Universidade POSITIVO

Sistemas Estruturais I – Aula 02
Bases para Projeto de Estruturas Metálicas

- Propriedades do Aço e Ensaios
- Produtos Siderúrgicos
- Métodos de Cálculo

Prof. Juliano J. Scremin

Universidade POSITIVO

Aula 02 – Seção 1:
Propriedades Mecânicas do Aço e Ensaios

Propriedades Mecânicas

- As principais propriedades mecânicas gerais do aço estrutural estão relacionadas a seguir (NBR-8800-4.5.2.9):

Propriedade	Valor
Módulo de Elasticidade	**E = 200.000 MPa**
Módulo de Elasticidade Transversal	**G = 70.000 Mpa**
Coeficiente de Poisson	**v_a = 0,3**
Coeficiente de Dilatação Térmica	**$\beta_a = 12 \times 10^{-6}\ ^oC$**
Massa específica	**$\rho_a = 7.850\ Kg/m^3$**

Conversão entre unidades

- **Força:**

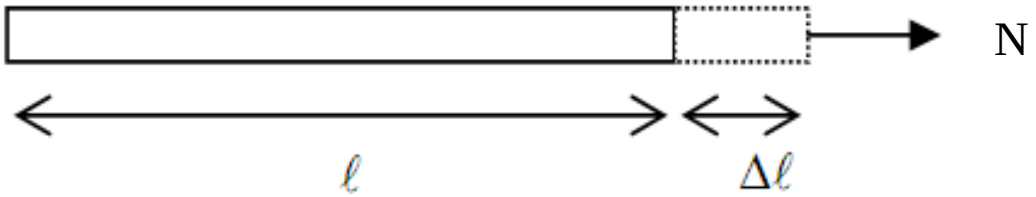
1kN	=	0,1 tf	=	100 kgf

  - **Ou seja 1 tf = 10kN;**

- **Tensão:**

Multiplicativo	Unidades
100	kPa (kN/m²)
10	tf/m²
1	kgf/cm²
0,1	MPa
0,01	kN/cm²

Tensões x Deformações



- A partir da resistência dos materiais têm-se:

$$\sigma = {}^{N}/_{A}$$

N - força normal
A - área da seção transversal
σ - tensão normal

$$\varepsilon = {}^{\Delta l}/_{l}$$

Δl - deslocamento axial da ponta da barra
l - comprimento inicial da barra
ε - deformação axial

Ensaio de Tração Simples (1)

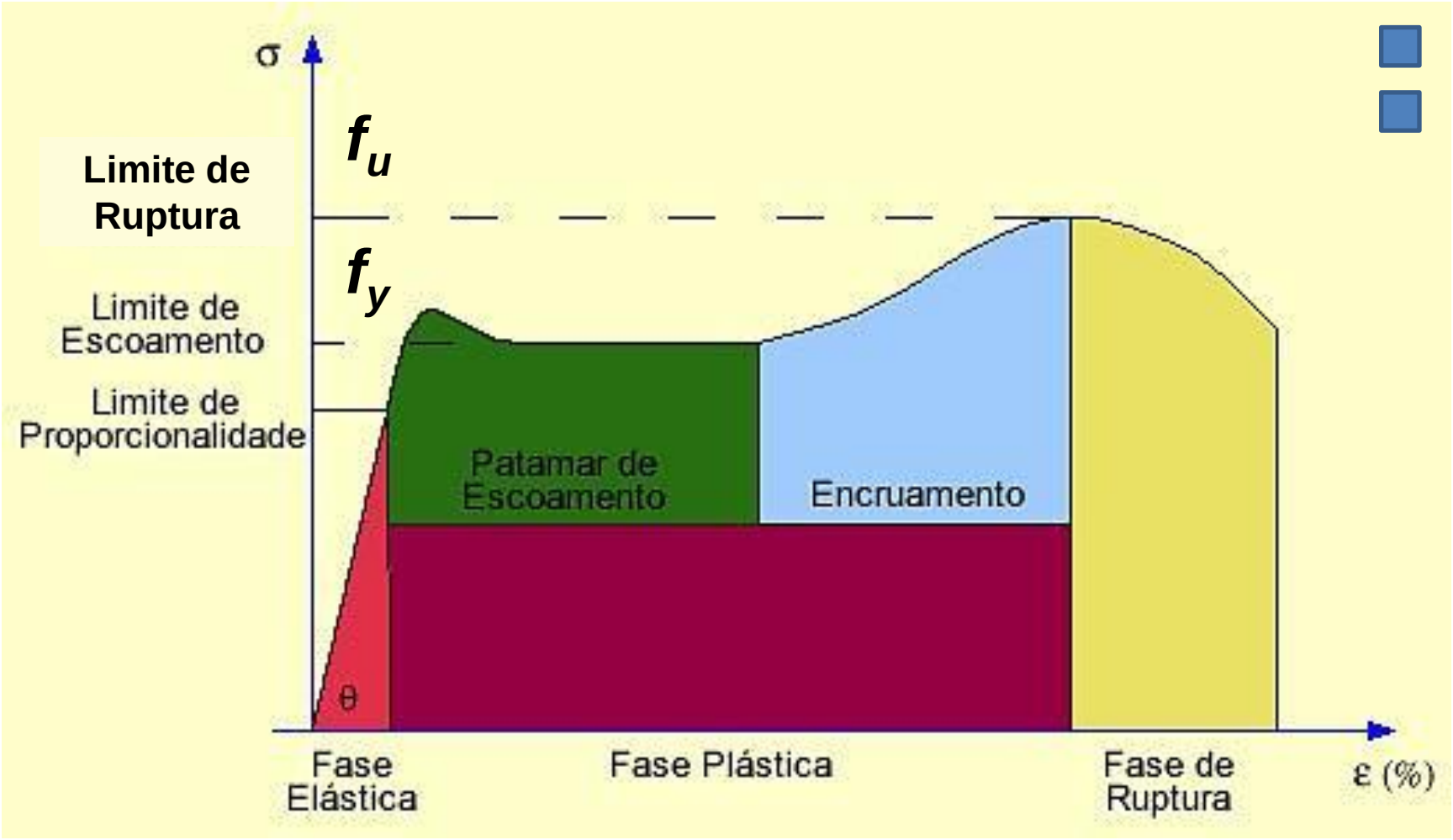


Figura: http://www.cesec.ufpr.br/metalica/04/04-texto.htm

Ensaio de Tração Simples (2)

