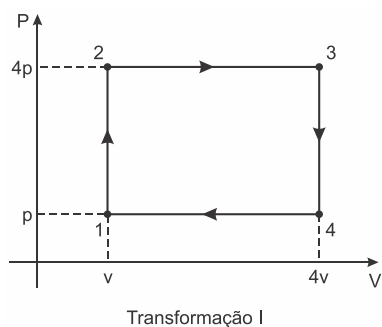


Quando uma massa de ar faz o trajeto de A para B indicado na figura, a pressão, a densidade e a temperatura dessa massa de ar aumentam. Considerando o ar como um gás ideal, o gráfico que representa a transformação sofrida por essa massa de ar quando se desloca de A para B é



Resposta:[A]

6. (Epcar (Afa) 2021) Considere uma dada massa gasosa de um gás perfeito que pode ser submetida a três transformações cíclicas diferentes I, II e III, como mostram os respectivos diagramas abaixo.



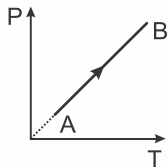
O gás realiza trabalhos totais τ_I , τ_{II} e τ_{III} respectivamente nas transformações I, II e III.

Nessas condições, é correto afirmar que

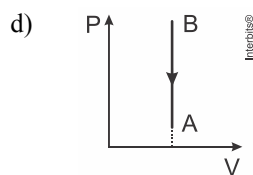
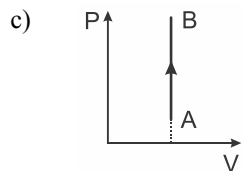
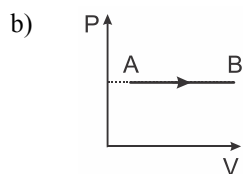
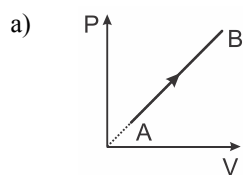
- nas transformações I e II, há conversão de calor em trabalho pelo gás e $\tau_I > \tau_{II}$.
- na transformação III, há conversão de trabalho em calor pelo gás e $\tau_{III} > \tau_I > \tau_{II}$.
- as quantidades de calor trocadas pelo gás com o meio externo nas transformações I, II e III são iguais.
- o trabalho total τ é positivo enquanto que τ_{III} e τ_{II} são negativos.

Resposta: [A]

7. (Eear 2020) Uma amostra de um gás ideal sofre a transformação termodinâmica do estado A para o estado B representada no gráfico P (pressão) em função de T (temperatura) representada a seguir:



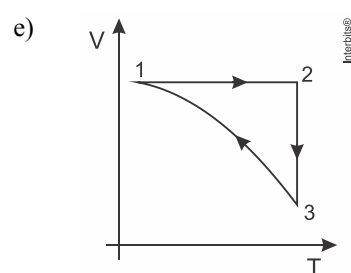
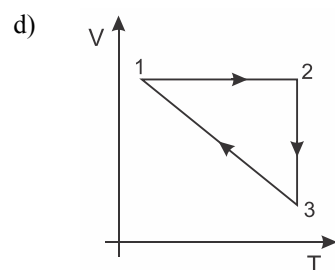
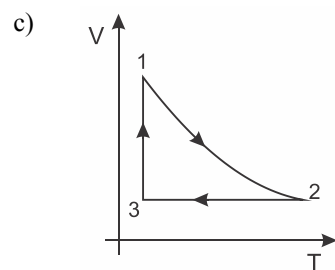
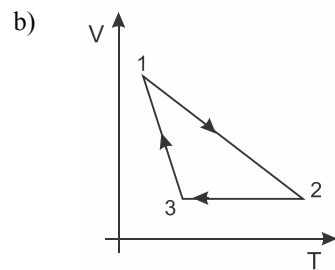
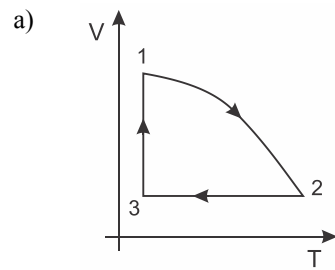
Entre as alternativas, assinale aquela que melhor representa o gráfico P em função de V (volume) correspondente a transformação termodinâmica de A para B.



Resposta:[C]

8. (Ufrgs 2020) Uma amostra de gás ideal monoatômico encontra-se em um estado inicial 1. O gás sofre três transformações sucessivas até completar um ciclo: passa do estado 1 para o estado 2 através de uma compressão adiabática; depois, passa do estado 2 para o estado 3 através de uma transformação isocórica; e, finalmente, retorna ao estado inicial 1, sofrendo uma expansão isotérmica.

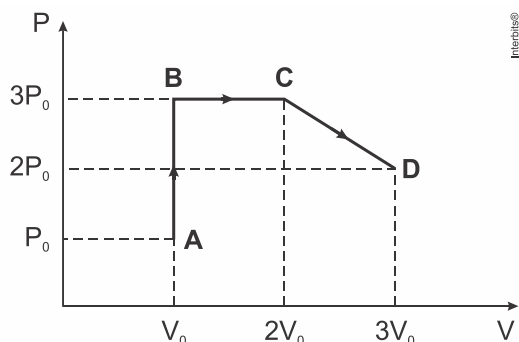
Qual dos diagramas volume (V) $\times$ temperatura absoluta (T) abaixo melhor representa esse ciclo?



Resposta:[C]

9. (Ufpr 2019) O diagrama $P \times V$ ao lado ilustra uma sequência de processos termodinâmicos executada por um gás ideal monoatômico, passando pelos pontos A, B, C e D, caracterizados pelos valores de pressão e

volume apresentados no diagrama.



Tendo em vista as informações apresentadas no diagrama, considere as seguintes afirmativas:

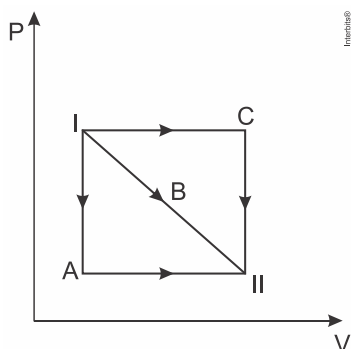
1. O processo $A \rightarrow B$ é isométrico.
2. Os pontos C e D estão à mesma temperatura.
3. O trabalho realizado pelo gás no processo $B \rightarrow C$ é nulo.
4. O processo $C \rightarrow D$ é isobárico.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas 1 e 2 são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas 2 e 3 são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas 3 e 4 são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas 1, 2 e 4 são verdadeiras.
- e) As afirmativas 1, 2, 3 e 4 são verdadeiras.

Resposta: [A]

10. (Fuvest 2019) No diagrama $P \times V$ da figura, A, B e C representam transformações possíveis de um gás entre os estados I e II.



Com relação à variação ΔU da energia interna do gás e ao trabalho W por ele realizado, entre esses estados, é correto afirmar que

- a) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
- b) $\Delta U_A > \Delta U_C > \Delta U_B$ e $W_C = W_A < W_B$.
- c) $\Delta U_A < \Delta U_B < \Delta U_C$ e $W_C > W_B > W_A$.
- d) $\Delta U_A = \Delta U_B = \Delta U_C$ e $W_C = W_A > W_B$.
- e) $\Delta U_A > \Delta U_B > \Delta U_C$ e $W_C = W_B = W_A$.

Resposta: [A]

11. (Udesc 2017) Considere as afirmações com relação à Termodinâmica.

