CENTRO UNIVERSITÁRIO IBMEC/RJ
CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

CLAYTON JONES ALVES DA SILVA

# Notas de aula - Desafios de Engenharia
## Capítulo: Dimensões e Unidades

Rio de Janeiro
2021.1

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

## LISTA DE TABELAS

**SUMÁRIO**

## 1. INTRODUÇÃO

A presente nota de aula objetiva apresentar ao aluno do Ibmec do curso de Engenharia os conceitos principais relativos ao conteúdo da disciplina Desafios de Engenharia.

O texto não tem a pretensão de esgotar os tópicos, o que requer a consulta aos livros e textos recomendados no programa da disciplina.

## 2. Dimensões e Unidades

### 2.1 Contexto

O trabalho de engenheiros requer a quantificação de recursos naturais e de fenômenos físicos. Em suas análises, os engenheiros precisam avaliar grandezas  como propriedades físicas, químicas e geométricas, de forma a estabelecer ou verificar as especificações d projetos e estabelecer sua viabilidade econômica. Podem-se definir cinco categorias principais relacionadas às medições nas aplicações de engenharia:

Avaliação de desempenho: consiste em efetuar medições das variáveis físicas para ter certeza de que o sistema estará ou está funcionando de acordo com o esperado;

Controle de processos: consiste em operações de realimentação nas quais uma medida é usada para manter o processo dentro de condições específicas de operação. Por exemplo, pela monitoração contínua de temperatura do ar os termostatos sinalizam ao aparelho de ar condicionado se ele deve desligar.

Contagem: consiste em manter um registro do uso ou fluxo de uma determinada quantidade, por exemplo, a energia elétrica ou a vazão de água do consumo de uma residência;

Pesquisa: consiste em investigar fenômenos científicos fundamentais. Na pesquisa de engenharia são conduzidos experimentos e realizadas medições pra sustentar hipóteses teóricas. Por exemplo , pode ser usado um sensor em miniatura para medir o fluxo de sangue nas artérias e permitir aos engenheiros biomédicos desenvolver modelos de funcionamento do coração humano;

Projeto: consiste em testar novos produtos e processos com o objetivo de verificar a sua funcionalidade. Por exemplo, se um engenheiro projeta um novo tipo de material isolante acústico para reduzir o ruído de aviões comerciais deverá conduzir algum tipo de teste acústico para assegurar que o novo material funcione adequadamente.

Os testes sempre são necessários durante o ciclo de vida dos projetos de sistemas de engenharia. Realizar medições é a atividade central para o prosseguimento os trabalhos no ciclo de vida dos sistemas de engenharia. Testes que se destinam a projetar o sistema, mas também teste para avaliar se apresentam o comportamento esperado, quando no pós-desenvolvimento.

## 2.2 Dimensões

### Dimensões de base e derivadas

No contexto de engenharia, dimensão é uma variável física usada para descrever ou especificar a natureza de uma quantidade mensurável. Por exemplo, uma xícara de café pode ter dimensões geométricas (volume, altura, ...), térmicas (temperatura), mecânicas (viscosidade), .... As características qualitativas de um objeto são consideradas dimensões. A pressão de uma caldeira, a sua geometria, assim como a velocidade de um automóvel, e o espaço que ele percorre são exemplos de algumas dimensões.

A especificação de uma dimensão contém duas informações: o valor numérico e a unidade de comparação. As dimensões são padronizadas e classificadas em dimensões de base e dimensões derivadas.

Uma dimensão de base não pode ser subdividida em outras dimensões de base. Por essa razão são chamadas de dimensões fundamentais de uma quantidade física. O Sistema Internacional (SI) define sete unidades de base para seu uso na ciência ou na engenharia. A Tabela 1 apresenta as grandezas de base e unidades de base do SI (detalhado em seção à frente).

Tabela 1 – Grandezas de base e unidades de base do SI

| **Grandeza de base** | **Símbolo** | **Unidade de base** | **Símbolo** |
|---|---|---|---|
| comprimento | $l, h, r, x$ | metro | m |
| massa | $m$ | quilograma | kg |
| tempo, duração | $t$ | segundo | s |
| corrente elétrica | $I, i$ | ampere | A |
| temperatura termodinâmica | $T$ | kelvin | K |
| quantidade de substância | $n$ | mol | mol |
| intensidade luminosa | $I_v$ | candela | cd |

As sete grandezas de base, que correspondem às sete unidades de base, são: comprimento, massa, tempo, corrente elétrica, temperatura termodinâmica, quantidade de substância e intensidade luminosa. São definidas como segue.