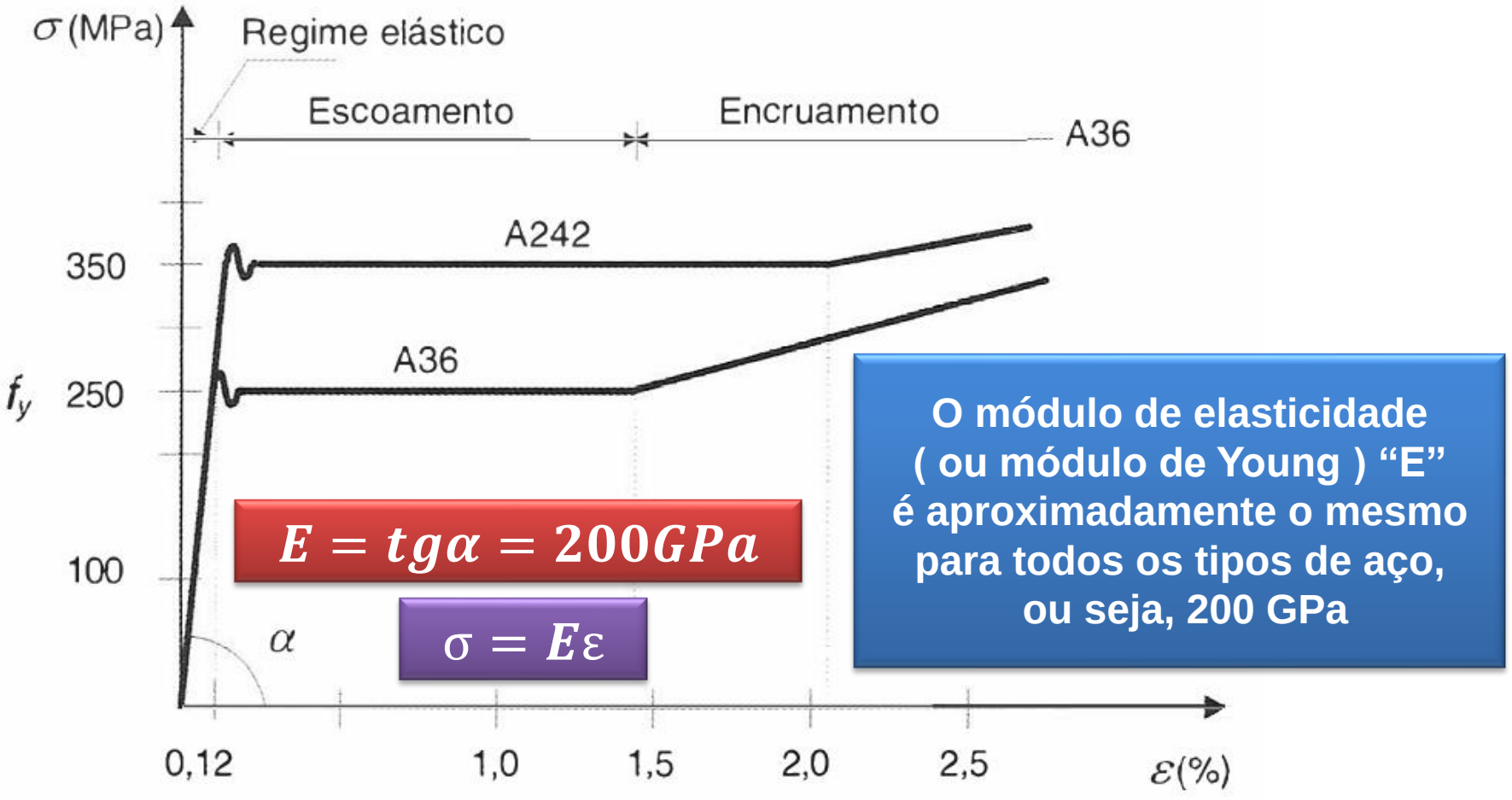


Figura: Pfeil, W. - Dimen. Prático de Est. de Aço - 8ª. Ed. 2008

Padronização da ABNT

- Segundo a especificação da norma **NBR 7007 – Aços para perfis laminados para uso estrutural da ABNT**, os aços podem ser enquadrados nas seguintes categorias, designadas a partir do limite de escoamento (fy):