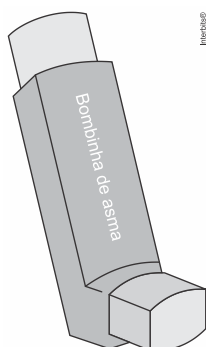
- I. A energia interna de uma dada quantidade de gás ideal depende apenas da temperatura.
- II. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a quantidade de calor absorvida pelo sistema será a mesma para todos os processos.
- III. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a variação da entropia do sistema será a mesma para todos os processos.
- IV. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a variação da energia interna do sistema será a mesma para todos os processos.
- V. Quando um sistema pode ir do estado (1) para o estado (2) por vários processos diferentes, a quantidade de trabalho realizado sobre o sistema será a mesma para todos os processos.

Assinale a alternativa correta.

- a) Somente as afirmativas I, II e IV são verdadeiras.
- b) Somente as afirmativas III e V são verdadeiras.
- c) Somente as afirmativas II e V são verdadeiras.
- d) Somente as afirmativas I, III e V são verdadeiras.
- e) Somente as afirmativas I, III e IV são verdadeiras.

Resposta: [E]

12. (Acafe 2017) Considere o caso abaixo e responda: Qual é a transformação sofrida pelo gás ao sair do spray?



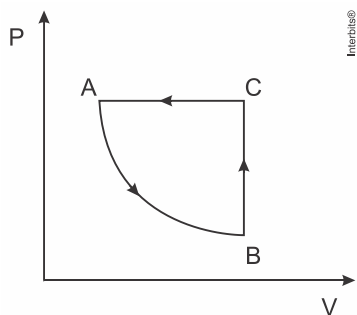
As pessoas com asma, geralmente, utilizam broncodilatadores em forma de spray ou mais conhecidos como bombinhas de asma. Esses, por sua vez, precisam ser agitados antes da inalação para que a medicação seja diluída nos gases do aerossol, garantindo sua homogeneidade e uniformidade na hora da aplicação.

Podemos considerar o gás que sai do aerossol como sendo um gás ideal, logo, sofre certa transformação em sua saída.

- a) O gás sofre uma compressão adiabática.
- b) O gás sofre uma expansão adiabática.
- c) O gás sofre uma expansão isotérmica.
- d) O gás sofre uma compressão isotérmica.

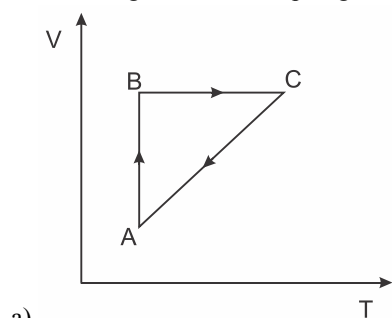
Resposta: [B]

13. (Esc. Naval 2017) Analise o gráfico a seguir.

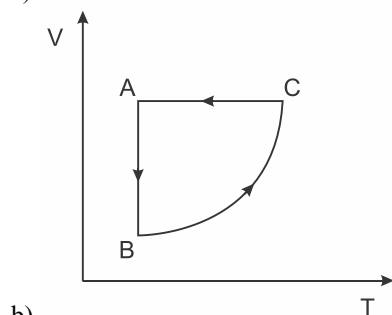


O gráfico acima representa um gás ideal descrevendo um ciclo ABC em um diagrama $P \times V$. Esse ciclo consiste em uma transformação isotérmica seguida de uma transformação isocórica e uma isobárica.

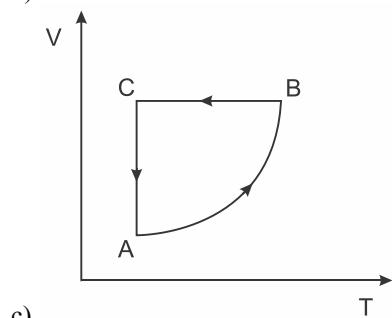
Em um diagrama $V \times T$, qual gráfico pode representar o mesmo ciclo ABC ?



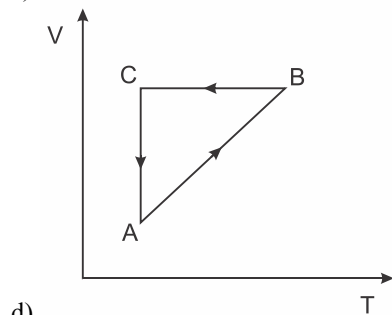
a)



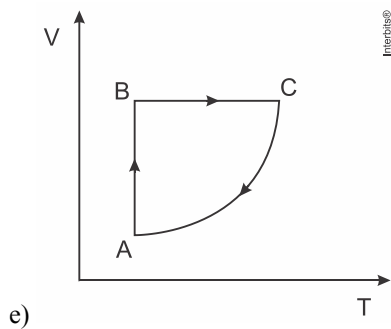
b)



c)

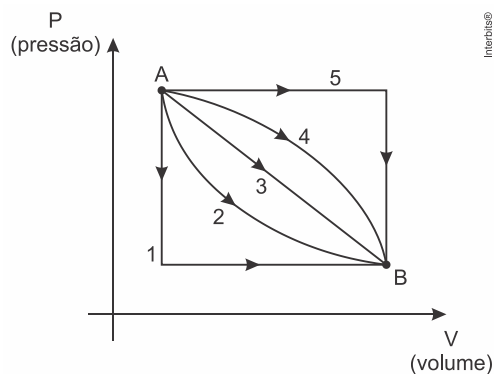


d)



Resposta: [A]

14. (Esc. Naval 2016) Analise o gráfico abaixo.

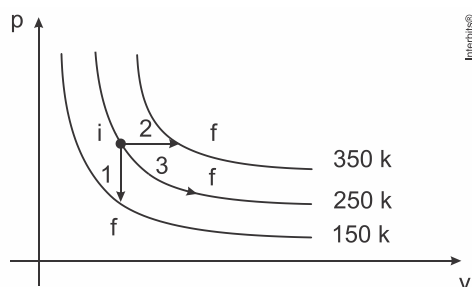


Se entre os estados **A** e **B** mostrados na figura, um mol de um gás ideal passa por um processo isotérmico. A(s) curva(s) que pode(m) representar a função $P = f(V)$ desse processo, é(são)

- a) 1 e 5
- b) 2
- c) 3
- d) 4
- e) 2 e 4

Resposta: [B]

15. (G1 - ifsul 2016) Abaixo temos o diagrama $p \times V$ onde estão representadas três transformações que levam um gás ideal do estado inicial (i) para o estado final (f).

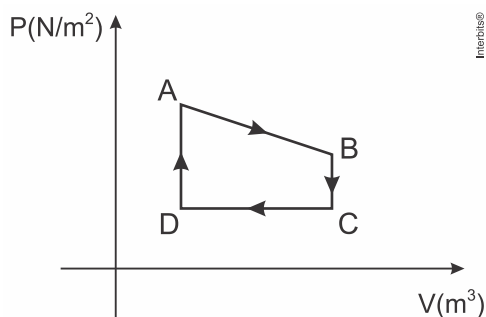


Considerando o estudo das transformações gasosas, os três processos aos quais o gás é submetido são, respectivamente

- a) isobárico, isotérmico e isovolumétrico.
- b) isovolumétrico, isobárico e isotérmico.
- c) isotérmico, isobárico e isovolumétrico.
- d) isovolumétrico, isotérmico e isobárico.

Resposta: [B]

16. (Uern 2015) O gráfico representa um ciclo termodinâmico:

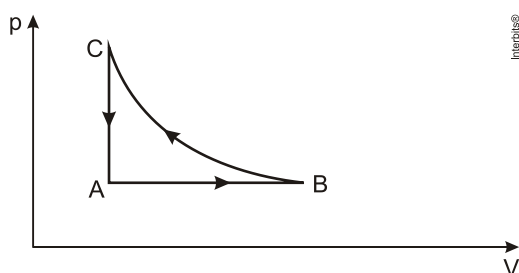


Os trabalhos realizados nas transformações AB, BC, CD e DA são, respectivamente:

- a) Negativo, nulo, positivo e nulo.
- b) Positivo, nulo, negativo e nulo.
- c) Positivo, negativo, nulo e positivo.
- d) Negativo, negativo, nulo e positivo.

