

TÉCNICO EM ELETROMECCÂNICA



MÓDULO II
SISTEMAS TÉRMICOS



2025 - INEPROTEC

Diretor Pedagógico	EDILVO DE SOUSA SANTOS
Diagramação	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Capa	MICHEL MARTINS NOGUEIRA
Elaboração	INEPROTEC

Direitos Autorais: É proibida a reprodução parcial ou total desta publicação, por qualquer forma ou meio, sem a prévia autorização do INEPROTEC, com exceção do teor das questões de concursos públicos que, por serem atos oficiais, não são protegidas como Direitos Autorais, na forma do Artigo 8º, IV, da Lei 9.610/1998. Referida vedação se estende às características gráficas da obra e sua editoração. A punição para a violação dos Direitos Autorais é crime previsto no Artigo 184 do Código Penal e as sanções civis às violações dos Direitos Autorais estão previstas nos Artigos 101 a 110 da Lei 9.610/1998.

Atualizações: A presente obra pode apresentar atualizações futuras. Esforçamo-nos ao máximo para entregar ao leitor uma obra com a melhor qualidade possível e sem erros técnicos ou de conteúdo. No entanto, nem sempre isso ocorre, seja por motivo de alteração de software, interpretação ou falhas de diagramação e revisão. Sendo assim, disponibilizamos em nosso site a seção mencionada (Atualizações), na qual relataremos, com a devida correção, os erros encontrados na obra e sua versão disponível. Solicitamos, outros sim, que o leitor faça a gentileza de colaborar com a perfeição da obra, comunicando eventual erro encontrado por meio de mensagem para contato@ineprotec.com.br.

VERSÃO 2.0 (01.2025)

Todos os direitos reservados à
Ineprotec - Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico Eireli
Quadra 101, Conjunto: 02, Lote: 01 - Sobreloja
Recanto das Emas - CEP: 72.600-102 - Brasília/DF
E-mail: contato@ineprotec.com.br
www.ineprotec.com.br

Sumário

ABERTURA

SOBRE A INSTITUIÇÃO

- Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente
- Missão
- Visão
- Valores

SOBRE O CURSO

- Perfil profissional de conclusão e suas habilidades
- Quesitos fundamentais para atuação
- Campo de atuação
- Sugestões para Especialização Técnica
- Sugestões para Cursos de Graduação

SOBRE O MATERIAL

- Divisão do Conteúdo
- Boxes

BASE TEÓRICA

INTRODUÇÃO

TERMODINÂMICA

- Leis Da Termodinâmica
- Mudanças de Fase
- Temperatura e Pressão
 - ✓ Temperatura
 - ✓ Pressão
- Lei dos Gases
 - ✓ Equação Geral dos Gases Perfeitos
 - ✓ Leis Individuais dos Gases
- Transmissão de Calor
 - ✓ Condução de Calor
 - ✓ Convecção de Calor
 - ✓ Radiação Térmica
- Poder Calorífico dos Combustíveis
 - ✓ Tipos de Poder Calorífico
 - ✓ Cálculo do Calor Liberado na Combustão

ISOLAMENTO TÉRMICO

- Aplicações do Isolamento Térmico
- Materiais Isolantes
- Dimensionamento e Perda de Calor

CALDEIRAS

- Tipos de Caldeiras
 - ✓ Caldeira Flamotubular
 - ✓ Caldeira Aquatubular
- Componentes da Linha de Vapor
- Dimensionamento e Eficiência da Caldeira
- Falhas Comuns e Cuidados Operacionais

FONTES DE ENERGIA

- Fontes de Energia Não Renováveis
- Fontes de Energia Renováveis

CICLO DE REFRIGERAÇÃO

- Componentes do Ciclo de Refrigeração
- Fluido Refrigerante
- Ciclo de Carnot e Ciclo Reverso de Carnot
- Componentes da Linha de Refrigeração
 - ✓ Compressor
 - ✓ Condensador
 - ✓ Dispositivo de Expansão
 - ✓ Evaporador

MANUTENÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS

- Análise de Falhas em Sistemas Térmicos
- Termografia e Diagnóstico Térmico
- Metodologias e Procedimentos de Manutenção
 - ✓ 1) Manutenção Corretiva
 - ✓ 2) Manutenção Preventiva
 - ✓ 3) Manutenção Preditiva
- Gestão de Resíduos Térmicos

SEGURANÇA NA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS

- Riscos em Sistemas Térmicos
- Normas de Segurança Aplicáveis
- Procedimentos de Segurança na Manutenção

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO

SÍNTESE DIRETA

MOMENTO QUIZ

GABARITO DO QUIZ

REFERÊNCIAS

Módulo II

SISTEMAS TÉRMICOS

Abertura

SOBRE A INSTITUIÇÃO

Educação Tecnológica, Inteligente e Eficiente

O Instituto de Ensino Profissionalizante e Técnico (INEPROTEC) é uma instituição de ensino que valoriza o poder da educação e seu potencial de transformação.

Nascemos da missão de levar educação de qualidade para realmente impactar a vida dos nossos alunos. Acreditamos muito que a educação é a chave para a mudança.

Nosso propósito parte do princípio de que a educação transforma vidas. Por isso, nossa base é a inovação que, aliada à educação, resulta na formação de alunos de grande expressividade e impacto para a sociedade. Aqui no INEPROTEC, o casamento entre tecnologia, didática e interatividade é realmente levado a sério e todos os dias otimizado para constante e contínua evolução.

Missão

A nossa missão é ser símbolo de qualidade, ser referência na área educacional presencial e a distância, oferecendo e proporcionando o acesso e permanência a cursos técnicos, desenvolvendo e potencializando o talento dos estudantes, tornando-os, assim, profissionais de sucesso e cidadãos responsáveis e capazes de atuar como agentes de mudança na sociedade.

Visão

O INEPROTEC visa ser um instituto de ensino profissionalizante e técnico com reconhecimento nacional, comprometido com a qualidade e excelência de seus cursos, traçando pontes para oportunidades de sucesso, tornando-se, assim, objeto de desejo para os estudantes.

Valores

Ciente das qualificações exigidas pelo mercado de trabalho, o INEPROTEC tem uma visão que prioriza a valorização de cursos essenciais e pouco ofertados para profissionais que buscam sempre a atualização e especialização em sua área de atuação.

SOBRE O CURSO

O curso TÉCNICO EM ELETROMECÂNICA pertence ao Eixo Tecnológico de CONTROLE E PROCESSOS INDUSTRIAIS.

Vejam algumas informações importantes sobre o curso TÉCNICO EM ELETROMECÂNICA relacionados ao **perfil profissional de conclusão e suas habilidades**, **quesitos fundamentais para atuação**, **campo de atuação** e, também algumas sugestões interessantes para continuação dos estudos optando por **Especializações Técnicas** e/ou **Cursos de Graduação**.

Perfil profissional de conclusão e suas habilidades

- Planejar, controlar e executar a instalação, a manutenção e a entrega técnica de máquinas e equipamentos eletromecânicos industriais, considerando as normas, os padrões e os requisitos técnicos de qualidade, saúde e segurança e de meio ambiente.
- Elaborar projetos de produtos relacionados a máquinas e equipamentos eletromecânicos especificando materiais para construção mecânica e elétrica por meio de técnicas de usinagem e soldagem.
- Realizar inspeção visual, dimensional e testes em sistemas, instrumentos, equipamentos eletromecânicos, pneumáticos e hidráulicos de máquinas.
- Reconhecer tecnologias inovadoras presentes no segmento visando a atender às transformações digitais na sociedade.

Quesitos fundamentais para atuação

- Conhecimentos e saberes relacionados aos processos de planejamento, produção e manutenção de equipamentos eletromecânicos de modo a assegurar a saúde e a segurança dos trabalhadores e dos usuários.
- Conhecimentos e saberes relacionados à sustentabilidade do processo produtivo, às técnicas e aos processos de produção, às normas técnicas, à liderança de equipes, à solução de problemas técnicos e trabalhistas e à gestão de conflitos.

Campo de atuação

- Indústrias com linhas de produção automatizadas, aeroespaciais, automobilística, metalmeccânica e plástico.

- Empresas de manutenção e reparos eletromecânicos, que atuam na instalação, manutenção, comercialização e utilização de equipamentos e sistemas eletromecânicos.

Sugestões para Especialização Técnica

- Especialização Técnica em Programação e Operação de Máquinas CNC.
- Especialização Técnica em Usinagem.
- Especialização Técnica em Desenho Assistido por Computador (CAD).
- Especialização Técnica em Manufatura Assistida por Computador (CAM).
- Especialização Técnica em Eficiência Energética em Edificações.
- Especialização Técnica em Eficiência Energética Industrial.
- Especialização Técnica em Energia Solar Fotovoltaica.
- Especialização Técnica em Energia Eólica.
- Especialização Técnica em Implantação e Comissionamento de Parques Eólicos.
- Especialização Técnica em Instalação Elétrica Predial de Baixa Tensão.
- Especialização Técnica em Biocombustíveis.
- Especialização Técnica em Biogás e Biometano.
- Especialização Técnica em Aproveitamento Energético de Biogás.

Sugestões para Cursos de Graduação

- Curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Eletrônica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Eletrotécnica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Manutenção Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.
- Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica.
- Curso Superior de Tecnologia em Processos Metalúrgicos.
- Bacharelado em Engenharia Eletrônica.
- Bacharelado em Engenharia Elétrica.
- Bacharelado em Engenharia de Automação e Controle.
- Bacharelado em Engenharia Mecatrônica.