- metro, m : O metro é o comprimento do trajeto percorrido pela luz no vácuo durante um intervalo de tempo de 1/299.792.458 do segundo. Assim, a velocidade da luz no vácuo, *c0*, é exatamente igual a 299.792.458 m/s.
- quilograma, kg: O quilograma é a unidade de massa, igual à massa do protótipo internacional do quilograma. Assim, a massa do protótipo internacional do quilograma, *m(K)*, é exatamente igual a 1kg.
- segundo, s: O segundo é a duração de 9.192.631.770 períodos da radiação correspondente à transição entre os dois níveis hiperfinos do estado fundamental do átomo de césio 133. Assim, a frequência da transição hiperfina do estado fundamental do átomo de césio 133, *v*(hfs Cs), é exatamente igual a 9.192.631.770 Hz
- ampere, A: O ampere é a intensidade de uma corrente elétrica constante que, mantida em dois condutores paralelos, retilíneos, de comprimento infinito, de seção circular desprezível, e situados à distância de 1 metro entre si, no vácuo, produziria entre estes condutores uma força igual a 2 × 10-7 newton por metro de comprimento. Assim, a constante magnética, $\mu_0$ , também conhecida como permeabilidade do vácuo, é exatamente igual a 4π × 10-7 H/m.

- kelvin, K: O kelvin, unidade de temperatura termodinâmica, é a fração 1/273,16 da temperatura termodinâmica no ponto tríplice da água. Assim, a temperatura do ponto tríplice da água, $T_{pta}$, é exatamente igual a 273,16 K.
- mol, mol: O mol é a quantidade de substância de um sistema contendo tantas entidades elementares quantos átomos existem em 0,012 quilograma de carbono 12.; quando se utiliza o mol, as entidades elementares devem ser especificadas, podendo ser átomos, moléculas, íons, elétrons, assim como outras partículas, ou agrupamentos especificados dessas partículas. Assim, a massa molar do carbono 12, $M(^{12}C)$, é exatamente igual a 12 g/mol.
- candela, cd: A candela é a intensidade luminosa, numa dada direção, de uma fonte que emite uma radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ hertz e cuja intensidade energética nessa direção é 1/683 watt por esterradiano. Assim, a eficácia luminosa espectral, *K*, da radiação monocromática de frequência $540 \times 10^{12}$ Hz é exatamente igual a 683 lm/W.

As dimensões derivadas são obtidas a partir das dimensões fundamentais. Por exemplo, a área é o comprimento ao quadrado; a velocidade é o comprimento dividido pelo tempo. A Tabela 2 apresenta algumas dimensões derivadas.

Tabela 2 – Exemplo de grandezas derivadas

| Grandeza derivada | Símbolo | Unidade derivada | Símbolo |
|---|---|---|---|
| área | $A$ | metro quadrado | $m^2$ |
| volume | $V$ | metro cúbico | $m^3$ |
| velocidade | $v$ | metro por segundo | m/s |
| aceleração | $a$ | metro por segundo ao quadrado | $m/s^2$ |
| número de ondas | $\sigma$, $\tilde{\nu}$ | inverso do metro | $m^{-1}$ |
| massa específica | $\rho$ | quilograma por metro cúbico | $kg/m^3$ |
| densidade superficial | $\rho_A$ | quilograma por metro quadrado | $kg/m^2$ |
| volume específico | $v$ | metro cúbico por quilograma | $m^3/kg$ |
| densidade de corrente | $j$ | ampere por metro quadrado | $A/m^2$ |
| campo magnético | $H$ | ampere por metro | A/m |
| concentração | $c$ | mol por metro cúbico | $mol/m^3$ |
| concentração de massa | $\rho$, $\gamma$ | quilograma por metro cúbico | $kg/m^3$ |
| luminância | $L_v$ | candela por metro quadrado | $cd/m^2$ |
| índice de refração | $n$ | um | 1 |
| permeabilidade relativa | $\mu_r$ | um | 1 |

Algumas unidades derivadas recebem nome especial, sendo este simplesmente uma forma compacta de expressão de combinações de unidades de base que são usadas frequentemente.