Resposta: [B]

17. (Fuvest 2015) Certa quantidade de gás sofre três transformações sucessivas, $A \rightarrow B$, $B \rightarrow C$ e $C \rightarrow A$, conforme o diagrama $p - V$ apresentado na figura abaixo.



A respeito dessas transformações, afirmou-se o seguinte:

- I. O trabalho total realizado no ciclo ABCA é nulo.
- II. A energia interna do gás no estado C é maior que no estado A.
- III. Durante a transformação $A \rightarrow B$, o gás recebe calor e realiza trabalho.

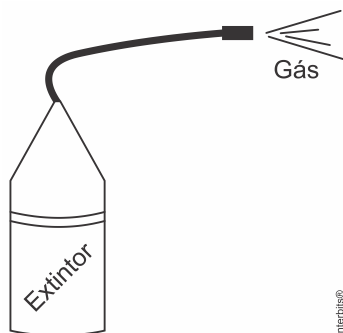
Está correto o que se afirma em:

- a) I.

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

Resposta: [E]

18. (Cefet MG 2015) Um extintor de incêndio de CO_2 é acionado e o gás é liberado para o ambiente.



Analise as asserções que se seguem:

A figura ilustra uma expansão volumétrica muito rápida, característica de uma transformação adiabática

PORQUE

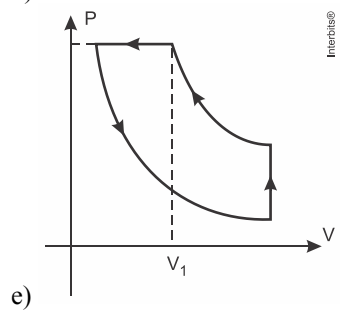
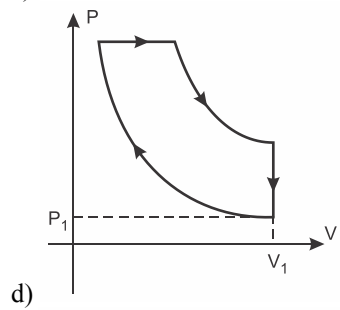
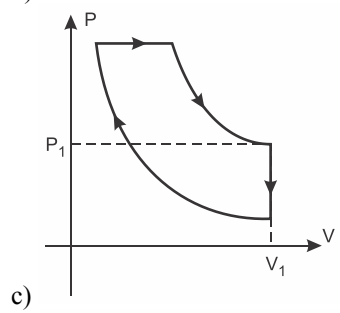
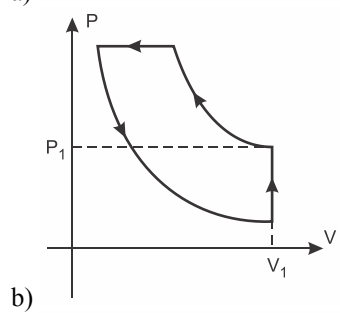
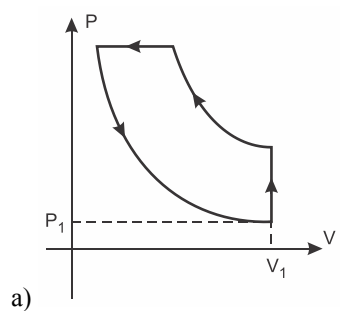
em uma transformação adiabática, a transmissão de calor entre o gás e a vizinhança é muito grande e o trabalho realizado pelo gás é igual à variação da sua energia interna.

É correto afirmar que

- a) as duas asserções são proposições verdadeiras, e a segunda é uma justificativa correta da primeira.
- b) as duas asserções são proposições verdadeiras, mas a segunda não é justificativa correta da primeira.
- c) a primeira asserção é uma proposição verdadeira, e a segunda, uma proposição falsa.
- d) a primeira asserção é uma proposição falsa, e a segunda, uma proposição verdadeira.
- e) a primeira e a segunda asserção são proposições falsas.

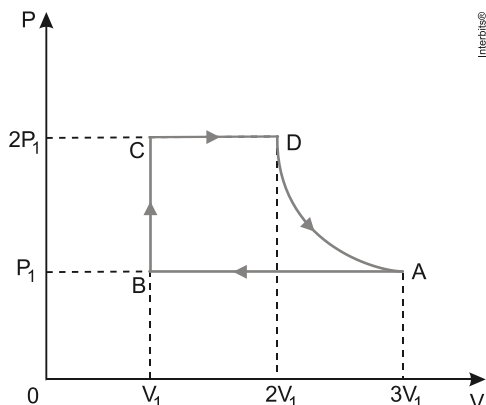
Resposta:[C]

19. (Esc. Naval 2014) O estado inicial de certa massa de gás ideal é caracterizado pela pressão P_1 e volume V_1 . Essa massa gasosa sofre uma compressão adiabática seguida de um aquecimento isobárico, depois se expande adiabaticamente até que o seu volume retorne ao valor inicial e, finalmente, um resfriamento isovolumétrico faz com que o gás retorne ao seu estado inicial. Qual o gráfico que melhor representa as transformações sofridas pelo gás?



Resposta: [D]

20. (Fgv 2014) O gráfico da pressão (P), em função do volume (V) de um gás perfeito, representa um ciclo de transformações a que o gás foi submetido.

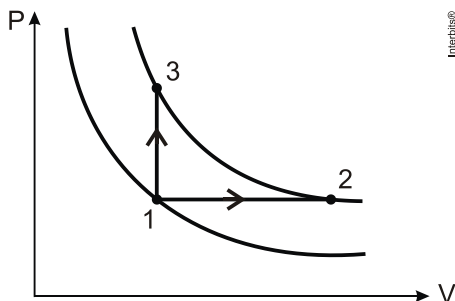


A respeito dessas transformações, é correto afirmar que a transformação

- AB é isobárica e que a relação T_A/T_B entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados A e B vale 3.
- BC é isotérmica e que a relação T_B/T_C entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados B e C vale $1/2$.
- CD é isobárica e que a relação T_C/T_D entre as temperaturas absolutas nos respectivos estados C e D vale $2/3$.
- AD é isotérmica e que o calor trocado com o meio ambiente nessa transformação é nulo.
- AD é adiabática e que o calor trocado com o meio ambiente nessa transformação é igual ao trabalho realizado pelo gás no ciclo.

Resposta: [A]

21. (Ufsm 2011) A invenção e a crescente utilização de máquinas térmicas, a partir da revolução industrial, produziram, ao longo de dois séculos, impactos ecológicos de proporções globais. Para compreender o funcionamento das máquinas térmicas, é necessário estudar os processos de expansão e compressão dos gases no seu interior. Em certas condições, todos os gases apresentam, aproximadamente, o mesmo comportamento. Nesse caso, são denominados gases ideais. Considere o diagrama pressão (P) x volume (V) para um gás ideal, sendo as curvas isotermas.



Análise, então, as afirmativas:

- A energia interna do estado 1 é maior do que a energia interna do estado 2.
- No processo $1 \rightarrow 3$, o gás não realiza trabalho contra a vizinhança.
- No processo $1 \rightarrow 2$, o gás recebe energia e também fornece energia para a vizinhança.

