

Objetivos da quarta aula da unidade 1:

Evocar os conceitos de massa específica, peso específico, massa e peso específico relativos e viscosidade cinemática.

Introduzir a “segunda” classificação dos fluidos.

Mencionar as equações dimensionais das grandezas utilizadas na unidade 1.

Mencionar unidades e relações de unidades úteis no estudo da unidade 1.

Mencionar as variações da viscosidade com a pressão e com a temperatura, tanto para os líquidos como para os gases.

Resolver e propor exercícios.

Propor a tarefa, que visa provocar a participação das equipes, tanto na elaboração de uma aula como na sua avaliação.

1.7 Propriedades básicas dos fluidos

Neste item, evocamos algumas das propriedades básicas dos fluidos com o objetivo de introduzir a nomenclatura adotada.

1.7.1 Massa específica $\rightarrow \rho$

Define - se massa específica como sendo a massa do fluido (m) considerada por unidade de seu volume (V).

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

Equação 11

1.7.2 “Segunda” classificação dos fluidos

Esta classificação é feita em relação a sua massa específica e origina:

- **fluidos incompressíveis** \rightarrow são aqueles que para qualquer variação de pressão não ocorre variação de seu volume ($\rho = \text{constante}$);
- **fluidos compressíveis** \rightarrow são aqueles que para qualquer variação de pressão ocorre variações sensíveis de seu volume ($\rho \neq \text{constante}$).

Esta classificação é muito limitada, já que todos os fluidos são compressíveis, por este motivo, consideramos:

- **escoamentos incompressíveis** → que são aqueles provocados por uma variação de pressão que origina, tanto uma variação de temperatura como de volume desprezíveis ($\rho = \text{constante}$);
- **escoamentos compressíveis** → que são aqueles provocados por uma variação de pressão que origina, tanto uma variação de temperatura como de volume sensíveis (ρ não constante).

Observação - Evocando a equação 11, podemos escrever que:

$$\rho = f(m, V) \quad \text{ou} \quad \rho = f(m, p, \theta), \text{ onde:}$$

$$p \rightarrow \text{pressão} \quad \text{e} \quad \theta \rightarrow \text{temperatura.}$$

Para os escoamentos incompressíveis consideramos $\rho \cong \text{constante}$.

Na prática, esta condição pode ser observada nos seguintes casos:

- líquidos em instalações onde a variação da temperatura é desprezível;
- ar em projeto de ventilação;
- gases escoando com velocidades inferiores à cerca de 70 m/s e onde a variação da temperatura é considerada desprezível (geralmente em instalações de ar condicionado).

Observação - Neste curso só estudaremos os escoamentos incompressíveis.

1.7.3 Peso específico $\rightarrow \gamma$

Define-se peso específico como sendo o peso do fluido (G) considerado por unidade de volume (V).

$$\gamma = \frac{G}{V} \quad \text{Equação 12}$$

1.7.4 Relação entre peso específico e massa específica

$$\gamma = \frac{G}{V} = g \cdot \frac{m}{V} = g \cdot \rho \quad \text{Equação 12}$$

1.7.5 Massa específica e peso específico relativo $\rightarrow \rho_r$ e γ_r

Define-se massa específica relativa (ρ_r), como sendo a relação da massa específica do fluido considerado e a massa específica padrão da água para líquidos e do ar para gases, respectivamente equação 14 e 15.

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{H_2O}} \quad \text{Equação 13}$$

$$\rho_r = \frac{\rho}{\rho_{ar}} \quad \text{Equação 14}$$

O peso específico relativo (γ_r) define-se de maneira análoga a massa específica relativa, porém considerando-se a relação entre os pesos específicos, respectivamente do fluido considerado e o peso específico padrão d'água se for líquido, ou o peso específico padrão do ar se for gás (equações 16 e 17).

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{H_2O}} \quad \text{Equação 15}$$

$$\gamma_r = \frac{\gamma}{\gamma_{ar}} \quad \text{Equação 16}$$

Demonstra - se facilmente que:

$$\gamma_r = \rho_r \quad \text{Equação 17}$$

1.7.6 Viscosidade cinemática $\rightarrow \nu$

A viscosidade cinemática é geralmente obtida em laboratórios através dos viscosímetros e é definida como sendo a relação entre a viscosidade dinâmica e a massa específica do fluido, ambas consideradas à mesma pressão e temperatura.