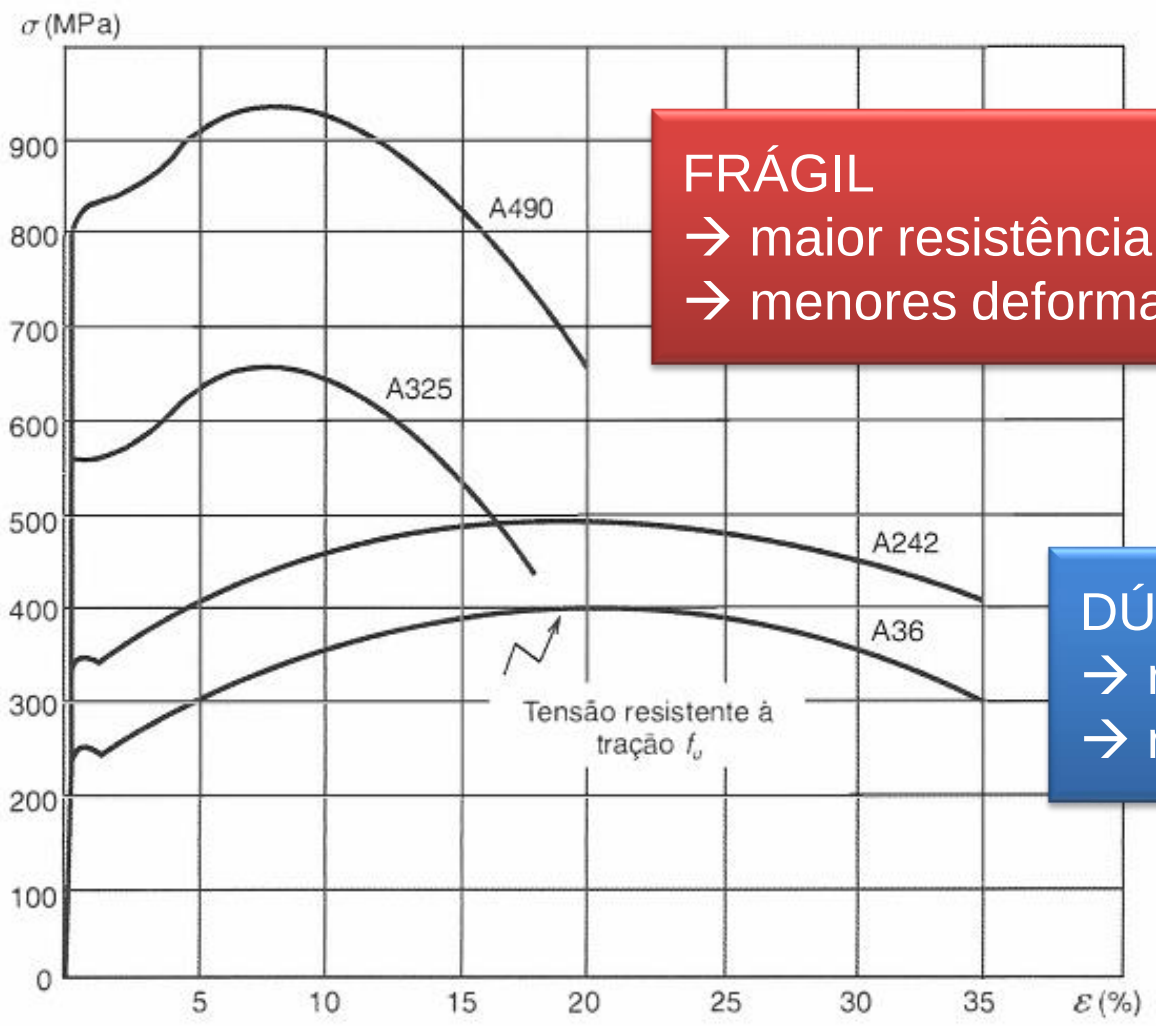
Classe	Aço	fy (escoamento)	fu (ruptura)
Média resistência	**MR 250**	**250 MPa**	**400 MPa**
Alta resistência	**AR 350**	**350 MPa**	**450 Mpa**
	AR 415	**415 MPa**	**520 Mpa**
Alta resistência e maior resistência a corrosão atmosférica	**AR 350 COR**	**350 MPa**	**485 Mpa**

Ductilidade x Fragilidade (1)

Ductilidade	Fragilidade

• Capacidade do material se **deformar sob ação de cargas**;
• Aços dúcteis, sujeitos a tensões locais elevadas, sofrem **deformações plásticas capazes de redistribuir tensões**;
• Conduz a mecanismos **de ruptura acompanhados de grandes deformações** o que leva a **sinalização** da atuação de cargas elevadas;
	• **Oposto da ductilidade**;
	• Aços podem tornar-se frágeis devido:
	  • **Baixas temperaturas ambientes**;
	  • **Efeitos térmicos locais** causados por exemplo por solda elétrica;
	• Materiais frágeis **rompem-se bruscamente**, sem aviso prévio ;
	• Propagação de fraturas;

Ductilidade x Fragilidade (2)



FRÁGIL
→ maior resistência
→ menores deformações

DÚCTIL
→ menor resistência
→ maiores deformações

Figura: Pfeil, W. - Dimen. Prático de Est. de Aço - 8ª. Ed. 2008

Elasticidade x Plasticidade (1)

Elasticidade	Plasticidade
• Elasticidade é a capacidade de um material **voltar a forma original em ciclo de carregamento e descarregamento;**	• A **deformação plástica é permanente** sendo provocada por tensão **igual ou superior à tensão de escoamento fy ;**
• A **deformação elástica é reversível**, ou seja, desaparece quando a tensão é removida**;**	• É resultado de um **deslocamento permanente dos átomos** que constituem o material diferindo portanto da deformação elástica onde os átomos mantém suas posições relativas;
• **Relação linear de tensão x deformação** → módulo de elasticidade ou módulo de Young que para os aços estruturais é **E = 200GPa;**	• Ocorre uma **alteração da estrutura interna do metal**, tornando mais difícil o escorregamento posterior e aumentando a dureza do material → **encruamento**

Elasticidade x Plasticidade (2)