Então, por exemplo, o joule, símbolo J, é por definição, igual a $m^2.kg.s^{-2}$. Existem atualmente 22 nomes especiais para unidades aprovados para uso no SI, que estão listados na Tabela 3.

Tabela 3 – Unidades derivadas com nomes especiais no SI

| Grandeza derivada | Nome da unidade derivada | Símbolo da unidade | Expressão em termos de outras unidades |
|---|---|---|---|
| angulo plano | radiano | rad | m/m = 1 |
| angulo sólido | esterradiano | sr | $m^2/m^2 = 1$ |
| freqüência | hertz | Hz | $s^{-1}$ |
| força | newton | N | $m\ kg\ s^{-2}$ |
| pressão, tensão | pascal | Pa | $N/m^2 = m^{-1}\ kg\ s^{-2}$ |
| energia, trabalho, quantidade de calor | joule | J | $N\ m = m^2\ kg\ s^{-2}$ |
| potência, fluxo de energia | watt | W | $J/s = m^2\ kg\ s^{-3}$ |
| carga elétrica, quantidade de eletricidade | coulomb | C | s A |
| diferença de potencial elétrico | volt | V | $W/A = m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$ |
| capacitância | farad | F | $C/V = m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$ |
| resistência elétrica | ohm | Ω | $V/A = m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$ |
| condutância elétrica | siemens | S | $A/V = m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$ |
| fluxo de indução magnética | weber | Wb | $V\ s = m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| indução magnética | tesla | T | $Wb/m^2 = kg\ s^{-2}\ A^{-1}$ |
| indutância | henry | H | $Wb/A = m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$ |
| temperatura Celsius | grau Celsius | ºC | K |
| fluxo luminoso | lumen | lm | cd sr = cd |
| iluminância | lux | lx | $lm/m^2 = m^{-2}\ cd$ |
| atividade de um radionuclídio | becquerel | Bq | $s^{-1}$ |
| dose absorvida, energia específica (comunicada), kerma | gray | Gy | $J/kg = m^2\ s^{-2}$ |
| equivalente de dose, equivalente de dose ambiente | sievert | Sv | $J/kg = m^2\ s^{-2}$ |
| atividade catalítica | katal | kat | $s^{-1}$ mol |

## Consistência das dimensões nos modelos matemáticos

Todas as relações matemáticas usadas nas ciências e na engenharia devem ser dimensionalmente consistentes, ou dimensionalmente homogêneas. Isso significa que em um modelo matemático de um sistema físicos ambos os lados da equação devem possuir a mesma dimensão.

Os modelos matemáticos dos sistemas físicos são usualmente representados matematicamente por uma equação do tipo

*alguma dimensão = relação de outras dimensões*

O sinal de igualdade vai além da igualdade numérica. Representa também a igualdade da dimensão. Ou seja, a consistência dimensional requer que ambos os lados da equação possuam a mesma dimensão.

## 2.3 Quantidades e unidades

As dimensões definem o nome de alguma variável física que pode ser medida. Para definir características e valores quantitativos foram definidos outros dois termos importantes: a quantidade e a unidade.

Uma quantidade, no sentido geral, é uma propriedade que descreve um fenômeno, corpo ou substância que pode ser quantificada. Ou seja, requer um valor numérico. Exemplos: a massa, a carga elétrica. No sentido específico, é uma propriedade que pode ser quantificada ou atribuída e que descreve um fenômeno particular, corpo ou substância. Exemplos: a massa da Lua, a carga elétrica dos elétrons.

O valor de uma quantidade física é uma expressão quantitativa de uma quantidade física específica e é representado por um valor multiplicado pela sua unidade. Desta forma, o valor numérico de uma quantidade física específica depende da unidade pela qual está sendo representado. Por exemplo, a altura de um edifício pode ser expressa como 30 metros (valor + unidade), 98,4252 pés ou 1181,1 polegadas.