- Bacharelado em Engenharia Mecânica.
- Bacharelado em Engenharia de Produção.
- Bacharelado em Engenharia Metalúrgica.

SOBRE O MATERIAL

Os nossos materiais de estudos são elaborados pensando no perfil de nossos cursistas, contendo uma estruturação simples e clara, possibilitando uma leitura dinâmica e com volume de informações e conteúdos considerados básicos, mas fundamentais e essenciais para o desenvolvimento de cada disciplina. Lembrando que nossas apostilas não são os únicos meios de estudo.

Elas, juntamente com as videoaulas e outras mídias complementares, compõem os vários recursos midiáticos que são disponibilizados por nossa Instituição, a fim de proporcionar subsídios suficientes a todos, no processo de ensino-aprendizagem durante o curso.

Divisão do Conteúdo

Este material está estruturado em três partes:

- 1) ABERTURA.
- 2) BASE TEÓRICA.
- 3) SESSÕES ESPECIAIS.

Parte 1 - ABERTURA

- Sobre a Instituição.
- Sobre o Curso.
- Sobre o Material.

Parte 2 – BASE TEÓRICA

- Conceitos.
- Observações.
- Exemplos.

Parte 3 – SESSÕES ESPECIAIS

- Mapa de Estudo.
- Síntese Direta.
- Momento Quiz.

Boxes

Além dessas três partes, no desenvolvimento da BASE TEÓRICA temos alguns BOXES interessantes, com intuito de tornar a leitura mais agradável, mesclando um estudo mais profundo e teórico com pausas pontuais atrativas, deixando a leitura do todo “mais leve” e interativa.

Os BOXES são:

- **VOCÊ SABIA?**



São informações complementares contextualizadas com a base teórica, contendo curiosidades que despertam a imaginação e incentivam a pesquisa.

- **PAUSA PARA REFLETIR...**



Um momento especial para descansar a mente do estudo teórico, conduzindo o cursista a levar seus pensamentos para uma frase, mensagem ou indagação subjetiva que leve a uma reflexão pessoal e motivacional para o seu cotidiano.

- **SE LIGA NA CHARADA!**



Se trata de um momento descontraído da leitura, com a apresentação de enigmas e indagações divertidas que favorecem não só a interação, mas também o pensamento e raciocínio lógico, podendo ser visto como um desafio para o leitor.

Base Teórica

INTRODUÇÃO

Os sistemas térmicos desempenham um papel essencial em diversas áreas da engenharia, em especial na eletrotécnica, onde estão presentes em processos de geração, transferência e controle de energia. Compreender os fundamentos térmicos é indispensável para garantir a eficiência de equipamentos, a segurança de instalações e a sustentabilidade de processos industriais.

A eletrotécnica moderna está cada vez mais integrada com sistemas térmicos, seja no uso de **caldeiras para geração de vapor**, nos **ciclos de refrigeração industrial**, na **aplicação de isolamento térmico** ou na **manutenção preventiva com uso de termografia**. Dominar esse conhecimento permite ao profissional tomar decisões mais precisas sobre operação, dimensionamento e conservação de sistemas.

Esta apostila foi elaborada com o objetivo de oferecer uma base sólida sobre os princípios físicos, equipamentos, componentes e práticas de manutenção relacionados aos sistemas térmicos, sempre com foco em suas aplicações na área eletrotécnica. Ao longo do material, você encontrará fórmulas, aplicações práticas, exemplos destacados e observações relevantes para o campo técnico. Os temas abordados incluem:

- ✓ Leis da termodinâmica e transmissão de calor.
- ✓ Propriedades térmicas de materiais e combustíveis;
- ✓ Equipamentos como caldeiras e sistemas de refrigeração;
- ✓ Dimensionamento de linhas térmicas e isolamentos;
- ✓ Análise de falhas, manutenção e segurança.

O objetivo é proporcionar um entendimento técnico e prático, preparando o leitor para atuar de forma eficiente em instalações industriais, sistemas prediais e unidades de geração térmica.



VOCÊ SABIA?

A energia térmica do corpo humano pode aquecer um cômodo pequeno.

Uma única pessoa em repouso dissipa cerca de **100 watts de calor** — o suficiente para manter uma pequena estufa aquecida. Esse dado é tão relevante que sistemas de climatização predial consideram o número de ocupantes no cálculo térmico.

TERMODINÂMICA

A termodinâmica é a ciência que estuda as relações entre calor, trabalho e energia. Seus princípios são aplicados em motores térmicos, sistemas de refrigeração, caldeiras, processos industriais e na operação eficiente de diversos equipamentos eletromecânicos. Entender como a energia térmica se comporta é essencial para dimensionar e manter sistemas que envolvem aquecimento, resfriamento, compressão e expansão de fluidos.

Leis Da Termodinâmica

As leis da termodinâmica definem as bases do comportamento da energia térmica. São quatro ao todo, mas as três principais para aplicações industriais e eletrotécnicas são:

- **Primeira Lei da Termodinâmica (Lei da Conservação da Energia):** A energia não pode ser criada nem destruída, apenas transformada. Em termos térmicos, ela relaciona o calor fornecido a um sistema com o trabalho realizado e a variação da energia interna.

Fórmula:

$$Q = \Delta U + W$$

Onde:

- ❖ Q = calor fornecido ao sistema (J)
- ❖ ΔU = variação da energia interna (J)
- ❖ W = trabalho realizado pelo sistema (J)

- **Segunda Lei da Termodinâmica:** Define a direção dos processos naturais. O calor não flui espontaneamente de um corpo frio para um corpo quente. Essa lei introduz o conceito de **entropia**, indicando que os sistemas tendem à desordem.
- **Terceira Lei da Termodinâmica:** Estabelece que, ao se atingir o **zero absoluto** (0 K), a entropia de um sistema puro e cristalino é mínima (teoricamente zero).

OBSERVAÇÕES:

A Primeira Lei é essencial para o dimensionamento de caldeiras e análise de eficiência térmica em motores e ciclos de refrigeração. Já a Segunda Lei está diretamente ligada ao rendimento dos sistemas, definindo os limites do que é possível obter em termos de aproveitamento de calor.

Mudanças de Fase

As mudanças de fase ocorrem quando uma substância passa de um estado físico para outro, como do estado sólido para o líquido ou do líquido para o gasoso. Essas transformações envolvem trocas de calor, mas **não resultam em variações de temperatura** durante a transição.

As principais mudanças de fase são:

- **Fusão:** passagem do estado sólido para o líquido (absorve calor).
- **Solidificação:** líquido para sólido (libera calor).
- **Vaporização:** líquido para gasoso, podendo ocorrer de três formas: ✓ evaporação (superfície),
✓ ebulição (todo o líquido),
✓ calefação (vapor instantâneo).
- **Condensação:** gás para líquido (libera calor).
- **Sublimação:** sólido para gás sem passar pelo estado líquido.
- **Ressublimação:** gás para sólido diretamente.

Fórmulas:

Durante uma mudança de fase, o calor envolvido é calculado por:

$$Q = m \cdot L$$

Onde:

- ❖ Q = calor latente (J)
- ❖ m = massa da substância (kg)
- ❖ L = calor latente específico (J/kg)
- ❖ Lf: calor latente de fusão
- ❖ Lv: calor latente de vaporização.

OBSERVAÇÕES:

Nos sistemas térmicos industriais, como caldeiras e evaporadores, a compreensão das mudanças de fase é essencial para prever a eficiência energética e o tempo de operação. O dimensionamento adequado de trocadores de calor depende diretamente dessa análise.

Temperatura e Pressão

A **temperatura** e a **pressão** são duas das variáveis mais importantes no estudo da termodinâmica. Elas estão presentes em praticamente todos os sistemas térmicos e influenciam diretamente o desempenho de caldeiras, condensadores, evaporadores, trocadores de calor e linhas de vapor. Para garantir o funcionamento adequado de um sistema, é fundamental compreender os princípios físicos dessas grandezas, como se comportam em diferentes condições e como devem ser medidas com precisão.

Temperatura

A temperatura representa o grau de agitação térmica das moléculas de uma substância. Quanto maior a temperatura, maior é a energia cinética média das partículas do sistema. Ela é determinante para analisar o comportamento de fluidos térmicos, prever mudanças de fase e controlar processos de aquecimento e resfriamento.

Escala Termométricas

As escalas termométricas são sistemas padronizados usados para quantificar e expressar a temperatura. Cada escala estabelece pontos fixos de referência e subdivisões próprias, o que permite realizar medições e comparações de forma prática e objetiva.

As principais escalas são:

- ✓ **Celsius (°C):** Baseada nos pontos de fusão (0 °C) e ebulição (100 °C) da água ao nível do mar. Muito utilizada em medições técnicas e laboratoriais.
- ✓ **Kelvin (K):** Escala absoluta do Sistema Internacional (SI), iniciando no zero absoluto (0 K), ponto em que cessa completamente o movimento molecular. Usada em cálculos científicos de termodinâmica.
- ✓ **Fahrenheit (°F):** Escala comum nos Estados Unidos e em sistemas anglo-saxões. Define 32 °F como ponto de fusão da água e 212 °F como ponto de ebulição.

Conversões entre escalas:

$$K = ^\circ C + 273,15; ^\circ F = 9/5 \cdot ^\circ C + 32$$

Instrumentos de Medição de Temperatura

Para garantir controle e monitoramento térmico precisos em processos industriais, diversos instrumentos são utilizados.