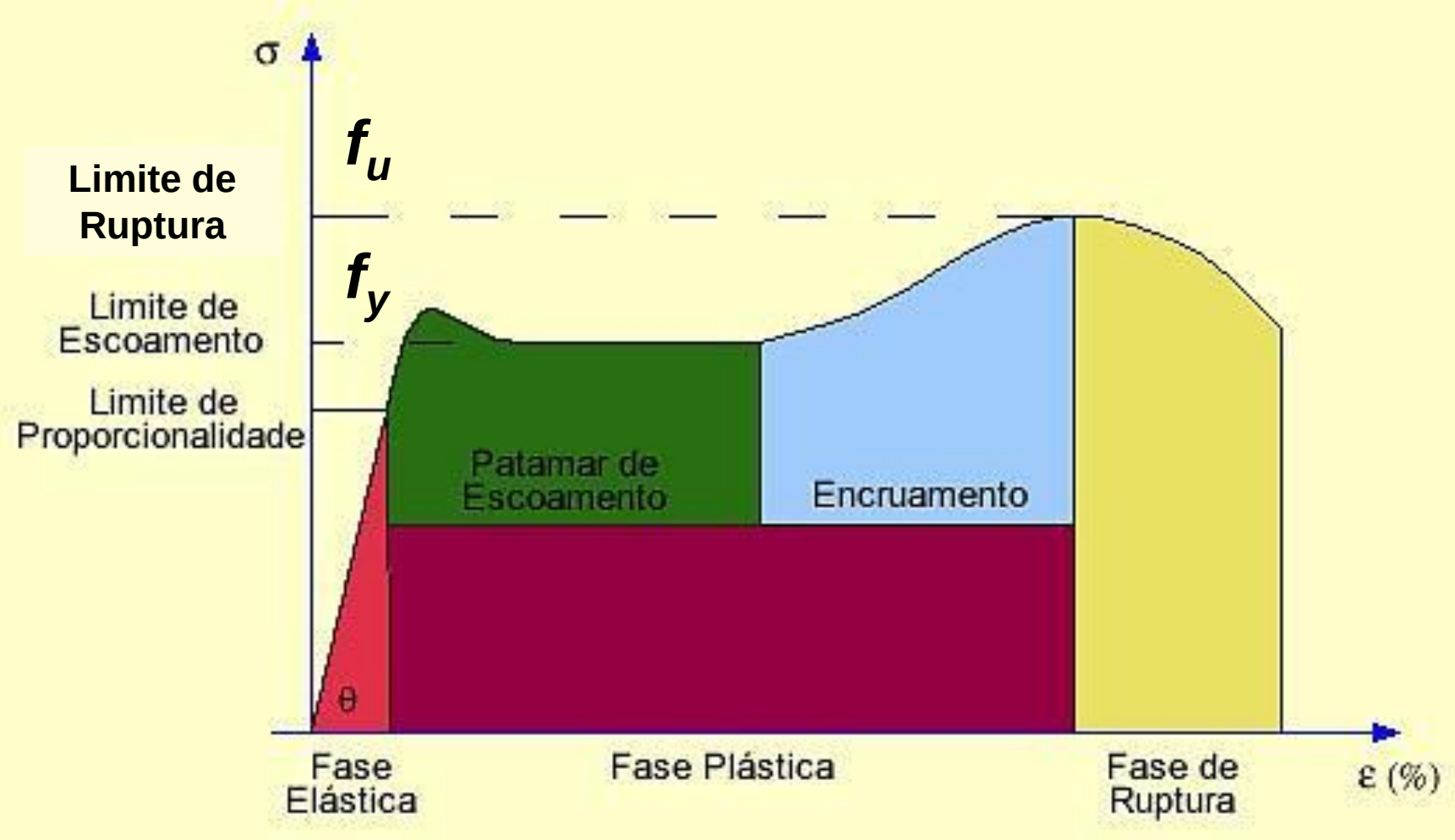
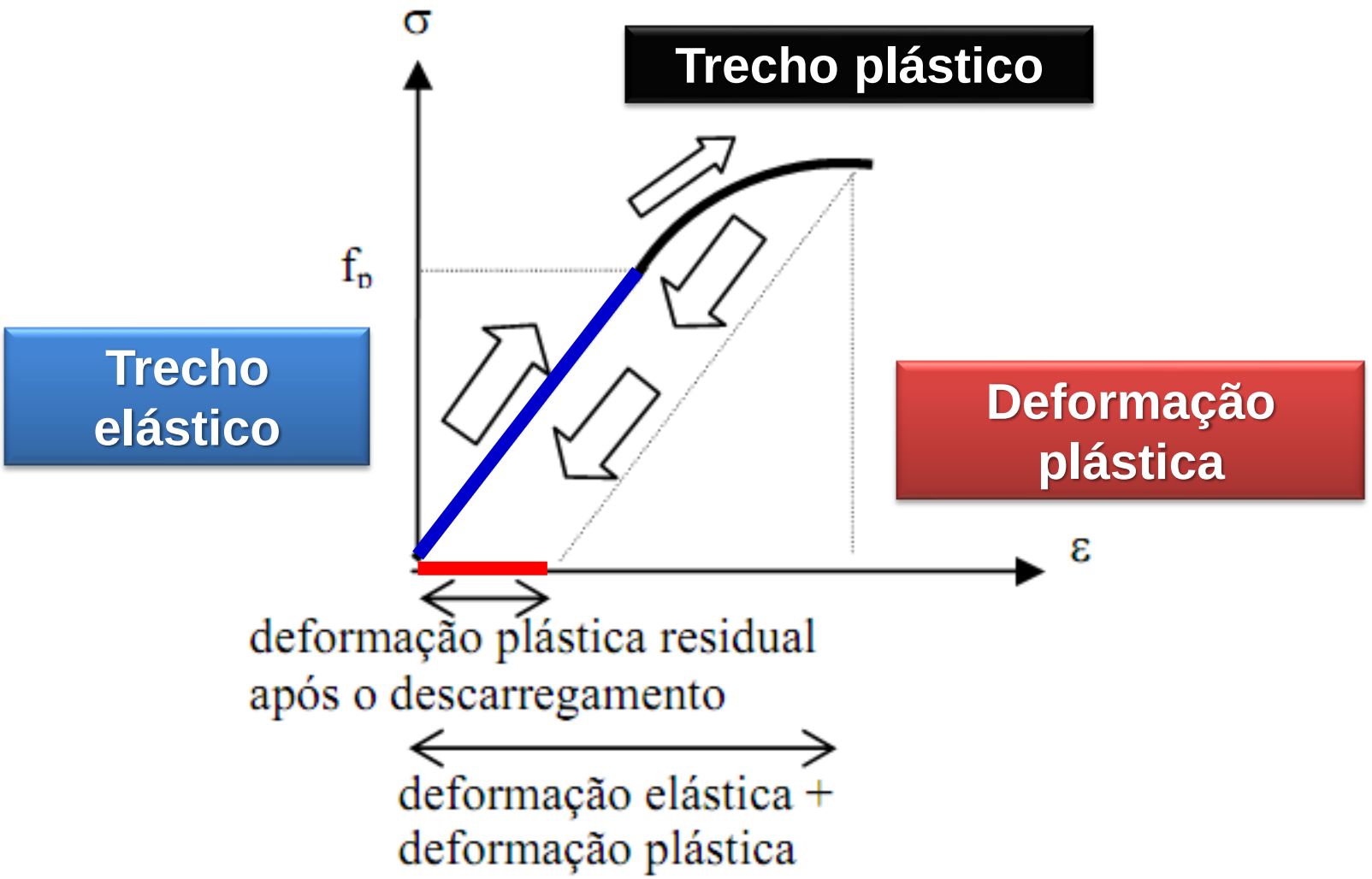


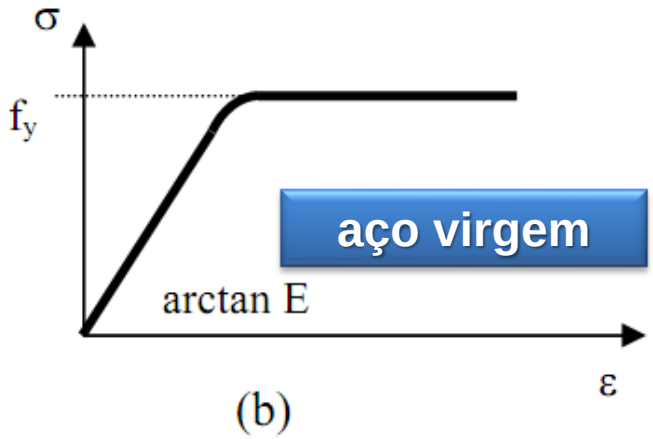
Figura: http://www.cesec.ufpr.br/metalica/04/04-texto.htm