## 2.4 O Sistema Internacional e suas unidades

Atualmente, as unidades das sete grandezas físicas são padronizadas pelo *Bureau International des Poids et Mesures (BIPM)* no chamado Sistema Internacional (SI).

O sistema SI é baseado em sete unidade de base para sete quantidades, consideradas mutuamente independentes. Esses padrões são definidos de tal forma que qualquer unidade do SI pode ser reproduzido em qualquer laboratório que possua o equipamento adequado (exceto a massa). Os padrões são baseados em constantes da natureza e nos atributos físicos da matéria e energia.

As unidades derivadas são produtos das unidades fundamentais que não incluem nenhum fator numérico além de 1. As unidades bases e derivadas formam um conjunto coerente de unidades.

O número de quantidades na ciência não possui limites e não é possível fornecer uma lista completa das quantidades derivadas.

Para cada grandeza, existe somente uma unidade SI (embora possa ser expressa frequentemente de diferentes modos, pelo uso de nomes especiais). Contudo, a mesma unidade SI pode ser usada para expressar os valores de diversas grandezas diferentes (por exemplo, a unidade SI para a relação J/K pode ser usada para expressar tanto o valor da capacidade calorífica como da entropia). Portanto, é importante não usar a unidade sozinha para especificar a grandeza. Isto se aplica tanto aos textos científicos como aos instrumentos de medição (isto é, a leitura de saída de um instrumento deve indicar a grandeza medida e a unidade).

## 2.5 Unidades não SI

O SI é o único sistema de unidades que é reconhecido universalmente, de modo que ele tem uma vantagem distinta quando se estabelece um diálogo internacional. Outras unidades, isto é, unidades não SI, são geralmente definidas em termos de unidades SI. O uso do SI também simplifica o ensino da ciência. Por todas essas razões o emprego das unidades SI é recomendado em todos os campos da ciência e da tecnologia.

Embora algumas unidades não SI sejam ainda amplamente usadas, outras, a exemplo do minuto, da hora e do dia, como unidades de tempo, serão sempre usadas porque elas estão arraigadas profundamente na nossa cultura. Outras são usadas, por razões históricas, para atender às necessidades de grupos com interesses especiais, ou porque não existe alternativa SI conveniente. Os cientistas devem ter a liberdade para utilizar unidades não SI se eles as considerarem mais adequadas ao seu propósito. Contudo, quando unidades não SI são utilizadas, o fator de conversão para o SI deve ser sempre incluído.

Algumas unidades não SI estão listadas na Tabela 4, com o seu fator de conversão para o SI. Para uma listagem mais ampla, veja a publicação completa no site do BIPM (https://www.bipm.org/en/about-us/).

Tabela 4 – Exemplos de unidades não SI

| Grandeza | Unidade | Símbolo | Relação com o SI |
|---|---|---|---|
| tempo | minuto | min | 1 min = 60 s |
| | hora | h | 1 h = 3600 s |
| | dia | d | 1 d = 86400 s |
| volume | litro | L ou l | 1 L = 1 $dm^3$ |
| massa | tonelada | t | 1 t = 1000 kg |
| energia | elétronvolt | eV | 1 eV ≈ 1,602 x $10^{-19}$ J |
| pressão | bar | bar | 1 bar = 100 kPa |
| | milímetro de mercúrio | mmHg | 1 mmHg ≈133,3 Pa |
| comprimento | angstrom[2] | Å | 1 Å = $10^{-10}$ m |
| | milha náutica | M | 1 M = 1852 m |
| força | dina | dyn | 1 dyn = $10^{-5}$ N |
| energia | erg | erg | 1 erg = $10^{-7}$ J |

## 2.6 Múltiplos e submúltiplos decimais das unidades do SI

Um conjunto de prefixos foi adotado para uso com as unidades do SI, a fim de exprimir os valores de grandezas que são muito maiores ou muito menores do que a unidade SI usada sem um prefixo. Eles podem ser usados com qualquer unidade de base e com as unidades derivadas com nomes especiais.

A Tabela 5 apresenta todos os nomes e símbolos de prefixo, os múltiplos decimais e submúltiplos das unidades SI, variando de $10^{24}$ a $10^{-24}$.