A viscosidade cinemática foi criada a partir da equação de Poiseuille, para a determinação da viscosidade em viscosímetros industriais. Esta lei é válida para escoamentos laminares e em regime permanente, desde que o fluido seja considerado Newtoniano e seu escoamento seja considerado incompressível. A equação relaciona o tempo necessário (t) para que um volume padrão (V) de um dado fluido a uma pressão “p”, escoe em um capilar de comprimento “L” e raio “R”.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} = \frac{\pi}{8} \times \frac{p \times R^4}{V \times \rho \times L} \times t \quad \text{Equação 18}$$

1.8 Equações dimensionais

As equações dimensionais além de serem fundamentais para definir as unidades das grandezas, serão muito importantes para os estudos de semelhança.

As grandezas são classificadas em **grandezas fundamentais** e **grandezas derivadas**, sendo que estas devem ser definidas pelas grandezas fundamentais, caracterizando desta maneira o que denominamos de **equações dimensionais**, que são representadas por um produto de potências com bases formadas pelas grandezas fundamentais e expoentes que indicam a relação entre a grandeza derivada e a grandeza fundamental considerada.

Para Mecânica dos Fluidos geralmente adota-se como grandezas fundamentais a **força (F)**, o **comprimento (L)** e o **tempo (T)**, todas as demais são consideradas derivadas e devem ser definidas em função de **F, L e T**.

Na unidade 1, podemos caracterizar as seguintes equações dimensionais:

- $F_{\mu} \rightarrow$ força de resistência viscosa $\rightarrow \{F_{\mu}\} = F$
- $\tau \rightarrow$ tensão de cisalhamento $\rightarrow \{\tau\} = F \cdot L^{-2}$
- $\frac{dv}{dy} \rightarrow$ gradiente de velocidade $\rightarrow \left\{ \frac{dv}{dy} \right\} = T^{-1}$
- $\mu \rightarrow$ viscosidade, ou viscosidade dinâmica ou absoluta $\rightarrow \{\mu\} = F \cdot L^{-2} \cdot T$
- $\rho \rightarrow$ massa específica $\rightarrow \{\rho\} = F \cdot L^{-4} \cdot T^2$
- $\gamma \rightarrow$ peso específico $\rightarrow \{\gamma\} = F \cdot L^{-3}$
- $\rho_r \rightarrow$ massa específica relativa $\rightarrow \{\rho_r\} = F^0 L^0 T^0$
- $\gamma_r \rightarrow$ peso específico relativo $\rightarrow \{\gamma_r\} = F^0 L^0 T^0$

- $\nu \rightarrow$ viscosidade cinemática $\rightarrow \{\nu\} = L^2 T^{-1}$

1.9 Unidades no Sistema Internacional e Principais Conversões

Vamos nos deter as grandezas que estudamos na unidade 1 :

- **grandezas fundamentais:**

- **força:** N (Newton)
- **comprimento:** m (metro)
- **tempo:** s (segundo)

- **força de resistência viscosa:** N

- **tensão de cisalhamento:** $\frac{N}{m^2} = \text{Pa (Pascal)}$

- **gradiente de velocidade:** $\frac{1}{s}$

- **viscosidade dinâmica:** $\frac{N \times s}{m^2} = \frac{10^5 \times \text{dina} \times s}{10^4 \text{cm}^2} = 10 \text{ poise}$
 $= 10^3 \text{ centipoise} = 1 \text{ Pa} \times s$

- **massa específica:** $\frac{N \times s^2}{m^4} = \frac{kg}{m^3} = \frac{10^3 g}{10^6 \text{cm}^3} = 10^{-3} \frac{g}{\text{cm}^3}$

- **peso específico:** $9,8 \frac{N}{m^3} = \frac{kgf}{m^3}$

- **viscosidade cinemática:** $\frac{m^2}{s} = 10^4 \frac{\text{cm}^2}{s} = 10^4 \text{ stoke} = 10^6 \text{ centistoke}$

- **velocidade escalar:** $\frac{m}{s} = 100 \frac{\text{cm}}{s}$

- nas indústrias de petróleo, comumente usa - se como unidade de massa específica o °API (densidade API), que é uma escala expressa em graus e dada por números inteiros:

$$[\rho] = \frac{141,5}{\text{densidade a } 60/60^\circ\text{F}} - 131,5$$

onde densidade a $60/60^\circ\text{F}$ representa um número que é obtido da relação entre a massa do produto e a massa de água, ambas a 60°F (ρ_r).