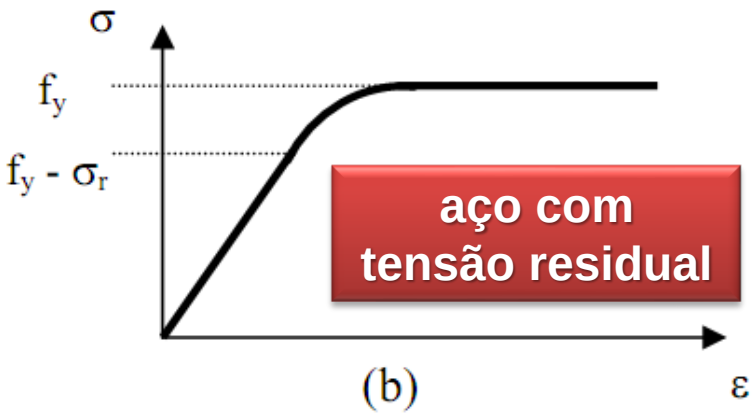
Elasticidade x Plasticidade (3)



Tensões Residuais (σ_r)

- Tensões originadas das **diferentes velocidades de resfriamento**, após a laminação, conforme o grau de exposição da chapa ou perfil, e que permanecem nestes.
- Também podem ser provocadas por **operações posteriores**, nas fábricas, como **soldagem, corte com maçarico** e etc.
- A NBR 8800, simplificadamente, adota o seguinte valor para as tensões residuais: **$\sigma_r = 0{,}3.fy$**



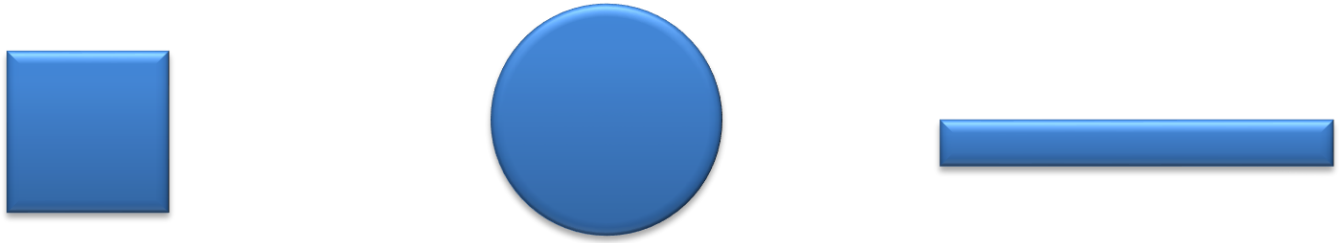


Universidade POSITIVO

Aula 02 – Seção 2:
Produtos Siderúrgicos

Produtos Siderúrgicos – Barras

- Dimensões da seção transversal são muito pequenas em relação a longitudinal;
- São laminadas em **seções circulares, quadradas ou retangulares alongadas (barras chatas);**



- Seções transversais de barras -

Produtos Siderúrgicos – Chapas

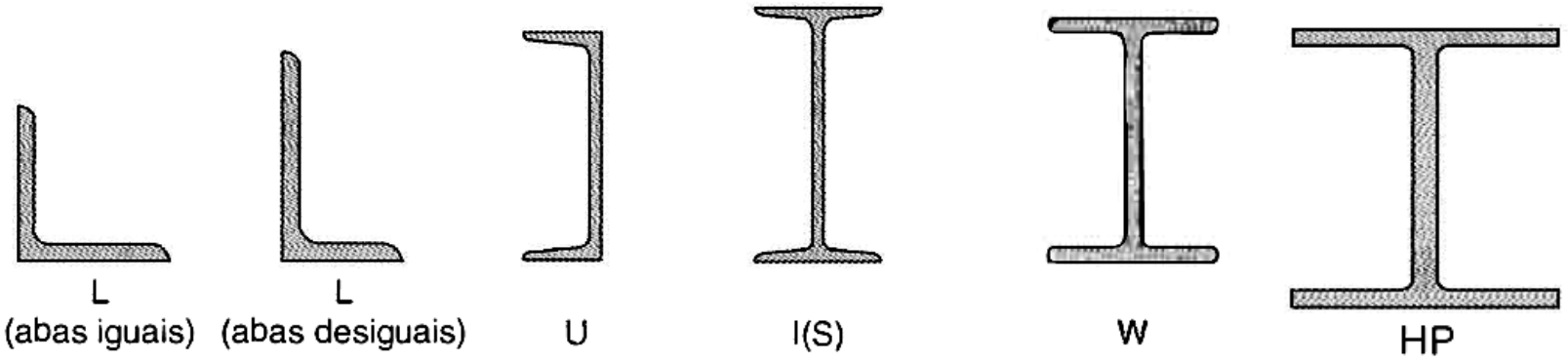
- Produtos laminados nos quais uma dimensão (a espessura) é muito menor que as oturas duas (largura e comprimento)
- Espessuras acima de 5 mm são consideradas CHAPAS GROSSA e igual ou abaixo desta CHAPAS FINAS

Espessuras padrão para CHAPAS GROSSAS	
6,30 mm	25,0 mm
8,00 mm	31,5 mm
9,50 mm	37,5 mm
12,5 mm	50,0 mm
16,0 mm	63,0 mm
19,0 mm	75,0 mm
22,4 mm	100,0 mm

Espessuras padrão para CHAPAS FINAS	
0,60 mm	2,25 mm
0,75 mm	2,65 mm
0,85 mm	3,00 mm
0,90 mm	3,35 mm
1,06 mm	3,75 mm
1,20 mm	4,25 mm
1,50 mm	4,50 mm
1,70 mm	4,75 mm
1,90 mm	5,00 mm

Perfis Laminados (1)

- **Perfis C:** comumente denominados perfis U;
- **Perfis L:** cantoneira – abas iguais ou desiguais;
- **Perfis I / H - S (“standard beam”):** mesas de faces internas inclinadas;
- **Perfis I / H - W (“wide flange”):** com mesas de faces paralelas;
- **Perfis HP:** mesas de faces paralelas e espessura constante;



Tipos de perfis

Figura: Pfeil, W. - Dimen. Prático de Est. de Aço - 8ª. Ed. 2008

Perfis Laminados (2)