Tabela 5 – Múltiplos e submúltiplos decimais de unidades do SI

| Fator | Nome | Símbolo | Fator | Nome | Símbolo |
|---|---|---|---|---|---|
| $10^{1}$ | deca | da | $10^{-1}$ | deci | d |
| $10^{2}$ | hecto | h | $10^{-2}$ | centi | c |
| $10^{3}$ | quilo | k | $10^{-3}$ | mili | m |
| $10^{6}$ | mega | M | $10^{-6}$ | micro | µ |
| $10^{9}$ | giga | G | $10^{-9}$ | nano | n |
| $10^{12}$ | tera | T | $10^{-12}$ | pico | p |
| $10^{15}$ | peta | P | $10^{-15}$ | femto | f |
| $10^{18}$ | exa | E | $10^{-18}$ | atto | a |
| $10^{21}$ | zetta | Z | $10^{-21}$ | zepto | z |
| $10^{24}$ | yotta | Y | $10^{-24}$ | yocto | y |

## 3. Modelos matemáticos com aplicações de dimensões e unidades – Octave e Excel

Nesta seção são apresentados alguns típicos problemas de engenharia, que permitem identificar algumas das categorias de contexto em que são aplicadas medições na engenharia, conforme discutimos na seção 2.1.

Os problemas apresentados tratam de várias dimensões. Algumas delas utilizam unidades de base e unidades derivadas, além de outras unidades especiais. A solução dos problemas requer uma atenção especial à verificação da consistência dimensional, conforme discutido na seção 2.2.

Os valores numéricos utilizados tanto das variáveis de cada problema quanto dos resultados da aplicação da formulação proposta serão lançados ou extraídos da aplicação de duas ferramentas que permitem a modelagem matemática dos problemas (em outro instante do curso discutiremos o conceito de modelagem de sistemas de engenharia): Octave, plataforma *Open Sorce* (ou MatLab) já indicada; e Microsoft Excel.

Algumas poucas outras unidades não SI, conforme tratado na seção 2.5, são utilizadas em alguns problemas. Recomenda-se uma pesquisa na Internet para conhecê-las, incluindo o site do BIPM (https://www.bipm.org/en/about-us/).

É importante ter atenção também ao emprego dos múltiplos e submúltiplos decimais utilizados, conforme tratado na seção 2.6, de modo que os valores numéricos lançados e extraídos das ferramentas estejam corretos.

Os problemas estão preliminarmente formulados. A solução de problemas de engenharia requer que estejam definidos de forma precisa. É importante que estejam bem descritos. Estejam bem delimitados, ou seja, com o escopo e o contexto bem estabelecidos. As condições de contorno, ou seja, os limites bem estabelecidos – nesse sentido se inserem as premissas e as restrições impostas. As variáveis devem estar bem definidas e disponíveis.

É importante definir o conceito de variável. Entende-se por variável uma representação simbólica de informações, que podem assumir um valor numérico pertencente a um conjunto definido. Sob certas circunstâncias a variável pode apresentar um valor desse conjunto e sob outras circunstâncias, outro valor. Considerando os problemas apresentados a seguir, as variáveis representam as representações simbólicas dos conjuntos dos valores numéricos das dimensões discutidas.

Problema 1: Formule um plano para determinar quantos litros de tinta são necessários para aplicar uma única mão de tinta em uma área qualquer. Sabe-se que 1 litro de tinta é suficiente para aplicar uma mão em 20 m$^2$ de área. Considere que são apresentadas as variáveis das formas apresentadas a seguir. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Subproblema: Considere um paralelogramo

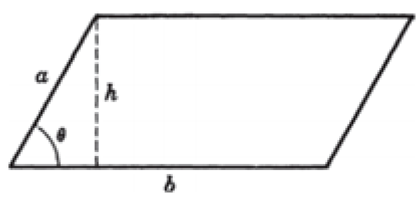


Figura 1 – Elementos de paralelogramo

As expressões que determinam a área e o perímetro são: $Área = b.h = a.b.sen\theta$; e $Perímetro = 2a + 2b$.