A escolha depende da faixa de temperatura, da necessidade de contato físico com o objeto e do nível de precisão exigido:

- ✓ **Termômetros de líquido (mercúrio, álcool colorido):** Usados em medições convencionais, com base na dilatação térmica de líquidos.
- ✓ **Termômetros bimetalícos:** Aplicados em processos industriais, utilizam a dilatação diferencial de metais.
- ✓ **Termopares e termistores:** Transformam variações de temperatura em sinais elétricos. São ideais para sistemas automatizados.

- ✓ **Pirômetros:** Fazem medições por radiação térmica, sem contato direto com o objeto. Usados em fornos e peças metálicas aquecidas.

Pressão

A pressão é a força exercida por unidade de área sobre a superfície de contato de um fluido. Essa grandeza influencia diretamente o comportamento dos gases e vapores em sistemas térmicos. Variações de pressão afetam temperaturas de ebulição, taxas de transferência de calor e o funcionamento de equipamentos sob regime pressurizado.

Fórmula fundamental:

$$P = \frac{F}{A}$$

Onde:

- ❖ P = pressão (Pa)
- ❖ F = força aplicada (N)
- ❖ A = área (m²)

Unidades Comuns de Pressão

A pressão pode ser expressa em diversas unidades, dependendo do sistema de medição adotado e da aplicação técnica.

Em sistemas térmicos e industriais, é comum a conversão entre unidades:

- ✓ **Pascal (Pa):** Unidade do Sistema Internacional. Equivale a 1 N/m². Utilizada em cálculos e projetos técnicos.
- ✓ **Bar:** Muito utilizada em manômetros industriais. 1 bar = 100.000 Pa.
- ✓ **atm (atmosfera):** Equivale à pressão atmosférica ao nível do mar: 1 atm = 101.325 Pa.
- ✓ **mmHg (torr):** Utilizada em medições de pressão de vapor e em sistemas de vácuo. 1 atm ≈ 760 mmHg.

- ✓ **psi:** Unidade do sistema imperial (pound per square inch), muito comum em catálogos de equipamentos industriais.

Classificações de Pressão

A pressão pode ser classificada com base em sua referência de medição. Compreender essas classificações é essencial para interpretar corretamente leituras em sistemas pressurizados:

- ✓ **Pressão atmosférica:** É a pressão exercida pelo ar atmosférico sobre os corpos, medida ao nível do mar. Valor padrão: 1 atm.
- ✓ **Pressão absoluta:** Considera a pressão total em um sistema, somando-se a pressão atmosférica e a pressão manométrica.
- ✓ **Pressão manométrica:** É a diferença entre a pressão absoluta e a atmosférica. É o valor geralmente indicado por manômetros comuns.
- ✓ **Pressão de vapor:** Refere-se à pressão exercida por um vapor em equilíbrio com seu líquido correspondente. Essa medida é importante para prever quando ocorrerá a ebulição de um fluido.

Instrumentos de Medição de Pressão

A medição da pressão em sistemas térmicos é essencial para o controle operacional e para garantir a segurança das instalações.

Abaixo estão os principais dispositivos utilizados:

- ✓ **Manômetros:** Indicadores analógicos ou digitais que mostram a pressão manométrica. Podem operar com diferentes fluidos e escalas.
- ✓ **Vacúômetros:** Instrumentos específicos para medir pressões inferiores à atmosférica (vácuo parcial).
- ✓ **Pressostatos:** Dispositivos automáticos que atuam em sistemas elétricos com base em limites de pressão previamente ajustados.
- ✓ **Transdutores de pressão:** Equipamentos eletrônicos que convertem sinais de pressão em sinais elétricos. São usados em sistemas automatizados e com CLPs.

EXEMPLO:

Um cilindro contém vapor que exerce uma força de 150.000 N sobre uma área de 0,15 m². Qual é a pressão interna no sistema?

$$P = \frac{F}{A} = \frac{150.000}{0,15} = 1.000.000 \text{ Pa} = 10 \text{ bar}$$

Lei dos Gases

Os gases desempenham papel central nos sistemas térmicos, especialmente na operação de caldeiras, turbinas, compressores e sistemas de refrigeração. Compreender o comportamento dos gases permite prever variações de temperatura, pressão e volume durante processos como compressão, expansão e troca térmica.

A **lei dos gases** reúne um conjunto de relações que descrevem o comportamento de gases ideais em condições controladas. Embora os gases reais apresentem pequenas diferenças, essas leis são amplamente aplicáveis e fundamentais em cálculos de engenharia térmica.

Equação Geral dos Gases Perfeitos

A equação geral dos gases ideais relaciona três variáveis: **pressão (P)**, **volume (V)** e **temperatura absoluta (T)**.

Sendo assim temos:

$$P \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

Onde:

- ❖ P: pressão absoluta (Pa)
- ❖ V: volume (m³)
- ❖ n: número de mols do gás

- ❖ R: constante universal dos gases ($R=8,314 \text{ J/mol}\cdot\text{K}$)
- ❖ T: temperatura absoluta (K)

Essa equação é utilizada para prever o comportamento de gases em câmaras de expansão, cilindros, tubulações e vasos de pressão. Quando o número de mols é constante, essa fórmula se reduz à **equação de Clapeyron**, ou **equação combinada dos gases**:

$$\frac{P_1 \cdot V_1}{T_1} = \frac{P_2 \cdot V_2}{T_2}$$

Leis Individuais dos Gases

Cada uma das variáveis pode ser estudada isoladamente, levando a três leis clássicas:

- **Lei de Boyle (pressão × volume):** Se a temperatura for constante, a pressão é inversamente proporcional ao volume.

Observe sua fórmula:

$$P \cdot V = \text{constante} \quad (T \text{ constante})$$

- **Lei de Charles (volume × temperatura):** O volume de um gás é diretamente proporcional à sua temperatura (em Kelvin), com pressão constante.

Observe sua fórmula:

$$\frac{V}{T} = \text{constante} \quad (P \text{ constante})$$

- **Lei de Gay-Lussac (pressão × temperatura):** A pressão de um gás aumenta proporcionalmente à sua temperatura, com volume constante.

Observe sua fórmula:

$$\frac{P}{T} = \text{constante} \quad (V \text{ constante})$$

OBSERVAÇÕES:

Unidades mais comuns:

- ✓ Pressão: Pa, bar, atm ou psi
- ✓ Volume: m³, L (1 m³ = 1000 L)
- ✓ Temperatura: Kelvin (K)

Transmissão de Calor

Nos sistemas térmicos, o calor precisa ser transferido de um corpo para outro para que ocorra aquecimento, resfriamento, geração de vapor ou troca térmica. Esse processo é chamado de **transmissão de calor**, e sua eficiência influencia diretamente o desempenho de caldeiras, evaporadores, condensadores, sistemas de climatização e isolamento térmico.

A transferência de calor ocorre sempre do corpo com **maior temperatura para o de menor temperatura**, podendo ocorrer de três formas principais:

- 1) Condução
- 2) Convecção
- 3) Radiação

Condução de Calor

A **condução térmica** é a forma de transmissão de calor por contato direto entre as partículas de um corpo, sem o transporte de matéria. Ocorre principalmente em sólidos.]

EXEMPLOS:

- ✓ A estrutura metálica de uma caldeira aquece a água internamente.
- ✓ A dissipação de calor por contato em resistências elétricas.

Fórmula da Lei de Fourier (condução unidimensional):

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t}{L}$$

Onde:

- ❖ Q: quantidade de calor (J)
- ❖ k: condutividade térmica do material (W/m·K)
- ❖ A: área da seção de contato (m²)
- ❖ ΔT: diferença de temperatura (K ou °C)
- ❖ t: tempo de transmissão (s)
- ❖ L: espessura do material (m)

Convecção de Calor

A **convecção térmica** ocorre com o movimento de fluidos (líquidos ou gases). O calor é transportado pela movimentação das partículas do fluido, que se deslocam devido à diferença de densidade provocada pela variação de temperatura.

Tipos de convecção:

- ✓ **Natural:** provocada pela diferença de densidade (ex: ar quente subindo).
- ✓ **Forçada:** provocada por ventiladores, bombas ou agitadores (ex: resfriadores de transformadores).

Fórmula da Lei de Newton do resfriamento:

$$Q = h \cdot A \cdot \Delta T \cdot t$$

Onde:

- ❖ h: coeficiente de convecção térmica (W/m²·K)
- ❖ A: área de contato com o fluido (m²)
- ❖ ΔT: diferença de temperatura (K ou °C)

- ❖ t: tempo de transferência (s)

Radiação Térmica

A **radiação térmica** é a transmissão de calor por meio de ondas eletromagnéticas, **sem necessidade de contato ou meio material**. Todos os corpos emitem radiação de acordo com sua temperatura. Essa forma de transferência é dominante em altas temperaturas.

Fórmula da Lei de Stefan-Boltzmann:

$$Q = \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T^4 - T_0^4) \cdot t$$

Onde:

- ❖ ε : emissividade da superfície (0 a 1)
- ❖ σ : constante de Stefan-Boltzmann = $5,67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$
- ❖ A: área da superfície (m^2)
- ❖ T, T_0 : temperaturas da superfície e do ambiente (K)
- ❖ t: tempo (s)

Poder Calorífico dos Combustíveis

O **poder calorífico** representa a **quantidade de energia térmica liberada** pela combustão completa de uma determinada massa ou volume de combustível. É um parâmetro fundamental para o dimensionamento de caldeiras, fornos industriais, motores térmicos e outros sistemas de geração de calor.