Está(ão) correta(s)

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

Resposta: [D]

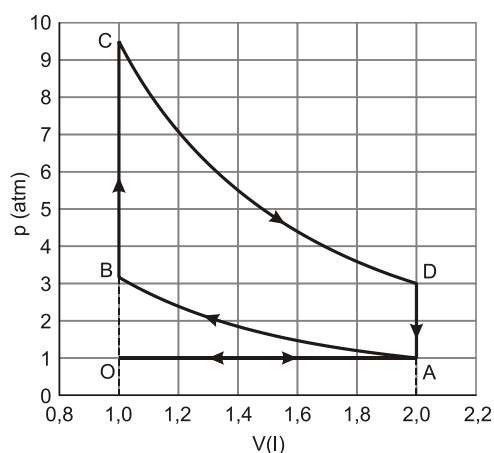
22. (Ufu 2010) Em relação à Primeira e à Segunda Lei da Termodinâmica, é correto afirmar que:

- a) Na expansão isotérmica de um gás ideal monoatômico, a temperatura permanece constante e, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia é nula. Desse modo, o calor absorvido é convertido completamente em trabalho. Entretanto, pode-se afirmar que a segunda lei da termodinâmica não é violada porque o sistema não está isolado.
- b) Na expansão isotérmica de um gás ideal monoatômico, a temperatura permanece constante e, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia é nula. Desse modo, o calor absorvido é convertido completamente em trabalho e pode-se afirmar que a segunda lei da termodinâmica é violada, uma vez que esse é um sistema isolado.
- c) Na expansão adiabática de um gás ideal monoatômico, a temperatura permanece constante e, de acordo com a primeira lei da termodinâmica, a variação da energia é nula. Desse modo, o calor absorvido é convertido completamente em trabalho e, considerando que esse não é um sistema isolado, pode-se afirmar que a segunda lei da termodinâmica é violada.
- d) Na expansão isotérmica de um gás ideal monoatômico, a temperatura permanece constante e, de acordo com a segunda lei da termodinâmica, a variação da energia é nula. Desse modo, o calor absorvido é convertido completamente em trabalho. Entretanto, pode-se afirmar que a primeira lei da termodinâmica não é violada, porque o sistema não está isolado.

Resposta: [A]

23. (Ufrgs 2010) Assinale a alternativa que preenche corretamente as lacunas do texto a seguir, na ordem em que aparecem.

A figura a seguir representa simplificada o diagrama pV, sendo p dada em atm e V dado em l, para um ciclo de uma máquina térmica que opera com um gás ideal. Considere que, durante o percurso ABCD, o número de partículas do gás permanece constante, e que, para esse gás, a razão entre o calor específico a pressão constante (c_p) e o calor específico a volume constante (c_v) é $c_p/c_v = 5/3$.

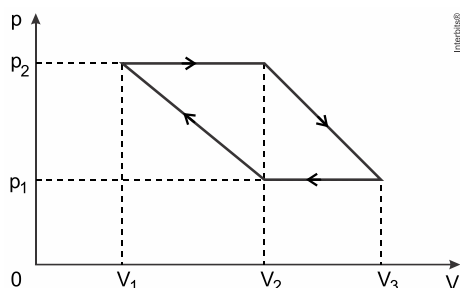


As etapas $A \rightarrow B$ e $C \rightarrow D$ do ciclo representado na figura são processos..... Sendo assim,..... troca de entre a máquina térmica e o ambiente.

- | | | | | |
|----------------|---|--------|---|----------|
| a) isotérmicos | - | há | - | trabalho |
| b) isotérmicos | - | não há | - | trabalho |
| c) adiabáticos | - | não há | - | calor |
| d) adiabáticos | - | há | - | calor |
| e) adiabáticos | - | não há | - | trabalho |

Resposta: [C]

24. (Fgv 2018) Estamos passando por uma fase de grande evolução tecnológica. O aperfeiçoamento das máquinas e motores é evidente e, dentro em breve, o motor térmico será considerado peça de museu. Considere, no entanto, um motor térmico que realiza um ciclo representado qualitativamente pelo gráfico da pressão (p) *versus* volume (V) da figura, em que sua frequência de giro é f .

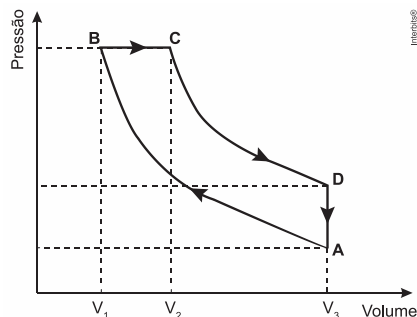


Com esses dados, a potência efetiva desse motor será dada por

- a) $\text{Pot}_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
 b) $\text{Pot}_e = f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/2$
 c) $\text{Pot}_e = 2 \cdot f \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)$
 d) $\text{Pot}_e = [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/f$
 e) $\text{Pot}_e = 2 \cdot [(V_2 - V_1) + (V_3 - V_2)] \cdot (p_2 - p_1)/f$

Resposta: [B]

25. (Enem PPL 2017) Rudolph Diesel patenteou um motor a combustão interna de elevada eficiência, cujo ciclo está esquematizado no diagrama pressão $\times$ volume. O ciclo Diesel é composto por quatro etapas, duas das quais são transformações adiabáticas. O motor de Diesel é caracterizado pela compressão de ar apenas, com a injeção de combustível no final.



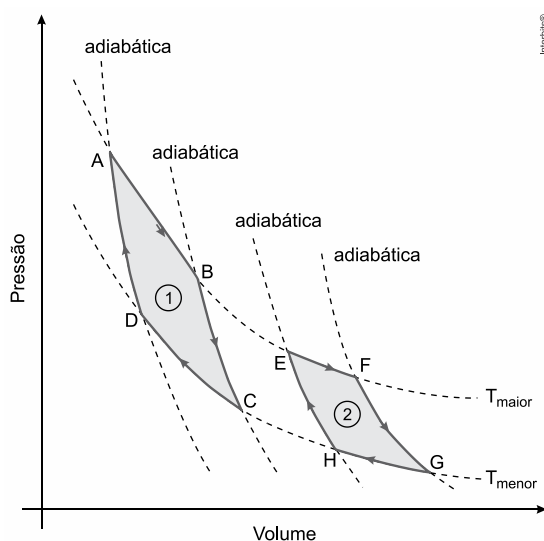
No ciclo Diesel, o calor é absorvido em:

- a) $A \rightarrow B$ e $C \rightarrow D$, pois em ambos ocorre realização de trabalho.

- b) $A \rightarrow B$ e $B \rightarrow C$, pois em ambos ocorre elevação da temperatura.
 c) $C \rightarrow D$, pois representa uma expansão adiabática e o sistema realiza trabalho.
 d) $A \rightarrow B$, pois representa uma compressão adiabática em que ocorre elevação de temperatura.
 e) $B \rightarrow C$, pois representa expansão isobárica em que o sistema realiza trabalho e a temperatura se eleva.

Resposta: [E]

26. (Famema 2017) Duas máquinas térmicas ideais, 1 e 2, têm seus ciclos termodinâmicos representados no diagrama pressão $\times$ volume, no qual estão representadas quatro transformações isotérmicas (T_{maior} e T_{menor}) e quatro transformações adiabáticas. O ciclo ABCDA refere-se à máquina 1 e o ciclo EFGHE, à máquina 2.

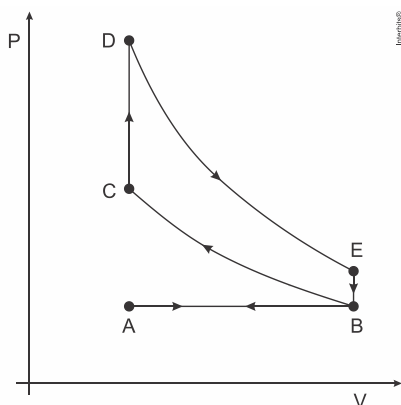


Sobre essas máquinas, é correto afirmar que, a cada ciclo realizado,

- a) o rendimento da máquina 1 é maior do que o da máquina 2.
 b) a variação de energia interna sofrida pelo gás na máquina 1 é maior do que na máquina 2.
 c) a variação de energia interna sofrida pelo gás na máquina 1 é menor do que na máquina 2.
 d) nenhuma delas transforma integralmente calor em trabalho.
 e) o rendimento da máquina 2 é maior do que o da máquina 1.