1.10 Informações adicionais sobre a viscosidade

1.10.1 Viscosidade dinâmica dos líquidos

A viscosidade dos líquidos aumenta em função da pressão aplicada. Isto é devido, provavelmente, a nenhum líquido ser completamente incompressível e ao diminuir seu volume haveria uma aproximação das moléculas, o que provocaria o aumento das forças de atrito entre as camadas de líquido.

A expressão matemática para tal variação, uma função exponencial proposta por Barns (1893), não é contudo, praticamente utilizada, pois além de ser pequena esta variação, só seria aplicada a poucas aplicações.

Nas aplicações usuais da Engenharia, a viscosidade dos líquidos pode ser considerada como sendo função do líquido e da sua temperatura.

Para os líquidos a viscosidade está diretamente relacionada com a coesão entre as moléculas e como esta coesão diminui com o aumento da temperatura, pode-se concluir que a sua viscosidade também diminui.

Pesquisadores concluíram que a viscosidade dos líquidos é uma função exponencial do inverso da temperatura e daí, através desta consideração obtiveram uma série de fórmulas empíricas para a determinação da viscosidade em função da temperatura.

Para se evitar a utilização de “n” fórmulas empíricas, recorreremos ao monograma apresentado no livro “Flow of Fluids” by drew and generaux sec. 6 , Perry’s Chemical Engineer’s Handbook - Mc Graw Hill Book Company (nomograma 1).

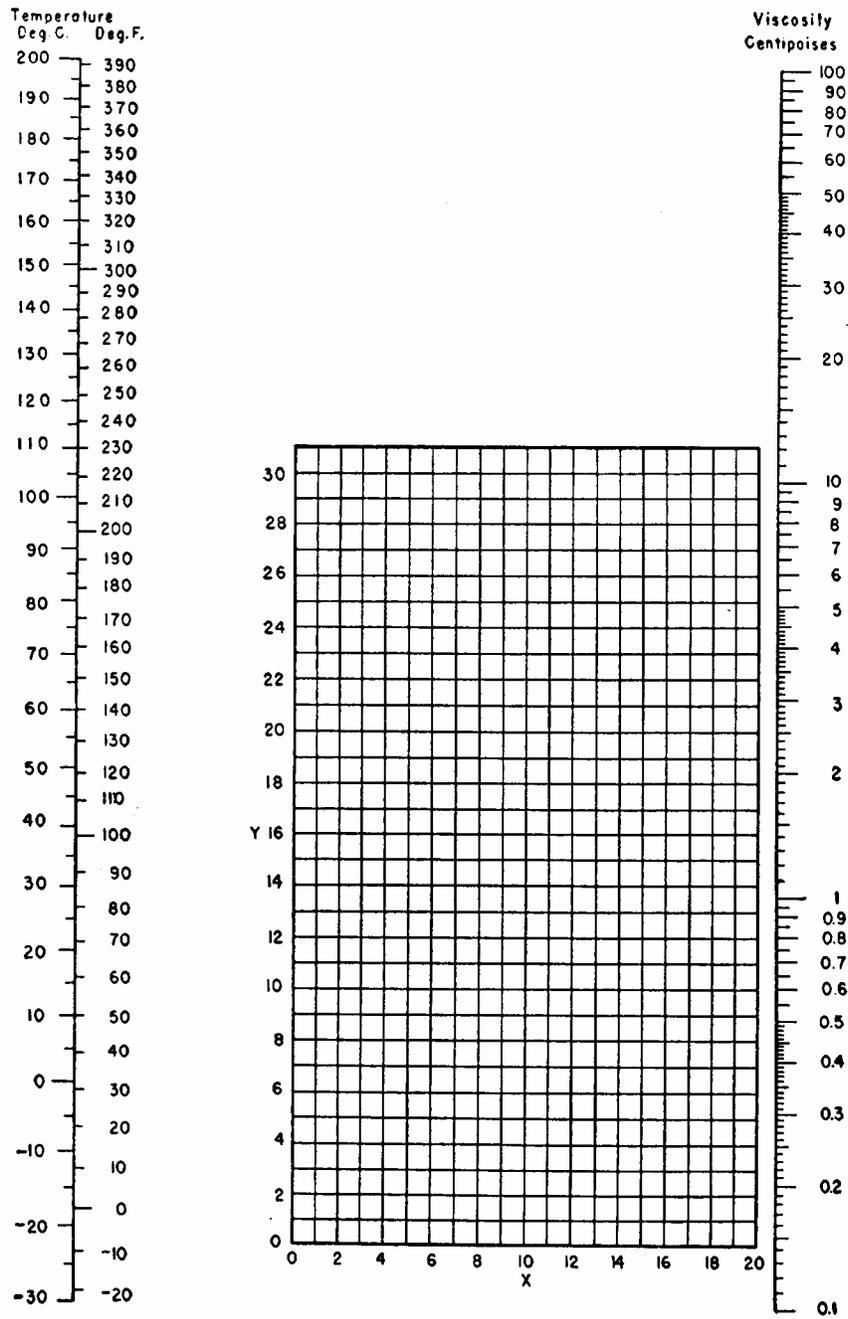
Localiza-se para cada líquido o ponto respectivo de coordenadas x e y (tabela 1).