Na eletrotécnica, o uso de combustíveis pode estar associado a sistemas de **aquecimento industrial**, **geradores térmicos**, **trocadores de calor** e **equipamentos de backup energético** (como geradores a óleo diesel ou gás natural). O conhecimento do poder calorífico permite calcular com precisão o rendimento energético e estimar o consumo de combustível.

Tipos de Poder Calorífico

Existem duas classificações principais:

- ✓ **Poder Calorífico Superior (PCS):** É o total de energia liberada na queima do combustível, **incluindo o calor latente do vapor d'água** formado na reação de combustão. Supõe que a água dos produtos da combustão **condensa** e libera esse calor.
- ✓ **Poder Calorífico Inferior (PCI):** É o valor mais utilizado em projetos térmicos. Desconsidera o calor do vapor d'água presente nos gases de exaustão. Supõe que esse vapor **não condensa** e, portanto, o calor latente não é recuperado.

Relação entre eles:

$$PCI = PCS - (m_{H_2O} \cdot L_v)$$

Combustível	PCI (kcal/kg ou kcal/m³)	Tipo
Carvão mineral	6.500 – 7.500 kcal/kg	Sólido
Lenha seca	3.000 – 4.000 kcal/kg	Sólido
Óleo diesel	10.200 kcal/kg	Líquido
Gás natural	8.500 kcal/m³	Gasoso
GLP (Gás de cozinha)	11.000 kcal/kg	Gás liquefeito
Etanol	6.900 kcal/kg	Líquido

Tabela 1: Poder Calorífico Médio de Combustíveis Comuns.

Cálculo do Calor Liberado na Combustão

Para dimensionar sistemas térmicos ou estimar o rendimento de um processo que utiliza combustível (como uma caldeira ou gerador térmico), é necessário calcular **quanto calor será efetivamente liberado** durante a queima.

A equação utilizada é:

$$Q = m \cdot PCI$$

Onde:

- ❖ Q: quantidade total de calor liberado (em kcal, MJ ou outra unidade)
- ❖ m: massa (em kg) ou volume (em m³) do combustível consumido
- ❖ PCI: poder calorífico inferior do combustível (em kcal/kg ou kcal/m³)

ISOLAMENTO TÉRMICO

O **isolamento térmico** é uma técnica utilizada para **reduzir a transferência de calor** entre um corpo ou sistema e o ambiente externo. Nos sistemas térmicos industriais, como caldeiras, dutos de vapor, tanques e fornos, o isolamento é essencial para **aumentar a eficiência energética, evitar perdas de calor, proteger operadores** contra queimaduras e **garantir estabilidade operacional**.

Aplicações do Isolamento Térmico

O isolamento térmico é amplamente utilizado na indústria e em sistemas eletromecânicos com objetivos diversos:

- ✓ **Redução de perdas térmicas** em linhas de vapor e condensado.
- ✓ **Melhoria da eficiência energética** em caldeiras e fornos.
- ✓ **Proteção de equipamentos sensíveis** ao calor (painéis elétricos, cabos, sensores).
- ✓ **Segurança ocupacional**, evitando contato direto com superfícies superaquecidas.
- ✓ **Controle de temperatura** em ambientes climatizados ou refrigerados.
- ✓ **Prevenção da condensação** em linhas frias (como tubulações de refrigeração).

Materiais Isolantes

Os materiais utilizados no isolamento térmico devem apresentar **baixa condutividade térmica**, resistência ao calor e, em alguns casos, também à umidade, corrosão e agentes químicos.

Material	Tipo	Faixa de aplicação
Lã de vidro	Fibroso	Tubulações, dutos, paredes de caldeiras
Lã de rocha	Fibroso	Alta resistência térmica e acústica
Espuma de poliuretano	Celular	Isolamento de tanques e câmaras frigoríficas
Isopor (EPS)	Celular	Baixas temperaturas e refrigeração
Aerogel	Nanoporoso	Altíssima eficiência, custo elevado
Cimento refratário	Refratário	Superfícies expostas a altas temperaturas
Mantas cerâmicas	Fibroso	Fornos e caldeiras de alta temperatura

Tabela 2: Lista de materiais com suas faixas de aplicações.

Critérios de escolha do material isolante:

- ✓ Faixa de temperatura de operação.
- ✓ Exposição à umidade e agentes corrosivos.
- ✓ Resistência mecânica e facilidade de aplicação.
- ✓ Custo-benefício.

Dimensionamento e Perda de Calor

O correto dimensionamento da espessura e do tipo de material isolante é fundamental para minimizar as **perdas térmicas** e maximizar o **rendimento energético** do sistema.

Fórmula da perda de calor por condução (Lei de Fourier):

$$Q = \frac{k \cdot A \cdot \Delta T \cdot t}{L}$$

Onde:

- ❖ Q: quantidade de calor transferido (J)

- ❖ k : condutividade térmica do material ($\text{W/m}\cdot\text{K}$)
- ❖ A : área superficial do isolamento (m^2)
- ❖ ΔT : diferença de temperatura entre os lados isolados (K ou $^{\circ}\text{C}$)
- ❖ t : tempo de operação (s)
- ❖ L : espessura da camada isolante (m)

OBSERVAÇÕES:

Quanto maior a espessura do isolamento (L) e menor a condutividade térmica (k), menor será a perda de calor.

**SE LIGA NA CHARADA!**PERGUNTA:

O que o compressor disse para o evaporador no fim do expediente?

RESPOSTA:

"Tô sob pressão, preciso esfriar a cabeça!"

CALDEIRAS

As **caldeiras** são equipamentos térmicos utilizados para **gerar vapor ou água quente** por meio da transferência de calor de uma fonte de combustão para um fluido. São essenciais em diversos processos industriais, sendo frequentemente integradas a sistemas eletromecânicos para aquecimento, geração de energia ou acionamento de turbinas e motores térmicos.

O vapor gerado pelas caldeiras pode ser usado para movimentar turbinas, aquecer fluidos em trocadores de calor, esterilizar equipamentos, ou atuar em sistemas de climatização e aquecimento predial.

Tipos de Caldeiras

O tipo de caldeira ideal depende da aplicação, do espaço disponível, da pressão de operação desejada e do tipo de combustível utilizado.

Os dois principais tipos construtivos são:

- 1) Caldeira Flamotubular.
- 2) Caldeira Aquatubular.

Caldeira Flamotubular

- ✓ A chama e os gases de combustão passam por dentro de tubos imersos na água.
- ✓ A água é aquecida ao redor dos tubos.
- ✓ Ideal para baixas e médias pressões.
- ✓ Construção mais simples e custo inicial mais baixo.

Características

- Menor eficiência térmica em comparação às aquatubulares.
- Mais indicadas para processos com consumo de vapor moderado.
- Exigem maior volume de água armazenada.

Caldeira Aquatubular

- ✓ A água circula no interior dos tubos e os gases quentes da combustão passam ao redor deles.
- ✓ Opera sob altas pressões e altas temperaturas.
- ✓ Utilizadas em processos industriais intensivos e em geração de energia elétrica.

Características

- Alta eficiência térmica
- Menor volume de água, mas resposta térmica mais rápida
- Exige maior controle de operação e qualidade da água

Componentes da Linha de Vapor

A linha de vapor conecta a caldeira aos pontos de consumo, sendo composta por dispositivos que regulam, controlam e protegem o sistema.

Os principais componentes são:

- ✓ **Válvula de segurança:** impede que a pressão ultrapasse os limites seguros, liberando vapor automaticamente.
- ✓ **Manômetro:** instrumento que indica a pressão interna da caldeira.
- ✓ **Purgador de vapor:** remove condensado sem liberar vapor útil, garantindo eficiência.
- ✓ **Válvula redutora de pressão:** ajusta a pressão do vapor para níveis adequados nos pontos de uso.
- ✓ **Separador de umidade:** retém gotas de água arrastadas pelo vapor, melhorando a qualidade do fluido.
- ✓ **Indicador de nível:** mostra o volume de água presente na caldeira, evitando funcionamento a seco.

Dimensionamento e Eficiência da Caldeira

O dimensionamento adequado da caldeira considera o consumo de vapor do processo, o tipo de combustível, a temperatura e a pressão de operação.

A capacidade de uma caldeira geralmente é expressa em:

- ✓ kg/h de vapor gerado.
- ✓ calorias/hora ou kcal/h.
- ✓ potência térmica (kW ou MW térmicos).

Rendimento térmico (η):

$$\eta = \frac{Q_{vapor}}{Q_{combustível}} \cdot 100$$

- ❖ Q_{vapor} : energia útil gerada pelo vapor
- ❖ $Q_{Combustível}$: energia liberada pela combustão

Falhas Comuns e Cuidados Operacionais

Caldeiras exigem manutenção e monitoramento contínuo para evitar falhas, que podem causar perdas de rendimento ou acidentes graves.

Entre os problemas mais comuns estão:

- ✓ Formação de incrustações nos tubos (reduz transferência de calor).
- ✓ Corrosão interna e externa (degrada o equipamento).
- ✓ Golpe de aríete na linha de condensado.
- ✓ Vazamentos de vapor ou combustível.
- ✓ Funcionamento a seco (risco de explosão).

Boas práticas incluem:

- ✓ Análise frequente da água de alimentação (controle de dureza e pH).
- ✓ Inspeção periódica dos dispositivos de segurança.
- ✓ Testes hidrostáticos e controle de purga.
- ✓ Monitoramento de eficiência com analisadores de gases.



VOCÊ SABIA?

A caldeira mais antiga do mundo ainda em operação é do século XIX.