Resposta: [D]

27. (Enem 2ª aplicação 2016) O motor de combustão interna, utilizado no transporte de pessoas e cargas, é uma máquina térmica cujo ciclo consiste em quatro etapas: admissão, compressão, explosão/expansão e escape. Essas etapas estão representadas no diagrama da pressão em função do volume. Nos motores a gasolina, a mistura ar/combustível entra em combustão por uma centelha elétrica.

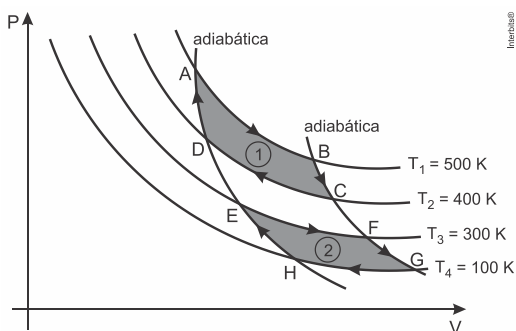


Para o motor descrito, em qual ponto do ciclo é produzida a centelha elétrica?

- a) A
- b) B
- c) C
- d) D
- e) E

Resposta: [C]

28. (Epcar (Afa) 2014) Considere um gás ideal que pode ser submetido a duas transformações cíclicas reversíveis e não simultâneas, 1 e 2, como mostrado no diagrama PV abaixo.



Na transformação 1 o gás recebe uma quantidade de calor Q_1 para a fonte fria à temperatura T_2 . Enquanto que, na transformação 2, as quantidades de calor recebida, Q'_1 , e cedida, Q'_2 , são trocadas respectivamente com duas fontes às temperaturas T_3 e T_4 .

Nessas condições, é correto afirmar que

- a) a variação da entropia nas transformações BC, DA, FG e HE é não nula.
- b) nas transformações AB e EF, a variação da entropia é negativa, enquanto que, nas transformações CD e GH, é positiva.
- c) na transformação 1, a variação da entropia é não nula e $Q_1 = \frac{5}{4}Q_2$.
- d) na transformação 2, a variação da entropia é nula e $Q'_1 = 3Q'_2$.

Resposta: [D]

29. (Esc. Naval 2013) Analise as afirmativas abaixo referentes à entropia.

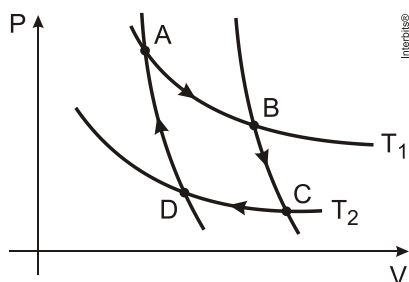
- I. Num dia úmido, o vapor de água se condensa sobre uma superfície fria. Na condensação, a entropia da água diminui.
- II. Num processo adiabático reversível, a entropia do sistema se mantém constante.
- III. A entropia de um sistema nunca pode diminuir.
- IV. A entropia do universo nunca pode diminuir.

Assinale a opção que contém apenas afirmativas corretas.

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

Resposta:[E]

30. (Ufla 2010) O ciclo da Carnot é constituído de duas transformações isotérmicas a temperaturas T_1 e T_2 e duas transformações adiabáticas. Considere o diagrama $P \times V$ a seguir e o sentido do ciclo ABCDA. É CORRETO afirmar:



- a) As variações da energia interna ΔU nos processos BC e DA são nulas.
- b) As variações da energia interna ΔU nos processos AB e CD são nulas.
- c) a temperatura associada ao processo isotérmico AB é menor do que a temperatura associada ao processo isotérmico CD.
- d) Ao final do ciclo ABCDA, o trabalho realizado é igual à variação da energia interna ΔU de ciclo.

Resposta: [B]

31. (G1 - cftce 2008) Um gás ideal, em equilíbrio termodinâmico no estado A, sofre uma expansão adiabática reversível, atingindo o estado de equilíbrio B e, em seguida, passa por uma compressão irreversível, voltando ao estado inicial A. Analise as afirmativas seguintes:

- I. A entropia do sistema (gás mais vizinhança) aumentou após a compressão $B \rightarrow A$. ()
- II. A entropia do gás aumentou após o ciclo $A \rightarrow B \rightarrow A$. ()
- III. A energia interna do gás aumentou após a expansão $A \rightarrow B$. ()
- IV. A energia interna do gás é a mesma antes e após o ciclo $A \rightarrow B \rightarrow A$. ()

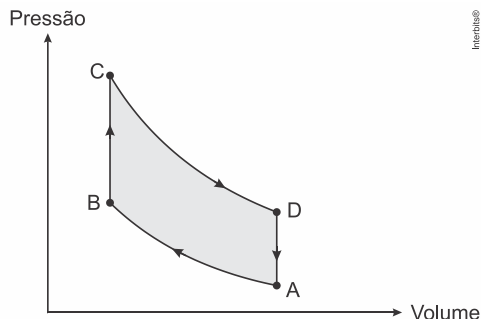
São VERDADEIRAS:

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

Resposta: [C]

32. (Ufpa 2008) O gráfico representado a seguir é um modelo ideal do ciclo das transformações que ocorrem em

um motor à explosão de quatro tempos (de um automóvel, por exemplo), uma das máquinas térmicas mais populares que existem. As transformações são realizadas no interior de um cilindro, usando uma mistura de vapor de gasolina e ar (considerada um gás ideal), para produzir movimento em um pistão. As evoluções de **A** para **B** e de **C** para **D** são processos adiabáticos enquanto de **B** para **C** e de **D** para **A** são processos isométricos.



Considerando o texto e o gráfico representados acima, analise as seguintes afirmações:

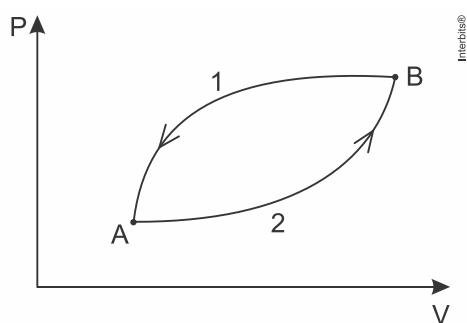
- I. Na transformação de **A** para **B**, o trabalho realizado é positivo.
- II. Na transformação de **B** para **C**, a variação da energia interna do gás é negativa.
- III. Na transformação de **C** para **D**, a temperatura do gás diminui.
- IV. A variação da entropia, na transformação reversível de **C** para **D**, é nula.

Estão corretas somente

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

Resposta: [D]

33. (Fgv 2008) O diagrama relaciona valores de pressão e volume que ocorrem em determinada máquina térmica.



De sua análise, pode-se inferir que

- a) se a linha 2 fosse uma reta ligando os pontos **A** e **B**, ela representaria uma expansão isotérmica do gás.
- b) a área compreendida entre as duas curvas representa o trabalho realizado sobre o gás no decorrer de um ciclo completo.
- c) a área formada imediatamente abaixo da linha indicada por 1 e o eixo **V** equivale, numericamente, ao trabalho útil realizado pelo gás em um ciclo.
- d) o ciclo representa os sucessivos valores de pressão e volume, que ocorrem em uma máquina podendo ser, por exemplo, uma locomotiva a vapor.
- e) no ponto indicado por **A**, o mecanismo apresenta grande capacidade de realização de trabalho devido aos valores de pressão e volume que se associam a esse ponto.

Resposta: [B]

34. (Ufsm 2007) Além de contribuir para a análise das condições de saúde, a tecnologia é um meio para promover bem-estar.