A reta que une o valor lido sobre o eixo da temperatura com o ponto considerado, intercepta o eixo das viscosidades, indicando o valor da viscosidade do líquido naquela temperatura em centipoise (centipoise = cP).

Nota: $1 \text{ cP} = 10^{-3} \frac{\text{N} \times \text{s}}{\text{m}^2}$

Líquido	x	y
água	10.2	13.0
álcool etílico 95%	9.8	14.3
álcool etílico 40%	6.5	16.6
álcool etílico 100%	10.5	13.8
gasolina ($\gamma_R=0,68$)	14.0	7.0
freon 12	16.8	5.6
freon 22	17.2	4.7
naftaleno	7.9	18.1
óleo ($\gamma_R=0,86$)	8.6	22.7

Tabela 1



Nomograph for viscosities of liquids at 1 atm.

Nomograma 1

1.10.2 Viscosidade dinâmica dos gases

Para os gases a viscosidade está diretamente relacionada com a energia cinética das moléculas e isto justifica os mesmos apresentarem comportamento contrário ao dos líquidos.

Para os gases a viscosidade é uma função crescente da temperatura, dependendo inclusive da pressão, com a qual também cresce.

O nomograma 2 possibilita a determinação da viscosidade dinâmica do gás em centipoise.

A sua utilização é análoga a apresentada para o nomograma 1.

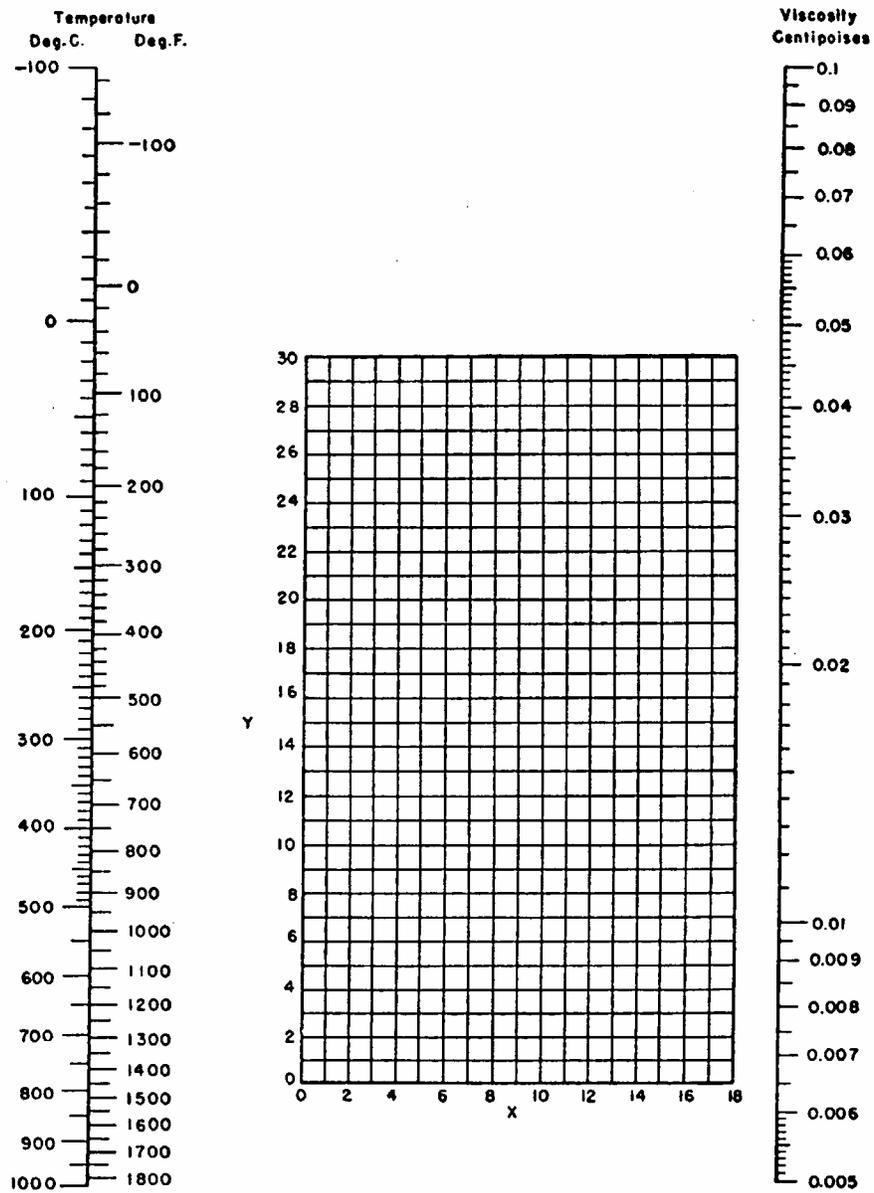
A tabela 2 apresenta alguns exemplos de ordenadas para gás.