Na Inglaterra, existe uma caldeira flamotubular instalada em 1860 que, com manutenção adequada, ainda é usada em demonstrações educacionais e testes de pressão. Isso demonstra a durabilidade dos equipamentos térmicos quando bem conservados.

FONTES DE ENERGIA

As fontes de energia são os **recursos utilizados para gerar calor, movimento ou eletricidade**, sendo fundamentais para o funcionamento de sistemas térmicos e

eletromecânicos. A escolha da fonte energética influencia diretamente o rendimento dos processos, o custo operacional, o impacto ambiental e a viabilidade técnica do sistema.

Em sistemas térmicos aplicados à eletrotécnica, as fontes de energia são utilizadas para **acionar caldeiras, aquecer fluidos, gerar vapor, refrigerar ambientes, alimentar motores térmicos** e outras finalidades. Elas podem ser classificadas em **renováveis e não renováveis**, conforme sua capacidade de reposição na natureza.

Fontes de Energia Não Renováveis

São aquelas que **existem em quantidades finitas na natureza** e não se regeneram em escalas de tempo humanas. São amplamente utilizadas na indústria, por sua alta densidade energética e facilidade de transporte e armazenamento.

Principais Fontes:

- ✓ **Carvão mineral:** Utilizado em caldeiras industriais e usinas termelétricas. Possui alto poder calorífico, mas grande impacto ambiental.
- ✓ **Petróleo e derivados (óleo diesel, óleo BPF):** Aplicado em caldeiras, fornos e geradores térmicos. Boa eficiência, mas com emissão elevada de poluentes.
- ✓ **Gás natural:** Mais limpo que o óleo, com combustão eficiente e aplicação em queimadores industriais, caldeiras, turbinas a gás e sistemas combinados.
- ✓ **Energia nuclear (urânio enriquecido):** Utilizada em usinas termonucleares para gerar vapor em grandes quantidades, com alta eficiência, porém com alto custo e riscos envolvidos.

Fontes de Energia Renováveis

São aquelas que **se regeneram naturalmente** e possuem menor impacto ambiental. Estão em expansão como alternativa sustentável para os sistemas térmicos e elétricos.

Principais Fontes:

- ✓ **Biomassa:** Utiliza resíduos agrícolas, cavacos de madeira, bagaço de cana e outros materiais orgânicos. Amplamente usada em caldeiras de indústrias alimentícias e sucroalcooleiras.
- ✓ **Lenha e carvão vegetal:** Fontes tradicionais, ainda presentes em fornos e caldeiras de menor porte.
- ✓ **Energia solar térmica:** Utiliza coletores solares para aquecimento de água em residências, piscinas e sistemas de apoio a caldeiras.
- ✓ **Energia geotérmica:** Aproveita o calor do interior da Terra, aplicável em regiões geologicamente favoráveis.

Fonte	Renovável?	Aplicações Térmicas	Impacto Ambiental	Eficiência
Óleo diesel	Não	Caldeiras, geradores	Alto (CO ₂ , NO _x , SO ₂)	Alta
Gás natural	Não	Queimadores, turbinas	Médio	Alta
Biomassa	Sim	Caldeiras industriais	Baixo a médio	Média
Energia solar térmica	Sim	Aquecedores, pré-aquecimento	Mínimo	Média
Carvão mineral	Não	Termelétricas, fornos	Muito alto	Média

Tabela 3: Comparação das Fontes de Energia.



SE LIGA NA CHARADA!

PERGUNTA:

Por que a caldeira terminou com o queimador?

RESPOSTA:

Porque ele vivia esquentando a cabeça dela!

CICLO DE REFRIGERAÇÃO

O **ciclo de refrigeração** é um processo termodinâmico utilizado para **remover calor de um ambiente ou substância** e transferi-lo para outro local. Ele é fundamental em sistemas de climatização, câmaras frigoríficas, condicionadores de ar e processos industriais de resfriamento.

A base desse ciclo é o **princípio da termodinâmica reversa**, onde, por meio de trabalho mecânico, um fluido refrigerante é forçado a circular por diferentes estados de pressão e temperatura, absorvendo e liberando calor de maneira controlada.

Componentes do Ciclo de Refrigeração

O ciclo de refrigeração por compressão de vapor é o mais utilizado na indústria.

Ele é composto por quatro elementos principais:

- 1) Compressor.
- 2) Condensador.
- 3) Dispositivo de Expansão.
- 4) Evaporador.

Compressor

- Responsável por **aspirar o fluido refrigerante** em baixa pressão e temperatura (vapor) do evaporador e **comprimir** esse vapor para alta pressão e temperatura.
- Fornece **energia mecânica** ao ciclo.

Condensador

- Local onde o refrigerante em alta pressão e temperatura **libera calor** para o meio externo e se condensa, passando do estado gasoso para o **líquido saturado**.
- Pode ser refrigerado a ar (ventiladores) ou água (torres de resfriamento).

Dispositivo de Expansão

- Controla a **passagem do líquido refrigerante** para o evaporador, reduzindo sua pressão e temperatura.
- Pode ser uma **válvula de expansão termostática**, um **tubo capilar** ou um **orifício calibrado**.

Evaporador

- O refrigerante, agora em baixa pressão e temperatura, **absorve calor do ambiente interno** e se vaporiza.
- É o ponto onde ocorre o **resfriamento real** do fluido ou do ar que será climatizado.

Funcionamento do Ciclo:

1. O **compressor** suga vapor frio e o comprime.
2. O **condensador** rejeita calor e liquefaz o refrigerante.
3. O **dispositivo de expansão** reduz a pressão do líquido.
4. O **evaporador** absorve calor do ambiente, resfriando-o.
5. O ciclo se reinicia continuamente.

Fluido Refrigerante

O **fluido refrigerante** é a substância responsável por transferir calor no ciclo.

Ele deve ter:

- ✓ Baixo ponto de ebulição.
- ✓ Alta capacidade de absorção de calor (entalpia de vaporização).
- ✓ Estabilidade térmica e química.
- ✓ Baixa toxicidade e inflamabilidade.
- ✓ Baixo impacto ambiental (baixo GWP e ODP).

Fluido	Tipo	Aplicações
R-134a	HFC	Refrigeração doméstica, veículos

R-410A	HFC	Ar-condicionado split e VRF
R-744 (CO ₂)	Natura I	Câmaras frias, supermercados
R-600a (Isobutano)	Natura I	Geladeiras domésticas
Amoníaco (R-717)	Natura I	Indústria frigorífica (alta eficiência, tóxico)

Tabela 4: Alguns fluidos refrigerantes.

Ciclo de Carnot e Ciclo Reverso de Carnot

O **Ciclo de Carnot Reverso** é um modelo teórico que representa o ciclo de refrigeração ideal, com máxima eficiência possível entre duas temperaturas.

Eficiência (Coeficiente de Performance - COP):

$$COP_{ref} = \frac{Q_L}{W} = \frac{T_L}{T_H - T_L}$$

Onde:

- ❖ Q_L : calor retirado do ambiente refrigerado
- ❖ W : trabalho mecânico fornecido (compressor)
- ❖ T_L : temperatura da fonte fria (K)
- ❖ T_H : temperatura da fonte quente (K)

Na prática, os ciclos reais apresentam perdas térmicas, atrito e irreversibilidades, mas o modelo de Carnot serve como referência teórica de desempenho.

Componentes da Linha de Refrigeração

Além dos quatro principais, o sistema de refrigeração pode conter:

- ✓ **Acumuladores de sucção:** armazenam excesso de refrigerante para evitar retorno líquido ao compressor.

- ✓ **Filtros secadores:** removem umidade e impurezas.
- ✓ **Pressostatos:** controlam pressões de operação e desligam o sistema em situações anormais.
- ✓ **Visores de líquido:** permitem verificar o estado do refrigerante.
- ✓ **Separadores de óleo:** evitam que o óleo do compressor circule pelo sistema.



VOCÊ SABIA?

O ciclo de refrigeração moderno foi inspirado em uma máquina de cervejaria.

Carl von Linde, engenheiro alemão, criou em 1876 o primeiro sistema de refrigeração industrial viável para conservar cerveja. Esse conceito foi o precursor dos sistemas de ar-condicionado e câmaras frias utilizados hoje em todo o mundo.

MANUTENÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS

A manutenção de sistemas térmicos é fundamental para garantir o funcionamento seguro, eficiente e contínuo de equipamentos como **caldeiras, compressores, condensadores, evaporadores e linhas de vapor ou refrigeração**. Além de evitar falhas e paradas inesperadas, uma manutenção bem planejada prolonga a vida útil dos componentes e reduz custos operacionais.

Essa manutenção deve ser realizada com base em **procedimentos técnicos padronizados**, empregando **ferramentas de análise**, como termografia, e respeitando normas ambientais e de segurança.

Análise de Falhas em Sistemas Térmicos

A identificação de falhas é o primeiro passo para a manutenção corretiva ou preventiva.

As falhas podem ser causadas por:

- ✓ Sobrecarga térmica (temperaturas acima do especificado).
- ✓ Corrosão interna ou externa (em caldeiras e tubulações).
- ✓ Obstrução de trocadores de calor.
- ✓ Vazamentos de vapor ou fluido refrigerante.
- ✓ Falta de isolamento térmico.
- ✓ Funcionamento fora das faixas de pressão/temperatura recomendadas.

Indicadores comuns de falha:

- ✓ Queda de eficiência energética.
- ✓ Aumento no consumo de combustível ou energia elétrica.
- ✓ Vazamentos visíveis ou odores anormais.
- ✓ Alarmes de pressostatos e termostatos.
- ✓ Vibração excessiva ou superaquecimento.