- Nomenclatura de perfis laminados:
  - Para perfis I/H - S, U, I/H - W e HP a nomenclatura é feita com :

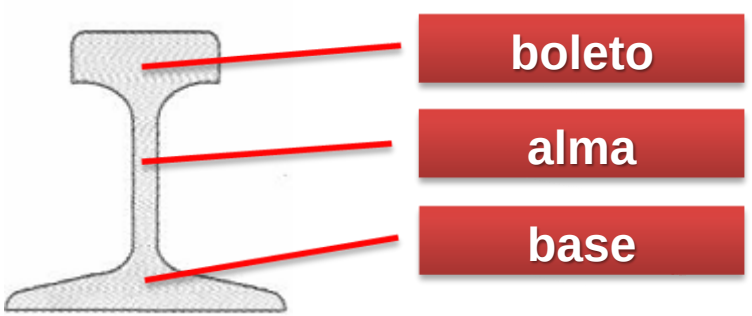
LETRA DO TIPO DE PERFIL	ALTURA (mm)	PESO LINEAR (kg/m)

Ex.: W 150 x 13,0 (perfil I de faces internas paralelas com altura de 150 mm e peso linear de 13,0 kg/m)

  - Para cantoneiras de abas iguais é indicada somente a altura da aba;
  - Para cantoneiras de abas desiguais são indicadas as duas alturas de abas;
  - Os padrões europeus de laminados tem uma nomenclatura distinta a ser comentada na solução de exercícios;

Produtos Laminados – Trilhos / Tubos

- **Trilhos:**
  - Produtos laminados destinados a servir de apoio para as rodas metálicas de pontes rolantes ou trems;
  - As laminações de trilhos no Brasil seguem os padrões da indústria americana;



- **Tubos:**
  - Produtos ocos, se **seção circular, retangular ou quadrada**.
  - Podem ser produzidos em **laminadores especiais (tubos sem costura)** ou com **chapa dobrada e soldada (tubos com costura)**;

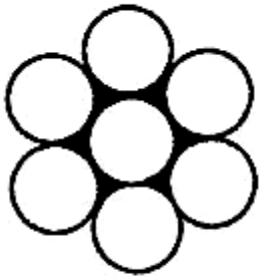
Fios, Cordoalhas e Cabos (1)

- **Fios:**
  - Fios ou arames são obtidos por **trefilação**;
  - Podem ser de aço doce ou aço duro (alto carbono);
  - Fios de aço duro são utilizados em molas, cabos de protensão de estruturas e etc;
- **Cordoalhas:**
  - São formadas por **três ou sete fios arrumados em forma de hélice**;
  - Têm módulo de elasticidade **E = 195 GPa**, ou seja, tão elevado quanto o de uma barra de aço maciça;
- **Cabos:**
  - São formados por **fios trefilados finos, agrupados em arranjos helicoidais** variáveis;
  - São bastante flexíveis entretanto seu módulo de elasticidade é cerca de 50% do módulo de uma barra maciça;

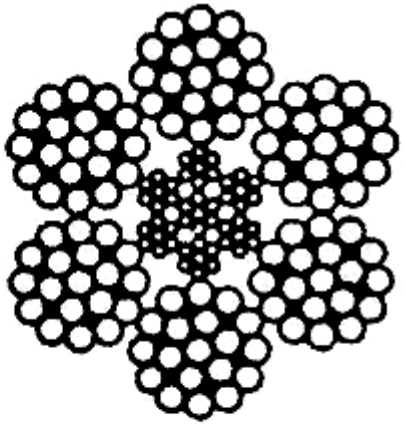
Fios, Cordoalhas e Cabos (2)



(a) Fios trefilados



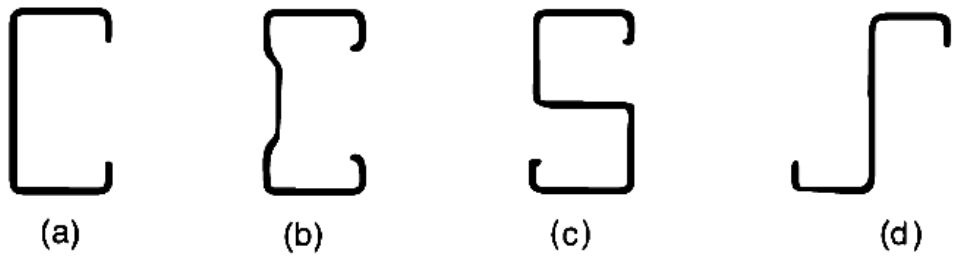
(b) Cordoalha de sete fios



(c) Cabo de aço

Perfis de Chapa Dobrada

- Dobragem a frio em prensas especiais com gabaritos que limitam os **raios internos de dobragem** a certos valores mínimos, especificados para **impedir a fissuração** do aço;
- Uso de **chapas muito finas (abaixo de 3 mm de espessura) é desaconselhável** por conduzir a problemas de instabilidade estrutural;
- Norma brasileira **NBR 14762 (2001) Dimensionamento de Estruturas de Aço Constituídas de Perfis Formados à Frio**;



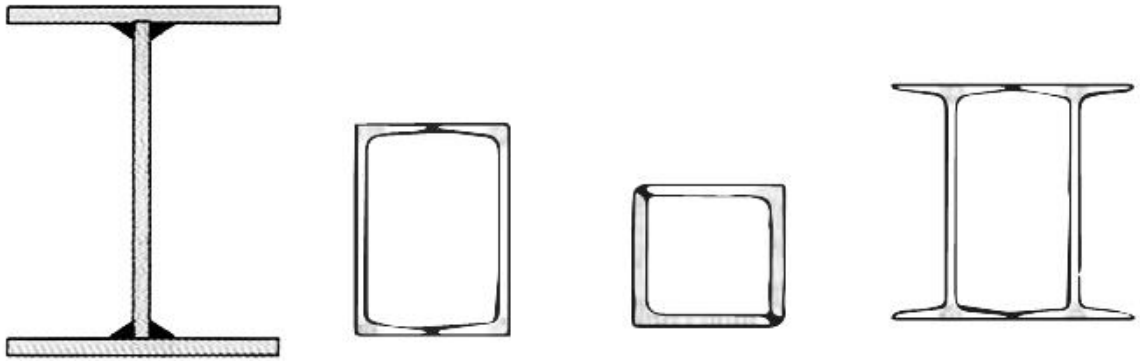
Perfis de chapa dobrada: (a) perfil U; (b) perfil complexo; (c) perfil S; (d) perfil Z.