Salientamos que o nomograma 2 é válido para os gases que se encontram a uma pressão compreendida entre 0,6 e 1 atmosfera.

Gás	x	y
ar	11.0	20.0
hidrogênio	11.2	12.4
freon 11	10.6	15.1
freon 12	11.1	16.0
freon 22	10.1	17.0
oxigênio	11.0	21.3
nitrogênio	10.6	20.0
etileno	9.5	15.1

Tabela 2

Nota: O freon só foi considerado nas tabelas anteriores como exemplo e para propiciar o comentário que não deve ser mais utilizado, já que ataca o meio ambiente.



Nomograma 2

1.11 Relações de unidades usuais

Apesar do Sistema Internacional (SI) ser adotado por lei desde 1968 e estar sendo cada vez mais usado, ainda nos deparamos com vários outros sistemas de unidades, por este motivo apresento algumas das relações de unidades comumente encontradas no dia a dia da Engenharia.

1.11.1 Unidades de comprimento

Unidade	Símbolo	Relação com o metro
metro	m	1
decâmetro	dam	10
hectômetro	hm	10^2
quilômetro	km	10^3
decímetro	dm	10^{-1}
centímetro	cm	10^{-2}
milímetro	mm	10^{-3}
jarda	yd	0,9144
pé	ft	0,3048
polegada	in	$2,54 \cdot 10^{-2}$
* 1 milha marítima = 1852 m		* 1 milha terrestre = 1609 m

1.11.2 Unidades de massa

Unidade	Símbolo	Relação com quilograma
quilograma	kg	1
grama	g	10^{-3}
unidade técnica de massa	utm	9,81
libra - massa	lb.	0,4535
onça	oz	$2,83 \cdot 10^{-2}$
slug	slug	14,59

1.11.3 Unidades de força

Unidade	Símbolo	Relação com Newton
Newton	N	1
dina	dina	10^{-5}
quilograma - força	kgf	9,81
poundal	pdl	0,138
libra - força	lbf	4,45
1 nó = 1(milha marítima / hora)		

Tarefa:

Você me “ferrou” na prova ...

Um dos grandes desafios da Reeducação: **eliminar velhos paradigmas**, como o representado pela frase anterior, isto porque na Reeducação o educador e o aluno tornam-se parceiros na busca da Qualidade.

Esta parceria exigirá dedicação e comprometimento de ambos.

Esta tarefa será constituída de duas partes, sendo este o motivo que levou-me a dividi-la em duas aulas.

1ª Parte: Como devo apresentar um relatório.

2ª Parte: Como me preparar para acertar as questões da prova referentes à unidade 1.

Sugestões para elaborar a tarefa:

Referentes a 1ª Parte: um grande número de aplicações da Engenharia se encontram normalizados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT); será que a ABNT não tem nenhuma norma que orienta como elaborar um relatório?

Referentes a 2ª Parte: um dos melhores métodos de estudo está associado à preparação da docência referente a um dado tema, por outro lado, uma das melhores maneiras de prepará-lo é elaborando uma série de perguntas ligadas ao tema em questão.

Devemos imaginar quais as perguntas que poderiam ser feitas por nossos alunos e preparar as suas respostas.

Apresento a seguir uma série de perguntas associadas a 2ª parte da tarefa.