Termografia e Diagnóstico Térmico

A **termografia infravermelha** é uma técnica de inspeção não destrutiva que permite visualizar **pontos de aquecimento anormal** em componentes elétricos, térmicos e mecânicos. É amplamente usada para prever falhas antes que elas causem paralisações.

Aplicações da termografia:

- ✓ Identificação de **fugas térmicas** em dutos e caldeiras
- ✓ Detecção de **pontos de superaquecimento** em motores, painéis e resistências
- ✓ Avaliação da **eficiência de isolamento térmico**
- ✓ Verificação de **obstruções em evaporadores ou condensadores**

Vantagens:

- ✓ Diagnóstico rápido e sem a necessidade de parada do sistema.
- ✓ Melhoria da confiabilidade operacional.
- ✓ Redução de riscos de incêndio ou falhas por sobreaquecimento.

Metodologias e Procedimentos de Manutenção

A manutenção pode ser dividida em **três categorias principais**, que devem ser combinadas de acordo com a criticidade do equipamento:

1) Manutenção Corretiva

- ✓ Realizada após a falha.
- ✓ Reativa, geralmente mais cara e causa interrupções no processo.

2) Manutenção Preventiva

- ✓ Baseada em intervalos regulares de tempo ou uso.
- ✓ Inclui inspeções, limpezas, reapertos e substituições programadas.

3) Manutenção Preditiva

- ✓ Baseada no **monitoramento de condições reais** do equipamento (vibração, temperatura, ruído, pressão, etc.).
- ✓ Mais eficiente e econômica, evita paradas não programadas.

Procedimentos técnicos comuns:

- ✓ Limpeza periódica de trocadores de calor.
- ✓ Verificação e substituição de válvulas e sensores.
- ✓ Inspeção visual e dimensional de tubulações.
- ✓ Calibração de instrumentos (manômetros, pressostatos, termômetros).
- ✓ Registro de dados e elaboração de histórico técnico do equipamento.

Gestão de Resíduos Térmicos

A operação de sistemas térmicos gera diversos resíduos que exigem **gestão adequada**, tanto por segurança quanto por obrigação legal e ambiental.

Tipos de resíduos:

- ✓ **Sólidos:** fuligem, incrustações, isolantes antigos.
- ✓ **Líquidos:** água contaminada com óleos, resíduos de limpeza química.
- ✓ **Gasosos:** vapores, gases de combustão (CO_2 , NO_x , SO_x), fluido refrigerante

Boas práticas:

- ✓ Armazenamento seguro de resíduos.
- ✓ Descarte conforme normas ambientais locais (ex: CONAMA).
- ✓ Monitoramento de emissões atmosféricas.
- ✓ Utilização de sistemas de reaproveitamento de calor e recuperação de condensado.



PAUSA PARA REFLETIR...

"A ciência nada mais é do que um refinamento do pensamento cotidiano."

Albert Einstein.

SEGURANÇA NA MANUTENÇÃO DE SISTEMAS TÉRMICOS

A manutenção de sistemas térmicos envolve riscos significativos relacionados a **altas temperaturas, pressões elevadas, vazamentos de fluidos perigosos e componentes energizados**. Por isso, é indispensável seguir **normas técnicas, procedimentos operacionais e medidas preventivas** rigorosas.

A segurança deve ser parte integrante de todo o ciclo de operação e manutenção, incluindo inspeções, limpezas, substituições de peças e testes de funcionamento. O não cumprimento de práticas seguras pode resultar em acidentes graves, como queimaduras, explosões, intoxicações ou choques elétricos.

Riscos em Sistemas Térmicos

Abaixo estão os principais riscos associados a intervenções e operação de sistemas térmicos:

- ✓ Queimaduras por contato com superfícies aquecidas.
- ✓ Explosões causadas por sobrepressão (caldeiras, tubulações sem alívio adequado).
- ✓ Choques térmicos em componentes submetidos a variações bruscas de temperatura.
- ✓ Inalação de vapores tóxicos (em sistemas com fluido refrigerante ou agentes químicos).
- ✓ Choque elétrico em sistemas de comando ou automação integrados ao sistema térmico.
- ✓ Queda de peças aquecidas, rolamentos fundidos ou deslocamento de tampa pressurizada.

Áreas críticas:

- ✓ Regiões próximas a válvulas de alívio.
- ✓ Câmaras de combustão.
- ✓ Linhas de vapor ou alta pressão.
- ✓ Unidades de compressão e condensadores.

Normas de Segurança Aplicáveis

As principais normas que regulamentam a segurança em sistemas térmicos no Brasil são:

- **NR-13 – Caldeiras, Vasos de Pressão, Tubulações e Tanques Metálicos**
 - Exige inspeções periódicas, documentação técnica, prontuários e treinamento de operadores.
 - Define critérios para operação, instalação, manutenção e segurança das caldeiras.
- **NR-10 – Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**

- Necessária sempre que houver integração com sistemas eletromecânicos ou automação.
- Exige análise de risco, desligamento seguro e capacitação.
- **NR-33 – Espaços Confinados**
 - Aplica-se em tanques térmicos, caldeiras de acesso interno e tubulações de difícil acesso.
 - Exige permissão de entrada, monitoramento atmosférico e resgate de emergência.
- **NR-12 – Segurança em Máquinas e Equipamentos**
 - Para sistemas integrados com partes móveis, proteção mecânica, sensores e atuadores.

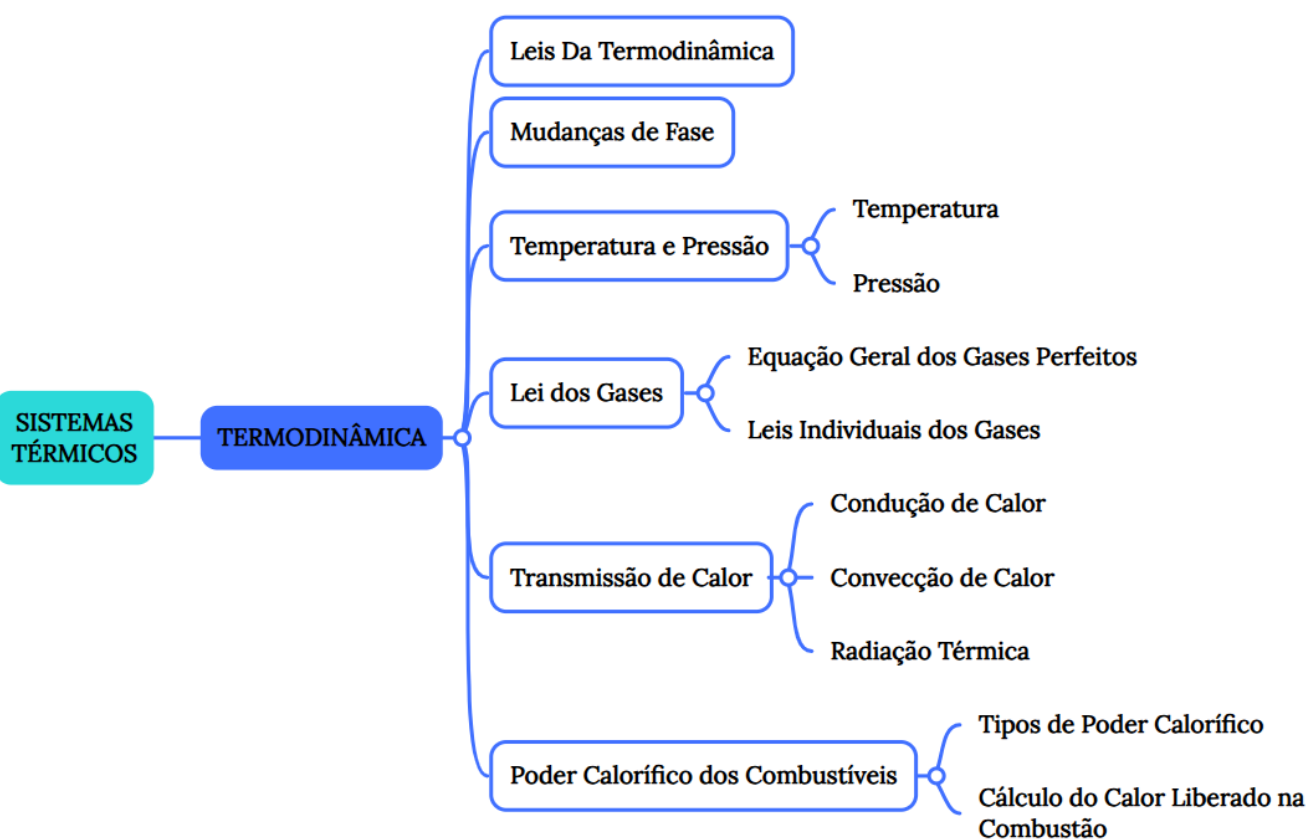
Procedimentos de Segurança na Manutenção