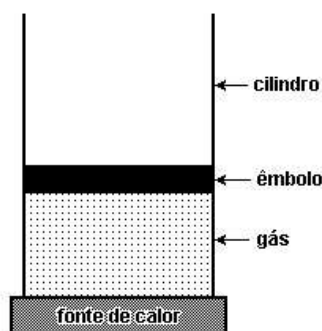
O condicionador de ar é uma máquina térmica e funciona com um ciclo termodinâmico que possui quatro processos, sendo dois adiabáticos. Numa adiabática de um gás ideal, o trabalho realizado contra a vizinhança faz a energia interna do gás, provocando um na sua temperatura.

Assinale a alternativa que completa corretamente as lacunas.

- a) expansão - diminuir - aumento
- b) compressão - aumentar - abaixamento
- c) expansão - aumentar - abaixamento
- d) compressão - diminuir - aumento
- e) expansão - diminuir - abaixamento

Resposta: [E]

35. (Unifesp 2007) A figura representa uma amostra de um gás, suposto ideal, contida dentro de um cilindro. As paredes laterais e o êmbolo são adiabáticos; a base é diatérmica e está apoiada em uma fonte de calor.



Considere duas situações:

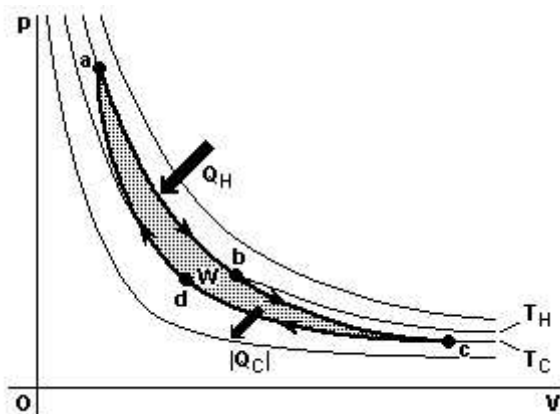
- I. o êmbolo pode mover-se livremente, permitindo que o gás se expanda à pressão constante;
- II. o êmbolo é fixo, mantendo o gás a volume constante.

Suponha que nas duas situações a mesma quantidade de calor é fornecida a esse gás, por meio dessa fonte. Pode-se afirmar que a temperatura desse gás vai aumentar

- a) igualmente em ambas as situações.
- b) mais em I do que em II.
- c) mais em II do que em I.
- d) em I, mas se mantém constante em II.
- e) em II, mas se mantém constante em I.

Resposta: [C]

36. (Ueg 2006) A figura a seguir mostra um ciclo de Carnot, usando como substância-trabalho um gás ideal dentro de um cilindro com um pistão. Ele consiste de quatro etapas.

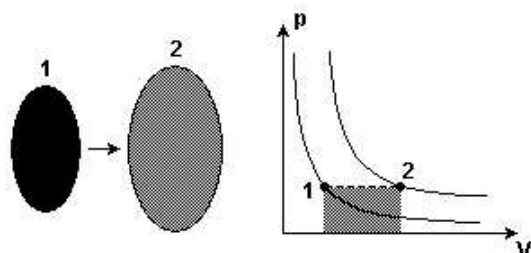


De acordo com a figura, é INCORRETO afirmar:

- a) De a para b, o gás expande-se isotermicamente na temperatura T_H , absorvendo calor Q_H .
- b) De b para c, o gás expande-se adiabaticamente até que sua temperatura cai para T_C .
- c) De d para a, o gás é comprimido isovolumetricamente até que sua temperatura cai para T_C .
- d) De c para d, o gás é comprimido isotermicamente na temperatura T_C , rejeitando calor Q_C .

Resposta: [C]

37. (Ufu 2006) Um gás bastante rarefeito está contido num balão de volume variável e é feito de um material que permite trocas de calor com o meio externo (paredes diatérmicas). Esse gás sofre uma transição, passando de sua configuração (inicial) 1 para uma segunda configuração (final) 2, conforme o diagrama pV apresentado a seguir.

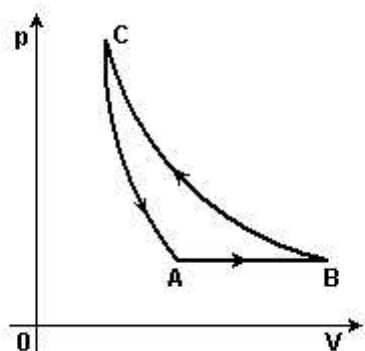


Dado que não ocorre nenhuma reação química entre as moléculas que compõem o gás, nessa transição de 1 para 2 podemos afirmar que:

- a) O meio externo realizou um trabalho sobre o gás, e a temperatura do gás aumentou.
- b) O gás realizou um trabalho para o meio externo, que é numericamente igual à região hachurada do diagrama pV, e a energia cinética média das partículas que compõem o gás diminuiu.
- c) O gás realizou um trabalho para o meio externo, que é numericamente igual à região hachurada do diagrama pV, e a energia cinética média das partículas que compõem o gás aumentou.
- d) O gás realizou um trabalho para o meio externo, que é numericamente igual à região hachurada do diagrama pV, e a energia cinética média das partículas que compõem o gás diminuiu no mesmo valor do trabalho realizado.

Resposta: [C]

38. (Ufpb 2006) Um gás ideal é submetido a três transformações consecutivas, em que $A \rightarrow B$ é isobárica, $B \rightarrow C$ é isotérmica e $C \rightarrow A$ é adiabática, como mostra o diagrama p - V a seguir.



Em relação a essas transformações, identifique com V a(s) afirmativa(s) verdadeira(s) e com F, a(s) falsa(s).

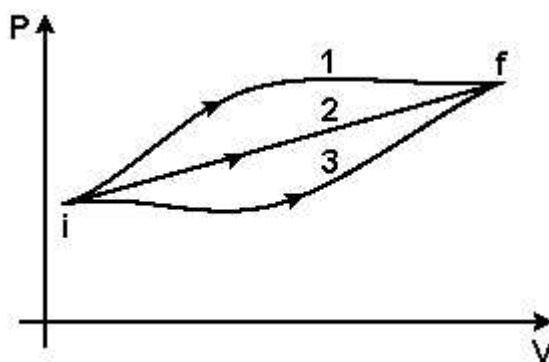
- () Em $A \rightarrow B$, a energia interna do gás diminui.
- () Em $B \rightarrow C$, o gás recebe calor.
- () Em $C \rightarrow A$, não há variação da energia interna do gás.

A sequência correta é:

- a) VVF
- b) VFV
- c) FVF
- d) VVV
- e) FFF

Resposta: [E]

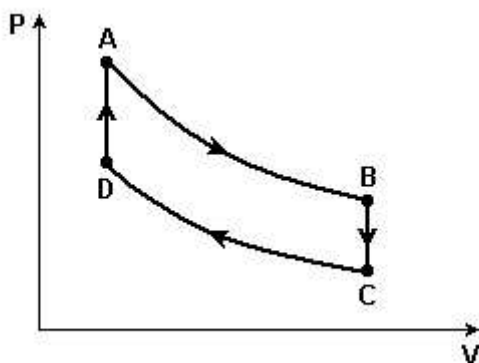
39. (Ufes 2004) Uma certa quantidade de gás ideal é levada de um estado inicial a um estado final por três processos distintos, representados no diagrama $P \times V$ da figura a seguir. O calor e o trabalho associados a cada processo são, respectivamente, Q_1 e W_1 , Q_2 e W_2 , Q_3 e W_3 . Está correto afirmar que:



- a) $W_1 = W_2 = W_3$ e $Q_1 = Q_2 = Q_3$
- b) $W_1 < W_2 < W_3$ e $Q_1 < Q_2 < Q_3$
- c) $W_1 > W_2 > W_3$ e $Q_1 > Q_2 > Q_3$
- d) $W_1 = W_2 = W_3$ e $Q_1 < Q_2 < Q_3$
- e) $W_1 > W_2 > W_3$ e $Q_1 = Q_2 = Q_3$

Resposta: [C]

40. (Ita 2003)



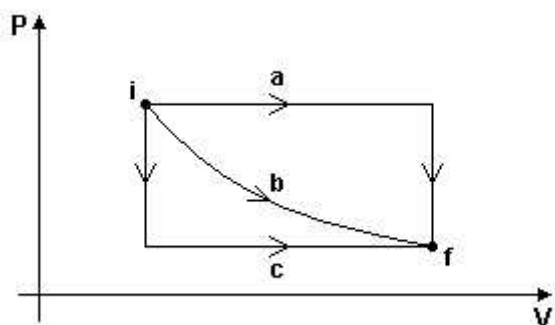
Uma certa massa de gás ideal realiza o ciclo ABCD de transformações, como mostrado no diagrama pressão volume da figura. As curvas AB e CD são isotermas.