Subproblema: Considere um triângulo

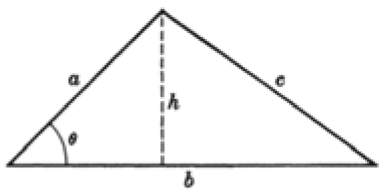


Figura 2 – Elementos de um triângulo

As expressões que determinam a área e o perímetro são: $Área = \frac{1}{2}bh = \frac{1}{2}bsen\theta = \sqrt{s(s-a)(s-b)(s-c)}, onde\ s = \frac{1}{2}(a+b+c)$ e $Perímetro = a + b + c$

Subproblema: Considere um polígono

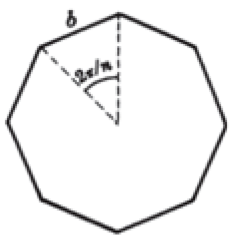


Figura 3 – Elementos de um polígono

As expressões que determinam a área e o perímetro são: $Área = \frac{1}{2}nb^2 cotg\,\frac{\pi}{n} = \frac{1}{2}nb^2\,\frac{\cos\left(\frac{\pi}{n}\right)}{sen\left(\frac{\pi}{n}\right)}$ e $Perímetro = nb$

<u>Problema 2</u>: Formule um plano para determinar quantos litros de água podem ser armazenados em um tanque. Considere que são apresentadas as variáveis das formas apresentadas a seguir. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Subproblema: O tanque tem a forma de um cone circular de raios a, b e altura h

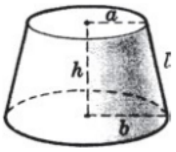


Figura 4 – Elementos de um cone circular

A expressão que determina o volume é definida por: $Volume = \frac{1}{3}\pi h(a^2 + a.b + b^2)$

Subproblema: O tanque tem a forma de um cilindro circular de raio r e altura h

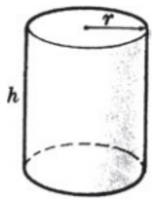


Figura 5 – Elementos de um cilindro

A expressão que determina o volume é definida por: $Volume = \pi r^2 h$

<u>Problema 3</u>: Formule um plano para determinar quais são os <u>pesos</u> de *n* produtos. Os produtos foram entregues em *n* volumes. O peso total de cada volume é $P_j$. Em cada volume se conhece a quantidade de cada um dos produtos (*Qij*, onde *i* representa o produto e *j* o volume). Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

<u>Problema 4</u>: Formulação da Lei de Conservação do Momento. De acordo com o princípio da relatividade, a velocidade (*v*) relativa entre dois corpos que se afastam após uma colisão frontal elástica (sem perda de energia cinética) é a mesma com a qual se aproximam antes da colisão, ou seja. Princípio da velocidade relativa: $v1_i - v2_i = v1_f - v2_f$, onde *i* e *f* representam inicial e final. Considerando corpos de massa (*m*) diferente, a conservação do momento, que é uma grandeza derivada do produto da massa de um corpo pela sua velocidade vetorial, deve ser considerada. Pela conservação do momento, dois corpos que possuem uma determinada massa (*m*) e que se deslocam com uma determinada

velocidade (*v*) conservam o momento total após se chocarem. Conservação do momento: $m_1v_{1,i} + m_2v_{2,i} = m_1v_{1,f} + m_2v_{2,f}$. Admitindo-se que se conhece as massas dos corpos e suas velocidades antes do impacto, determinar as velocidades após impacto. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 5: Formulação da Lei de Hooke. Dada uma certa mola, uma vez que lhe seja aplicada uma força ela sofre uma compressão ou alongamento de acordo uma constante, chamada constante da mola. A expressão matemática da Lei de Hooke é dada por $F = kx$, onde *F* é a força aplicada à mola, *k* é a constante da mola e *x* é o comprimento da compressão ou alongamento. Admitindo que seja conhecida a constante da mola e o deslocamento a ser produzido, determinar a força a ser aplicada. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 6: Formulação da Eficiência de Carnot. Carnot introduziu a ideia abstrata de máquinas térmicas, com a capacidade de produzir movimento ao aquecer e resfriar gases, vapor d'água e líquidos. Derivada do trabalho de Carnot, formulou-se a expressão que indica a eficiência de uma máquina que produz movimento, dada por $Eficiência\ de\ Carnot = \frac{TQ-TF}{TQ}$, onde $T_Q$ representa a temperatura da fonte quente e $T_F$ representa a temperatura da fonte fria. A fonte é o elemento utilizado para expandir ou contrair com a mudança de temperatura. Determinar a eficiência de uma máquina que opera com vapor d'água, que opera entre a ebulição da água ($T_Q$) e o seu congelamento ($T_F$). Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 7: Formulação de Lei de Ohm. A primeira Lei de Ohm postula que em um condutor ôhmico (resistência constante) mantido à temperatura constante, a intensidade (*i*) de corrente elétrica será proporcional à diferença de potencial (*V*) aplicada entre suas extremidades. A resistência reflete a relação entre as medidas de corrente elétrica e de tensão elétrica conforme a expressão