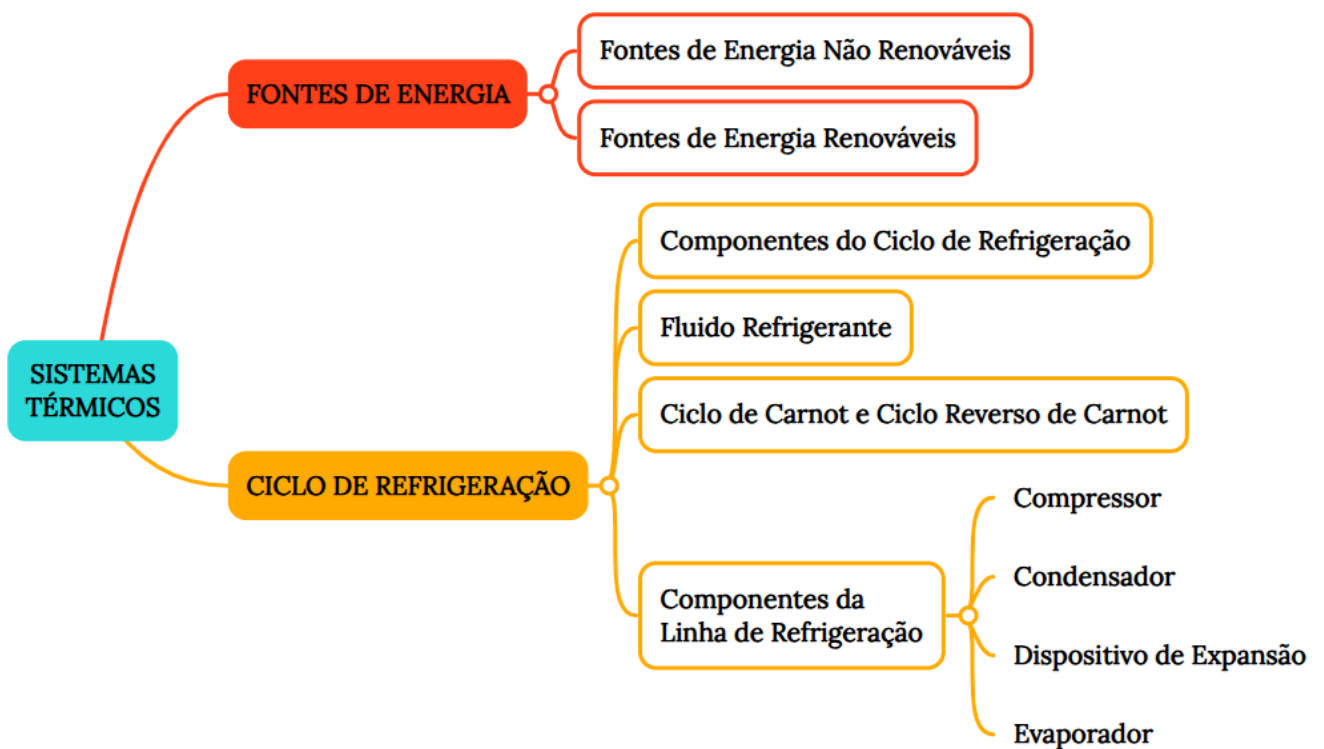
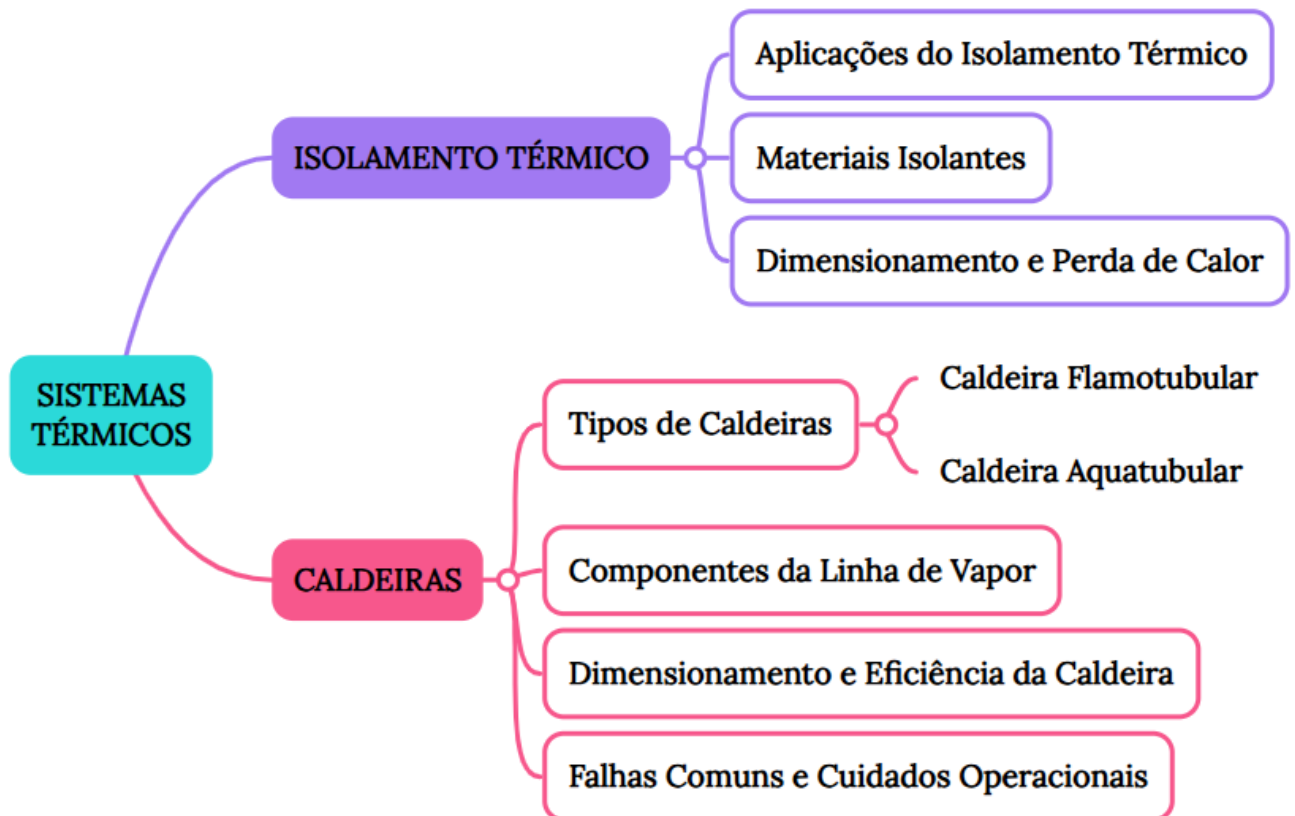
Antes de qualquer intervenção em sistemas térmicos, devem ser seguidos procedimentos rigorosos de segurança, incluindo:

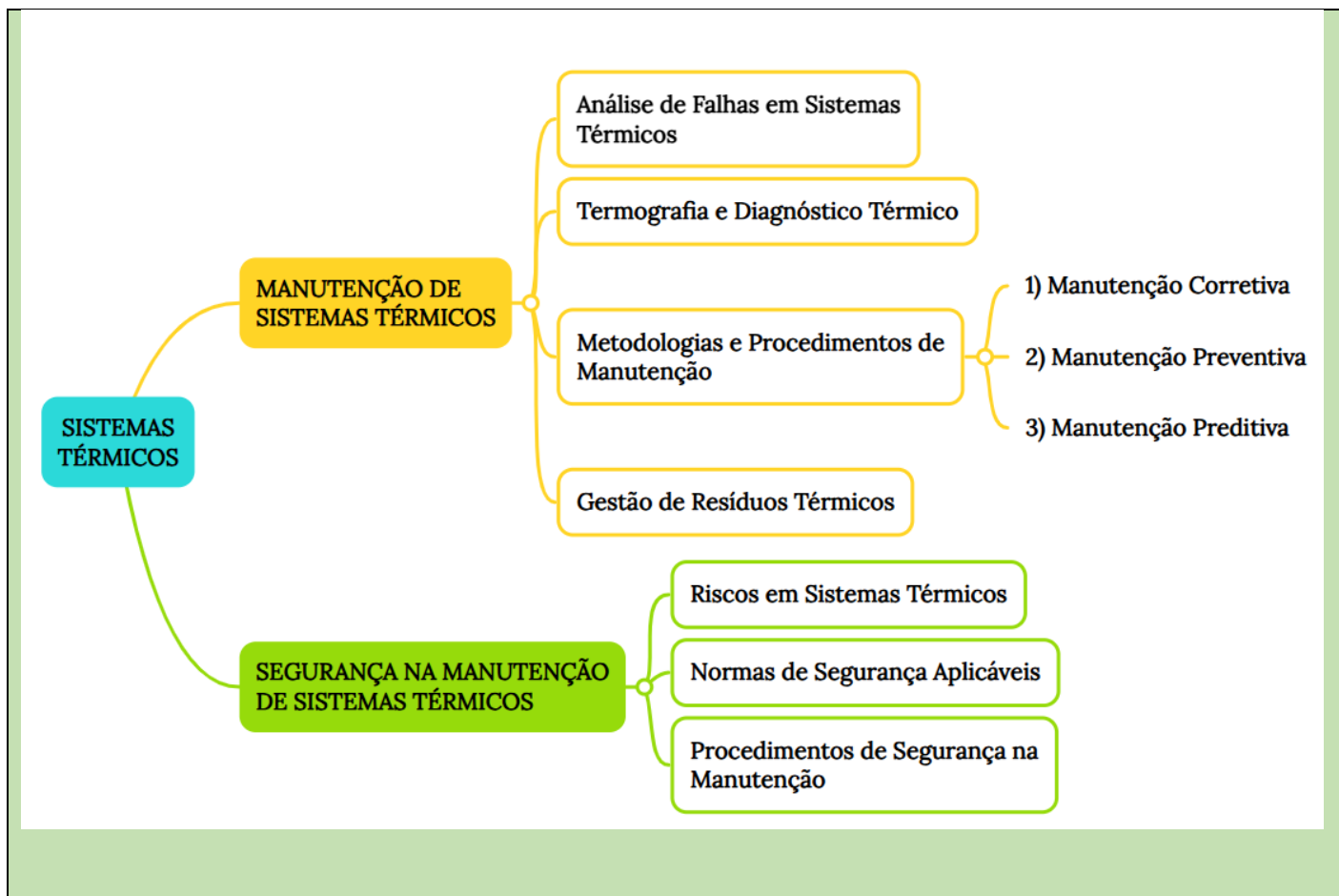
- Isolamento térmico e elétrico do equipamento (bloqueio e etiquetagem – LOTO).
- Alívio total da pressão do sistema.
- Verificação de temperatura e resfriamento dos componentes.
- Uso obrigatório de EPIs:
 - ✓ Luvas térmicas.
 - ✓ Avental aluminizado.
 - ✓ Protetor facial.
 - ✓ Calçado de segurança isolante.
 - ✓ Máscara com filtro (em casos com vapores).
- Presença de responsável técnico ou supervisor treinado.
- Disponibilidade de extintores e kit de primeiros socorros no local.
- Treinamento e certificação de operadores conforme NR-13.