Pode-se afirmar que

- a) o ciclo ABCD corresponde a um ciclo de Carnot.
- b) o gás converte trabalho em calor ao realizar o ciclo.
- c) nas transformações AB e CD o gás recebe calor.
- d) nas transformações AB e BC a variação da energia interna do gás é negativa.
- e) na transformação DA o gás recebe calor, cujo valor é igual à variação da energia interna.

Resposta: [E]

41. (Ufsm 2002)



No gráfico, representam-se, em função do volume, as pressões exercidas por uma massa de gás quando esta passa do mesmo estado inicial, i, a um mesmo estado final, f, através de três processos diferentes, a, b e c. Afirma-se, então, que, nos três processos, a

- I. energia trocada na forma de calor é a mesma.
- II. energia trocada na forma de trabalho é a mesma.
- III. variação de energia interna do sistema gasoso é a mesma.

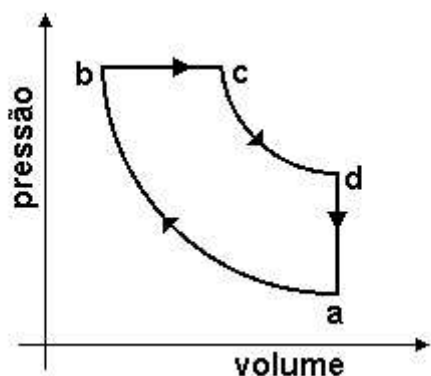
Está(ão) correta(s)

- a) apenas I.
- b) apenas II.

- c) apenas I e II.
- d) apenas III.
- e) apenas I e III.

Resposta: [D]

42. (Ufc 1999) O "ciclo diesel", mostrado na figura abaixo, representa o comportamento aproximado de um motor diesel. A substância de trabalho desse motor pode ser considerada um gás ideal. O processo $a \rightarrow b$ é uma compressão adiabática, o processo $b \rightarrow c$ é uma expansão a pressão constante, o processo $c \rightarrow d$ é uma expansão adiabática e o processo $d \rightarrow a$ é resfriamento a volume constante.

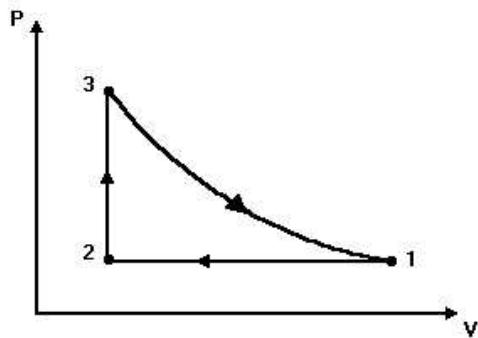


Com relação a esses processos, assinale a opção correta.

- a) No processo $a \rightarrow b$ a energia interna do sistema não varia.
- b) No processo $b \rightarrow c$ a energia interna do sistema diminui.
- c) No processo $c \rightarrow d$ a energia interna do sistema diminui.
- d) No processo $d \rightarrow a$ a energia interna do sistema aumenta.
- e) No ciclo completo a variação da energia interna é positiva.

Resposta: [C]

43. (Ufmg 1994) O gráfico da pressão p em função do volume V de um gás ideal representa uma transformação cíclica ocorrida em três fases. Inicia-se o ciclo por uma transformação isobárica, seguida de uma transformação isovolumétrica e finalmente, de uma transformação isotérmica.



Com base nesses dados pode-se afirmar que

- a) o trabalho realizado na transformação isotérmica é calculado pela expressão $p_3(V_1 - V_3)$.
- b) o trabalho realizado pelo gás é nulo durante a transformação isotérmica.
- c) o trabalho realizado pelo gás na transformação isotérmica é igual ao calor que esse gás absorve.
- d) o trabalho realizado sobre o gás durante a transformação isovolumétrica é o mesmo que na transformação isobárica.
- e) o trabalho realizado sobre o gás, na transformação isovolumétrica, é maior do que o trabalho realizado pelo gás na transformação isotérmica.

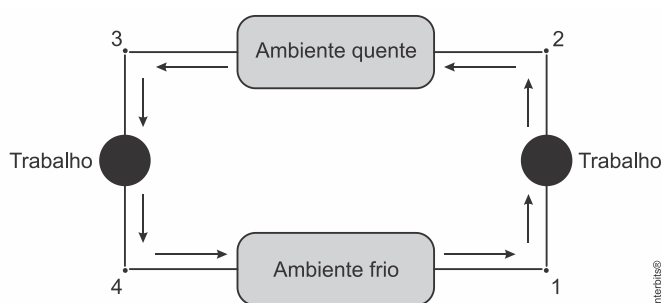
Resposta: [C]

44. (Unioeste 2020) O segundo princípio da Termodinâmica assegura que é impossível construir uma máquina térmica operando em ciclos cujo único efeito seja retirar calor de uma fonte e convertê-lo integralmente em trabalho. Considerando as consequências deste princípio é CORRETO afirmar que:

- a) máquinas térmicas são dispositivos que convertem energia mecânica em energia térmica por meio da realização de trabalho e consumo de calor.
- b) o rendimento de uma máquina térmica será de 100% quando o calor retirado da fonte em cada ciclo de operação da máquina for nulo.
- c) o rendimento de uma máquina térmica nunca pode chegar a 100%, pois nenhuma máquina térmica consegue transformar integralmente calor em trabalho.
- d) qualquer máquina térmica retira calor de uma fonte quente e rejeita integralmente esse calor para uma fonte fria após realizar um trabalho mecânico.
- e) uma máquina térmica que realiza uma transformação cíclica retornando ao estado inicial, depois de efetuar todos os processos termodinâmicos do ciclo, tem rendimento de 100%.

Resposta: [C]

45. (Ufu 2016) Em um refrigerador, o fluido refrigerante passa por processos termodinâmicos que permitem que o calor seja removido de um ambiente à baixa temperatura e levado para outro de temperatura maior. Nesse processo, ora o trabalho é realizado sobre o fluido refrigerante, ora é ele que realiza trabalho sobre o meio. Esquemáticamente, as etapas de tais processos são representadas a seguir.



Nesse ciclo, ocorrem uma expansão adiabática e uma compressão adiabática, respectivamente, entre:

- a) 4 e 1; 2 e 3.
- b) 4 e 1; 1 e 2.
- c) 3 e 4; 1 e 2.
- d) 2 e 3; 3 e 4.