P1 - Qual a grandeza física que é responsável pela “criação” de um movimento retilíneo uniformemente variado? Qual a sua equação dimensional? Quais as suas unidades no SI, MK*S e CGS?

P2 - Sabendo que a intensidade de uma força é 12,5 N, qual o seu valor correspondente nos sistemas MK*S e CGS?

P3 - Um corpo de peso igual a 40 Kgf está apoiado em um plano inclinado de 50° . Qual a sua componente tangencial e normal ao plano de apoio no SI?

P4 - Qual a grandeza física que é responsável pela “criação” de um movimento circular variável? Qual a sua equação dimensional? Quais as suas unidades no SI, MK*S e CGS?

P5 - Você conhece algum exemplo prático de MCV?

P6 - Um eixo maciço, de diâmetro externo igual a 8 cm, gira com uma rotação constante e igual a 540 rpm, qual seria a velocidade escalar dos pontos de sua superfície externa?

P7 - Como você definiria um fluido? Qual a sua função básica quando usado como meio lubrificante?

P8 - Quais as classificações básicas dos fluidos?

P9 - Na unidade 1, ao se colocar um fluido lubrificante em contato com uma superfície que apresenta um MRUV, ocorre alguma alteração do movimento? Justifique.

P10 - No caso de ser um MCV, ocorreria alguma alteração no movimento? Justifique.

P11 - Quais as possibilidades de movimentos estudados na unidade 1? Quais as condições que devem ser impostas para viabilizá-los?

P12 - O que Newton observou e concluiu com a experiência das duas placas?

P13 - Qual a equação matemática que representa a lei de Newton da viscosidade? Qual o significado físico e a equação dimensional de cada um de seus parâmetros?

P14 - Dada a equação $v = 2y^2 + 4y$, onde v é dada em m/s e y em m, sabendo-se que v só varia com y , qual é o valor do gradiente de velocidade no CGS? Se considerar outro sistema de unidade haverá alteração no valor do gradiente? Justifique.

P15 - Na prática a lei de Newton da viscosidade é utilizada para calcular que tipo(s) de grandeza(s)? Justifique.

P16 - O que você entende por gradiente de velocidade?

P17 - O que você precisa conhecer para calcular o gradiente de velocidade?

P18 - Que tipo de viscosidade geralmente determina-se em laboratório? Com que aparelho?

P19 - Sabendo-se que a massa específica relativa de um dado líquido é 0,73, pergunta-se:

- qual o seu peso específico no sistema CGS?
- considerando para o líquido especificado uma amostra de 1 litro, qual seria sua massa no SI, MK*S e CGS?

P20 - Qual(is) o(s) outro(s) nome(s) dado(s) a viscosidade dinâmica?

P21 - Como relacionamos a viscosidade cinemática com a viscosidade dinâmica?

P22 - Qual a variação da viscosidade de um líquido observada com o aumento de sua temperatura? Justifique.

P23 - Para um gás ela se comportaria da mesma maneira? Justifique.

P24 - O que significa para você o centipoise e o centistoke?

P25 - Elabore um exercício para a determinação da viscosidade dinâmica e cinemática, tanto para um MU como para um MCV. Explique a resolução dos mesmos.

Observação:

1ª - Compare as respostas das perguntas P12, P15 a P24 com aquelas que você havia dado nas páginas 6 a 8 da apostila, o que você pode concluir da comparação?

A VERDADE

Em uma pequena cidade, pacata, isolada e sem muitos atrativos, certo dia surgiu uma jovem e linda mulher que, bem vestida e bem penteada, percorreu a cidade ante a admiração de todos. E assim, por muitos e muitos dias, essa mulher surgia, causando a mesma reação das pessoas.

Um dia, ao invés dos lindos trajes, dos penteados e adornos que a todos cativara, essa mulher surgiu caminhando pelas ruas da cidade completamente nua, sem adornos, com seus cabelos soltos.

Imediatamente, todos começaram a injuriá-la e apedrejá-la, por sua atitude ofensiva.

Essa mulher era a Verdade.

E assim, exatamente como o povo dessa cidadezinha, nós agimos em relação à Verdade. Como ela nos chega bem trajada, maquiada e adornada de acordo com nossos valores e crenças, nós a aceitamos, admiramos e exaltamos.

No entanto, a Verdade nua, sem laços com nossos paradigmas, sem compromisso com nossa visão restrita, é tratada como calúnia e ofensa.

Autor desconhecido.