SESSÕES ESPECIAIS

MAPA DE ESTUDO







SÍNTESE DIRETA

✓ Introdução

- Sistemas térmicos são fundamentais em processos industriais e eletromecânicos.
- Aplicações incluem caldeiras, refrigeração, climatização e geração de vapor.
- Objetivos: controle de temperatura, eficiência energética e segurança.

✓ Leis da Termodinâmica

- 1ª Lei: energia se conserva e se transforma entre calor e trabalho.
- 2ª Lei: os processos naturais têm direção definida (entropia cresce).
- 3ª Lei: ao atingir o zero absoluto, a entropia de um sistema puro se aproxima de zero.

✓ Mudanças de Fase

- Fusão, vaporização, condensação, solidificação, sublimação.
- Durante a mudança de fase, a temperatura permanece constante.

✓ Temperatura e Pressão

- Temperatura mede o grau de agitação das partículas.
- Pressão é a força por unidade de área exercida por fluidos.
- Escalas comuns: Celsius, Kelvin, Fahrenheit.
- Tipos de pressão: absoluta, atmosférica, manométrica, de vapor.

✓ Lei dos Gases

- Relação entre volume, temperatura e pressão dos gases.
- Leis de Boyle, Charles e Gay-Lussac explicam os comportamentos isolados.
- Gases ideais obedecem a essas relações em condições controladas.

✓ Transmissão de Calor

- Condução: transferência por contato (sólidos).
- Convecção: movimentação de fluidos (natural ou forçada).
- Radiação: emissão de calor por ondas eletromagnéticas.

✓ Poder Calorífico dos Combustíveis

- Quantidade de energia liberada na queima de um combustível.
- PCS considera o calor da condensação da água; PCI desconsidera.
- Unidades: kcal/kg, kcal/m³, MJ/kg.
- Combustíveis com maior PCI fornecem mais energia com menor volume.

✓ Isolamento Térmico Aplicações

- Redução de perdas de calor, segurança, controle térmico, economia de energia.

✓ Materiais Isolantes

- Lã de vidro, lã de rocha, poliuretano, isopor, aerogel, mantas cerâmicas.
- Critérios de escolha: temperatura, resistência química, custo-benefício.

✓ Dimensionamento

- Quanto maior a espessura e menor a condutividade, maior a eficiência do isolamento.
- Projetos térmicos devem prever a área exposta e a diferença de temperatura.

✓ Caldeiras Tipos

- Flamotubular: gases quentes dentro dos tubos, água ao redor.
- Aquatubular: água dentro dos tubos, gases ao redor. Maior pressão e eficiência.

✓ Componentes da Linha de Vapor

- Válvulas de segurança, manômetros, purgadores, válvulas redutoras, separadores de umidade.

✓ Dimensionamento e Eficiência

- Considera a capacidade de geração de vapor e o consumo de combustível.
- Eficiência térmica depende do aproveitamento da energia liberada na combustão.

✓ Falhas Comuns

- Incrustações, corrosão, vazamentos, funcionamento a seco.
- Boa manutenção previne riscos e aumenta a vida útil.

✓ Fontes de Energia

- **Não Renováveis:** Carvão, petróleo, gás natural, energia nuclear. Alta eficiência, maior impacto ambiental.
- **Renováveis:** Biomassa, solar térmica, geotérmica. Sustentáveis e de menor impacto ambiental.

✓ Ciclo De Refrigeração Componentes

- Compressor, condensador, válvula de expansão, evaporador.
- Fluido refrigerante circula em ciclo fechado, removendo calor do ambiente.

✓ Ciclo De Refrigeração Funcionamento: Ciclo termodinâmico reverso, transferindo calor de uma região fria para uma quente.

✓ Fluido Refrigerante

- Substância que circula no ciclo, passando por compressão, condensação, expansão e evaporação.

- ✓ **Ciclo de Carnot Reverso:** Modelo teórico que define a máxima eficiência possível de um ciclo de refrigeração.
- ✓ **Componentes da Linha de Refrigeração:** Acumuladores, filtros secadores, pressostatos, visores, separadores de óleo.
- ✓ **Análise de Falhas:** Detecta problemas como sobrepressão, incrustações, superaquecimento, perda de rendimento.
- ✓ **Termografia:** Técnica de inspeção por imagem térmica, identifica aquecimentos anormais.
- ✓ **Metodologias de Manutenção**
 - Corretiva: após a falha
 - Preventiva: periódica e programada
 - Preditiva: baseada em monitoramento de condições
- ✓ **Gestão de Resíduos**
 - Tratamento e descarte adequado de resíduos sólidos, líquidos e gasosos.
 - Cumprimento das normas ambientais (CONAMA, ANVISA).
- ✓ **Segurança na Manutenção de Sistemas Térmicos**
 - **Riscos Comuns:** Queimaduras, explosões, choques térmicos, intoxicações, choque elétrico.
- ✓ **Normas de Segurança**
 - NR-13: caldeiras e vasos de pressão
 - NR-10: segurança elétrica
 - NR-33: espaços confinados
 - NR-12: segurança em máquinas e equipamentos
- ✓ **Procedimentos de Segurança**

- Bloqueio e etiquetagem (LOTO), uso de EPIs, resfriamento do sistema, autorização formal (PT).
- Treinamento obrigatório de operadores e técnicos responsáveis.

MOMENTO QUIZ

1. Uma caldeira aquatubular é mais indicada que uma flamotubular quando:

- a) Se deseja operar com baixa pressão e maior volume de água armazenada.
- b) O processo exige resposta térmica lenta e controle simplificado.
- c) O sistema requer alta pressão e rápida transferência de calor.
- d) A caldeira opera com lenha e precisa de limpeza menos frequente.
- e) Não há necessidade de controle sobre a qualidade da água.

2. O ciclo de refrigeração por compressão de vapor realiza a troca térmica entre dois ambientes. Qual das opções corresponde corretamente ao funcionamento do evaporador?

- a) Ele comprime o gás refrigerante para aumentar sua pressão.
- b) Ele remove calor do fluido refrigerante e o liquefaz.
- c) Ele reduz a pressão do fluido para aumentar sua temperatura.
- d) Ele absorve calor do ambiente e promove a vaporização do refrigerante.
- e) Ele expulsa o calor absorvido para o ambiente externo.

3. Qual das opções abaixo representa corretamente uma medida preventiva eficaz para evitar incrustações térmicas em uma caldeira?

- a) Substituir o queimador por um modelo maior.
- b) Aumentar a pressão de operação do sistema.
- c) Utilizar isolamento térmico na linha de combustível.
- d) Aplicar tratamento na água de alimentação.
- e) Instalar um acumulador de sucção após o evaporador.

4. Considerando a equação da condução térmica (Lei de Fourier), qual das ações abaixo reduz a taxa de perda de calor por uma parede metálica aquecida?

- a) Aumentar a área de contato da superfície.
- b) Reduzir a espessura do isolante térmico.
- c) Aumentar a condutividade térmica do material.
- d) Reduzir a diferença de temperatura entre os lados.
- e) Substituir o material por um de maior densidade.

5. Um sistema de refrigeração com COP = 3,5 indica que:

- a) O compressor consome 3,5 kW a cada 1 kWh de calor removido.
- b) O sistema libera 3,5 kWh de calor para cada kWh elétrico consumido.
- c) Ele remove 3,5 vezes mais calor do que consome em energia elétrica.
- d) Sua eficiência é 3,5% acima da máxima teórica.
- e) O refrigerante se expande 3,5 vezes mais rápido no evaporador.

GABARITO QUIZ

QUESTÃO	ALTERNATIVA
1	C
2	D
3	D
4	D
5	C

REFERÊNCIAS

ABNT / SENAI, Coletânea de Normas de Desenho Técnico. São Paulo, 1990.

FERREIRA, Patrícia – Desenho de Arquitetura – Ao Livro Técnico, Rio de Janeiro, 2001.

FRENCH, Tomás E. & VIERCK, Charles J. Desenho Técnico e Tecnologia Gráfica, 5ª Edição, Editora Globo, São Paulo, 1995.

FERREIRA, Patrícia – Desenho de Arquitetura – Ao Livro Técnico. Rio de Janeiro, 2001.

GILL, Robert W. -Desenho de Perspectiva -Martins Fontes, São Paulo, 1974.

MARMO, C. Curso de Desenho. São Paulo: Moderna, 1964. v.1 e 2.



OBRIGADO!
CONTINUE ESTUDANDO.