Resposta: [C]

46. (Ufsm 2015) Uma das maneiras de se obter sal de cozinha é a sua extração a partir de sítios subterrâneos. Para a realização de muitas das tarefas de mineração, são utilizadas máquinas térmicas, que podem funcionar, por exemplo, como motores para locomotivas, bombas de água e ar e refrigeradores. A respeito das propriedades termodinâmicas das máquinas térmicas, qual das alternativas é INCORRETA?

- a) O rendimento de uma máquina térmica funcionando como motor será máximo quando a maior parte da energia retirada da fonte quente for rejeitada, transferindo-se para a fonte fria.
- b) Uma máquina térmica funcionando como refrigerador transfere energia de uma fonte fria para uma fonte quente mediante realização de trabalho.
- c) Máquinas térmicas necessitam de duas fontes térmicas com temperaturas diferentes para operar.
- d) Dentre as consequências da segunda lei da termodinâmica, está a impossibilidade de se construir uma máquina térmica com rendimento de 100%.
- e) Todas as etapas de uma máquina térmica operando no ciclo de Carnot são reversíveis.

Resposta: [A]

47. (Enem 2ª aplicação 2014) As máquinas térmicas foram aprimoradas durante a primeira Revolução Industrial, iniciada na Inglaterra no século XVIII. O trabalho do engenheiro francês Nicolas Léonard Sadi Carnot, que notou a relação entre a eficiência da máquina a vapor e a diferença de temperatura entre o vapor e o ambiente externo, foi fundamental para esse aprimoramento.

A solução desenvolvida por Carnot para aumentar a eficiência da máquina a vapor foi

- a) reduzir o volume do recipiente sob pressão constante.
- b) aumentar o volume do recipiente e reduzir a pressão proporcionalmente.
- c) reduzir o volume do recipiente e a pressão proporcionalmente.
- d) reduzir a pressão dentro do recipiente e manter seu volume.
- e) aumentar a pressão dentro do recipiente e manter seu volume.

Resposta: [E]

48. (Epcar (Afa) 2012) Com relação às máquinas térmicas e a Segunda Lei da Termodinâmica, analise as proposições a seguir.

- I. Máquinas térmicas são dispositivos usados para converter energia mecânica em energia térmica com consequente realização de trabalho.
- II. O enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, proposto por Clausius, afirma que o calor não passa espontaneamente de um corpo frio para um corpo mais quente, a não ser forçado por um agente externo como é o caso do refrigerador.
- III. É possível construir uma máquina térmica que, operando em transformações cíclicas, tenha como único efeito transformar completamente em trabalho a energia térmica de uma fonte quente.
- IV. Nenhuma máquina térmica operando entre duas temperaturas fixadas pode ter rendimento maior que a máquina ideal de Carnot, operando entre essas mesmas temperaturas.

São corretas apenas

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

Resposta: [D]

49. (Uece 2009) Um aluno, estudando física térmica, fez as seguintes afirmações:

- () A variação da energia interna de um sistema em um processo termodinâmico é a diferença entre o trabalho realizado e o calor trocado com o meio.
- () O rendimento máximo de uma máquina térmica é 1.
- () A energia do universo sempre se mantém constante.
- () O calor sempre flui espontaneamente de um corpo quente para um corpo frio.

Classifique as afirmações anteriores como verdadeiras (V) ou falsas (F), baseando-se, somente, no enunciado da Segunda Lei da Termodinâmica, e assinale a opção que contém a sequência correta, de cima para baixo.

- a) V, F, V, F
- b) V, F, V, V
- c) F, V, V, F
- d) F, F, F, V

Resposta: [D]

50. (Enem PPL 2009) Considere a forma de funcionamento de um equipamento que utiliza um ciclo de transferência de calor de um ambiente interno para um ambiente externo. Um fluido, normalmente um gás, circula por um sistema fechado dentro do ambiente interno, retirando o calor desse ambiente devido a um processo de evaporação. O calor absorvido pelo fluido é levado para o condensador, que dissipa o calor conduzido pelo fluido para o ambiente externo. Esse fluido é, então, forçado por um compressor a circular novamente pelo sistema fechado, dando continuidade ao processo de esfriamento do ambiente interno.

KUGLER, Henrique. *Ciência Hoje*. v. 42, n. 252. p. 46-47, set. 2008 (adaptado).

No texto acima, descreve-se o funcionamento básico de um

- a) isqueiro.
- b) refrigerador.
- c) nebulizador.
- d) liquidificador.
- e) forno de micro-ondas.

Resposta: [B]

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

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

Resposta: [A]

52. (Uemg 2018) Ao conceber um ser cujas faculdades são tão aguçadas que ele consegue acompanhar cada molécula em seu curso, esse ser, cujos atributos são ainda essencialmente tão finitos quanto os nossos, seria capaz de fazer o que atualmente nos é impossível fazer. Consideramos que as moléculas em um recipiente cheio de ar, a uma temperatura uniforme, movem-se com velocidades que não são de modo algum uniformes. Suponhamos agora que tal recipiente é separado em duas porções, **A** e **B**, por meio de uma divisória na qual há um pequeno orifício, e que um ser, que pode ver as moléculas individuais, abre e fecha esse orifício, de forma a permitir que somente as moléculas mais rápidas passem de **A** para **B**, e somente as mais lentas passem de **B** para **A**. Ele irá, portanto, sem nenhum trabalho, elevar a temperatura de **B** e baixar a de **A**, contradizendo a 2ª lei da termodinâmica.

Fonte: <https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/download/635/296> (Adaptado).

O enunciado refere-se ao experimento mental intitulado

- a) Gato de Schrödinger.
- b) Matéria e energia escuras.
- c) Demônio de Maxwell.
- d) Paradoxo de Olbers.

Resposta: [C]

53. (Uece 2015) Em um motor de carro convencional a primeira transformação de energia em trabalho ocorre dentro do cilindro que aloja o pistão. De modo simplificado, pode-se entender esse sistema como um cilindro fechado contendo um êmbolo móvel, que é o pistão. Em um dado instante a mistura ar e combustível sofre combustão forçando os gases resultantes dessa queima a sofrerem expansão, movimentando o pistão ao longo do eixo do cilindro.

É correto afirmar que a energia térmica contida nos gases imediatamente após a combustão é

- a) parte transferida na forma de calor para o ambiente e parte convertida em energia cinética do pistão.
- b) totalmente transferida como calor para o ambiente.
- c) totalmente convertida em trabalho sobre o pistão.
- d) parte convertida em trabalho sobre o pistão e o restante convertida em energia cinética também do pistão.

Resposta: [A]

54. (Ita 2014) Pode-se associar a segunda lei da Termodinâmica a um princípio de degradação da energia.

Assinale a alternativa que melhor justifica esta associação.

- a) A energia se conserva sempre.
- b) O calor não flui espontaneamente de um corpo quente para outro frio.
- c) Uma máquina térmica operando em ciclo converte integralmente trabalho em calor.
- d) Todo sistema tende naturalmente para o estado de equilíbrio.
- e) É impossível converter calor totalmente em trabalho.

Resposta: [E]

55. (Ita 2018) No livro Teoria do Calor (1871), Maxwell, escreveu referindo-se a um recipiente cheio de ar:

“... iniciando com uma temperatura uniforme, vamos supor que um recipiente é dividido em duas partes por uma divisória na qual existe um pequeno orifício, e que um ser que pode ver as moléculas individualmente abre e fecha esse orifício de tal modo que permite somente a passagem de moléculas rápidas de **A** para **B** e somente as lentas de **B** para **A**. Assim, sem realização de trabalho, ele aumentará a temperatura de **B** e diminuirá a temperatura de **A** em contradição com...”.

Assinale a opção que melhor completa o texto de Maxwell.

- a) a primeira lei da termodinâmica.
- b) a segunda lei da termodinâmica.
- c) a lei zero da termodinâmica.
- d) o teorema da energia cinética.
- e) o conceito de temperatura.

Resposta: [B]