$V = R.I$. Conhecidas a tensão e a corrente no condutor, determinar a sua resistência. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 8: Formulação do funcionamento do motor de quatro tempos. Os motores à combustão utilizam a queima de combustível no interior de um cilindro para produzir o calor necessário e mover o pistão acoplado. Essa máquina opera em quatro tempos: (i) admissão, na qual a mistura ar-combustível é carregada no cilindro; (ii) compressão, em que o pistão comprime a mistura, quando o pistão chega ao *ponto morto superior* e há a inflamação da mistura; (iii) expansão, quando o pistão atinge o *ponto morto inferior* e a válvula de exaustão se abre; e (iv) exaustão, em que os gases da queima são expelidos quando o pistão sobre. O principal parâmetro do tempo de compressão é chamado de razão de compressão ($r_c$), definida pela expressão $r_c = \frac{volume\ do\ cilindro\ no\ ponto\ morto\ inferior}{volume\ do\ cilindro\ no\ ponto\ morto\ superior}$. A razão de compressão é muito importante para avaliar a eficiência geral do motor. Conhecidas as dimensões do cilindro e os pontos h1 e h2, respectivamente pontos inferior e superior, determinar a razão de compressão, admitindo que o cilindro possui as dimensões apresentadas na figura. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

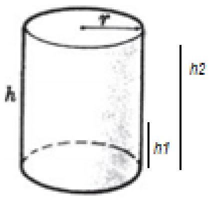


Figura 6 – Cursos de ponto morto inferior e superior de um cilindro

Problema 9: Formulação dos ensaios de corpos de prova. Para garantir que o concreto apresente o desempenho esperado e possua os níveis de resistência e elasticidade adequados é preciso realizar a retirada de amostras de corpo de prova para testes. Os testes são regidos pela ABNT NBR 5738:2015. Devem ser moldados 6 corpos de prova por lote de caminhão entregue em obra, de modo a verificar a resistência de 100% do concreto que chega à obra. Para os testes de resistência à compressão são usados corpos de prova de 10 polegadas × 20 polegadas. Determinar a resistência à compressão média e variação do valor médio da resistência, admitindo que a obra dura *d* dias. Em cada dia são entregues *n* lotes de concreto. Determinar o número de corpos de prova usados. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 10: Formulação da representação de sinais periódicos por Série de Fourier. Todo sinal elétrico periódico de tensão pode ser decomposto em uma série $S(t) = C_0 + \sum_{n=1}^{\infty} C_n \cos(nf_0 t + \theta_n)$, medido em volts (*V*). O sinal é composto de um valor constante $C_0$; de termos dependentes de frequência (*f*), medida em Hz; e fase – deslocamento em relação à origem - $\theta_n$, medidas em graus. A frequência $f_0$ é chamada de frequência fundamental; as demais são chamadas de harmônicos. Subproblema: Apresentar o comportamento do sinal em função do tempo, uma vez que sejam apresentados os valores das variáveis *t* (em *segundos*), [$t_1$, ..., $t_N$]; $f_0$ (em *hertz*); e $\theta_n$ (em graus), n=1, 2, ..., *k*, onde *k* é o número de termos da série para aproximar ao sinal. Dependendo do número de componentes (*k*) e das características do sinal obtém-se uma representação mais ou menos precisa. Subproblema: Determinar o erro médio quadrático, dado pela expressão $EQM(S) = \frac{1}{N}\sum_{1}^{N}[S_{k1}(t) - S_{k2}(t)]^2$, onde *k1* e *k2* são os termos para aproximação do sinal. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 11: Formulação do problema de dilatação de um material. Para determinação da dilatação de uma barra com dimensões arbitrárias de um material quando lhe é aplicada uma força utiliza-se o módulo de Young ou módulo de elasticidade. A expressão é dada por $Módulo\ de\ Young: E = \frac{F/A}{\Delta L/L}$, onde *F* é a força aplicada sobre a barra que possui uma área de seção reta *A* e de comprimento *L*. Subproblema: Deseja-se determinar o módulo de Young de uma determinada liga a ser aplicada no projeto de um produto. São coletadas *N* amostras de seção reta $A_i$ e comprimento $L_i$ do material. A cada amostra é aplicada uma força ($F_i$) e observada a dilatação obtida ($\Delta L_i$). Determinar o módulo de Young da liga. Subproblema: Um determinado produto é construído utilizando-se várias barras de comprimentos ($L_i$) variados de uma liga. Todas possuem a mesma seção de área reta *A.* Para avaliar o impacto sobre a estrutura do produto em função das forças que deve sofrer é necessário determinar todas as dilatações desse material. O módulo de Young da liga é conhecido. Determinar as dilatações sofridas pelas barras usadas no projeto. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel.