Perfis Soldados / Compostos

- Formados pela **assossicação de chapas ou de perfis laminados simples** sendo a ligação, em geral, soldada ;

- A norma brasileira **NBR 5884:1980 padronizou três séries de perfis soldados**:

  - **Perfis CS (colunas soldadas – compressão)**
  - **Perfis VS (vigas soldadas – flexão)**
  - **Perfis CVS (vigas-coluna soldadas – flexo-compressão)**



Vídeos:

- **Ensaio de Tração -**

  http://www.youtube.com/watch?v=xUG1uBGUYDU
  http://www.youtube.com/watch?v=VTNwWTK98sw
  http://www.youtube.com/watch?v=xWUlgTrUrt8
  http://www.youtube.com/watch?v=m92cAMkWpDk

- **Ensaio de Cisalhamento -**

  http://www.youtube.com/watch?v=vLjP0WqV35s

- **Ensaio de fadiga -**

  http://www.youtube.com/watch?v=mO1ZwKaMNmA
  http://www.youtube.com/watch?v=l6CkNgB-FqU

- **Produtos Siderúrgicos -**

  http://www.youtube.com/watch?v=vrgQaq3Y0IU

Universidade POSITIVO

Aula 02 – Seção 3: Métodos de Cálculo

Fases de um Projeto Estrutural (1)

a) Anteprojeto ou projeto básico:

- Definição do sistema estrutural a ser utilizado, materiais e o processo construtivo.

b) Dimensionamento ou cálculo estrutural:

- Definição das dimensões dos elementos da estrutura e suas ligações de modo a garantir segurança e bom desempenho.

c) Detalhamento:

- Elaboração dos desenhos executivos contendo as especificações de todos os seus componentes.

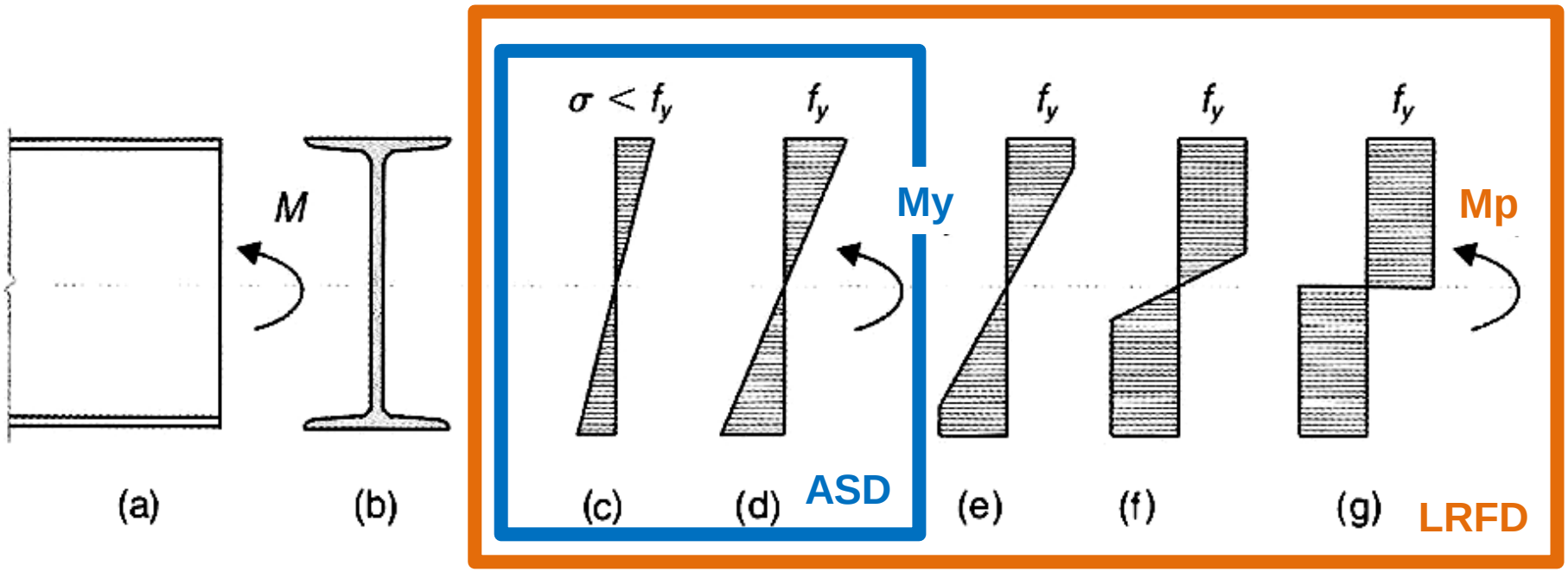
Métodos de Cálculo (1)

ASD (Allowable Stress Design)	LRFD (Load and Resistance Factor Design)
Método das Tensões Admissíveis	**Método dos Estados Limites**
• máxima tensão solicitante ($\sigma_{máx}$) , em cada seção, é inferior a uma tensão resistente característica (f_{yk}) reduzida de um coeficiente de segurança (γ); • **um único coeficiente de segurança** para expressar todas as incertezas; • análise estrutural em **regime elástico** com limite de resistência associado ao início da plastificação da seção mais solicitada. Não são consideradas as reservas de resistência existentes após o início da plastificação;	• A solicitação de projeto (ou solicitação de cálculo) **"Sd"** é obtida a partir de **combinação de ações**, sendo cada ação majorada por um coeficiente "γf"; • A resistência de projeto "Rd" é função da resistência característica do material " fk " minorada de um coeficiente "γm"

Métodos de Cálculo (2)

ASD (Allowable Stress Desing)	LRFD (Load and Resistance Factor Design)
Método das Tensões Admissíveis	**Método dos Estados Limites**
• $\sigma_{máx}$ - máxima tensão solicitante; • f_{yk} - resistência característica; • γ - coef. de minoração de resistências; $\sigma_{máx} < \bar{\sigma} = \frac{f_{yk}}{\gamma}$	• F - ações (cargas, esforços, momentos) • f_{yk} - resistência característica; • γf - coef. de majoração de ações; • γm - coef. de minoração de resistência; $S_d = S(\sum \gamma_{fi} F_i) <$ $R_d = R(f_{yk}/\gamma_m)$

ASD x LRFD (1)