Problema 12: Formulação da trajetória de um objeto com arrasto com definição das variáveis de estado. Força de arrasto é a força que se opõe ao movimento de um projetil por causa da resistência do ar, que, empiricamente, é proporcional ao quadrado da velocidade. A constante de proporcionalidade (*kd*) é dependente do tamanho e da forma do objeto, bem como das propriedades do fluido – que no nosso caso é o ar. As variáveis de estado que definem a trajetória são: a altura (*y*), a velocidade (*v*) e a aceleração (*a*) do corpo. Portanto, cada estado (*s*) é determinado pelo conjunto das três variáveis, ou seja, *s(t)=f[y(t),v(t),a(t)]*. Essa trajetória pode ser definida em instantes discretos do tempo *i={0,1,2, ...}*, de modo que *i.T* é o instante considerado, *T* o período de amostragem. A expressão de cada variável de estado é definida em função dos valores das variáveis no estado anterior, dadas por

$y(i+1) = y(i) + v(i).T$, onde *i+1* é o instante discreto seguinte ao instante *i*

$v(i+1) = v(i) + a(i).T$,

$a(i+1) = \frac{-m.g - sign[v(i+1)].kd.v^2(i+1)}{m}$, onde *m* é a massa do corpo; *g* é a força da gravidade; *sign(v)* é o sinal da expressão da velocidade, indicando velocidade para cima (+) ou velocidade para baixo (-). Determinar os estados da trajetória de um objeto, dados os valores iniciais das variáveis de estado, o número de estados, os valores de *T*, *m*, *kd*. Admitir que a força da gravidade é igual a 10 $m/s^2$. Resolva o problema utilizando o Octave e Excel

## REFERÊNCIAS


[1] (BIPM), B. I. D. P. E. M. https://www.bipm.org/en/si. Acesso em: abril 2021.

[2] BROCKMAN, J. B. **INTRODUÇÃO À ENGENHARIA modelagem e solução de problemas**. [S.l.]: LTC, 2012.

[3] COCIAN, L. F. E. **Introdução à engenharia**. [S.l.]: [s.n.], 2017.

[4] HOLTZAPPLE, M. T.; REECE, W. D. **Introdução à ENGENHARIA**. [S.l.]: [s.n.], 2006.

[5] INMETRO. http://www.inmetro.gov.br/. Acesso em: abril 2021.

[6] INMETRO. **Resumo do Sistema Internacional de Unidades - SI**. [S.l.]: [s.n.].

[7] MALVINO, A.; BATES, D. J. **ELETRÔNICA**. 8ª edição. ed. [S.l.]: MCGRAW HILL – Bookman, v. VOLUME 1, 2016.

[8] SPIEGEL, M.; LIPSCHUTZ, S.; LIU, J. **Manual de Fórmulas e Tabelas Matemáticas**. 3a. ed. [S.l.]: bookman, 2012.