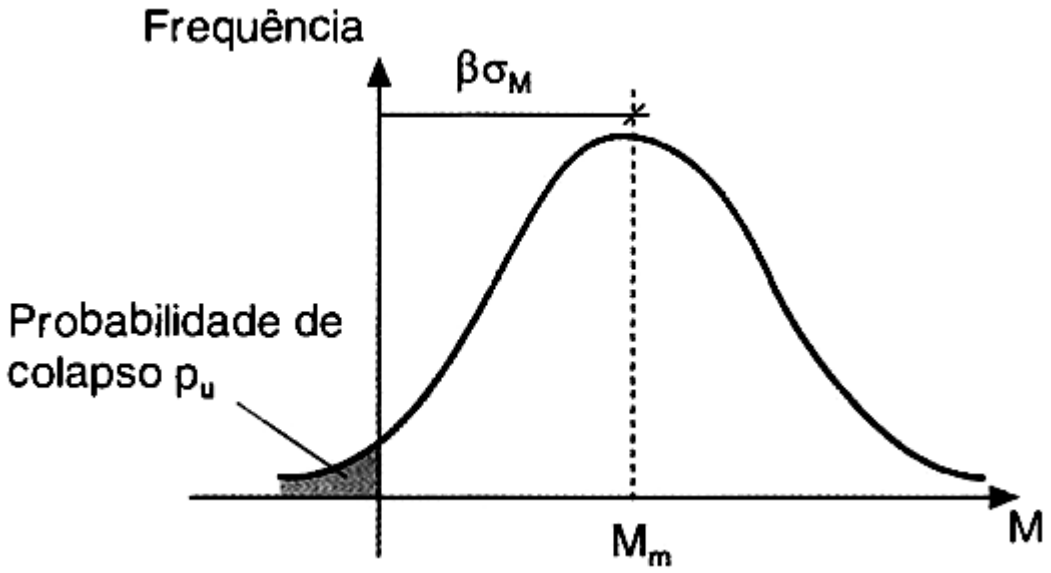
- **My** – momento de início de plastificação
- **Mp** – momento de plastificação total da seção

LRFD : Método dos Estados Limites

- Vantagens do LRFD:
  - considera as **incertezas de forma mais racional** que o ASD;
  - considerar **reservas de resistência** após o início da **plastificação**;
  - é um método **semiprobabilístico** que toma a solicitação S e a resistência R como variáveis aleatórias com distribuições nomais de probabilidade;

Resistência Característica (f_{yk})

- A **resistência caracterísitica** de um material é obtida por ensaios de vários corpos de prova para gerar uma curva de distribuição normal, definindo então uma média e um desvio padrão, e assim, tomando como valor característico aquele para o qual **somente 5% das amostras estejam abaixo de seu valor**.



Ações em Estruturas

- As normas brasileiras que se ocupam das cargas sobre as estruturas são:

- **NBR 6120 / 1980**
  – Cargas para cálculo de estruturas de edificações

- **NBR 6123 / 1988**
  – Forças devidas ao vento em edificações

- **NBR 7188 / 1984**
  – Carga móvel em ponte rodoviária e passarela de pedestres

- **NBR 7189 / 1989**
  – Cargas móveis para projeto estrutural de obras ferroviárias

ELU x ELS (ELUti)

- As estruturas devem atender a dois conjuntos de “Estados Limites”:

- **ELU – estados limites últimos**
  - Perda de equilíbrio como corpo rígido;
  - Plastificação total de um elemento estrutural ou de uma seção;
  - Ruptura de uma ligação ou seção;
  - Flambagem em regime elástico ou não;
  - Ruptura por fadiga;

- **ELS – estados limites de serviço (ou de utilização ELUti)**
  - Deformações excessivas;
  - Vibrações excessivas;

Tipos de Combinações em ELU

- **Combinação Normal:**
  Inclui todas as ações decorrentes do uso previsto da estrutura.

- **Combinação de Construção:**
  Combinação que considera ações que podem promover algum estado limite último na fase de construção da estrutura.

- **Combinação de Especial:**
  Combinação que inclui ações variáveis especiais, cujos efeitos têm magnitude maior que os efeitos das ações de uma combinação normal.

- **Combinação Excepcional:**
  Combinação que inclui ações excepcionais, as quais podem conduzir a efeitos catastróficos tais como : explosões, choques de veículos, incêndios e sismos.

ELU – Combinações Nomais

- As combinações normais de ações para ELU são escritas em função dos valores característicos das ações permanentes “G” e variáveis “Q”;

$$S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{0j}$$

  - **Q1 :** é a ação variável base (ou principal) para a combinação estudada;
  - **Qj :** representa as ações variáveis que atuam simultaneamente a Q1 e que têm efeito desfavorável;
  - **γg , γq :** são os coeficientes parciais aplicados às cargas;
  - **Ψ0 :** fator de combinação que reduz as ações variáveis para considerar a baixa probabildiade de ocorrência simultânea de ações de distintas naturezas com seus valores característicos;
  - **Gi :** cargas permanentes a serem ponderadas e somadas;

Coeficientes Parciais γ_f

Ações		Combinações		
		Normais	Especiais / Construção	Excepcionais
PERMANENTES	Peso próprio de estruturas metálicas	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)	1,10 (1,00)
	Peso próprio de estruturas pré-moldadas	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso próprio de estruturas moldadas no local e de elementos construtivos industrializados	1,35 (1,00)	1,25 (1,00)	1,15 (1,00)
	Peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições “in loco”	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)	1,20 (1,00)
	Peso próprio de elementos construtivos em geral e equipamentos	1,50 (1,00)	1,40 (1,00)	1,30 (1,00)
	Deformações impostas por recalques de apoio, imperfeições geométricas, retração e fluência do concreto	1,20 (1,00)	1,20 (1,00)	0 (0)
VARIÁVEIS	Efeito da temperatura	1,20	1,00	1,00
	Ação do vento	1,40	1,20	1,00
	Demais ações variáveis, incluindo as decorrentes de uso e ocupação	1,50	1,30	1,00

Fatores de Combinação Ψ0 e Redução Ψ1 e Ψ2 para ações variáveis

Ações		γ_{f2}		
		Ψ_0	Ψ_1	Ψ_2
Cargas acidentais de edifícios	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas (1)	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas (2)	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento em estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura nas estruturas em geral	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontos rolantes	0,7	0,6	0,4

(1) Edificações residenciais de acesso restrito
(2) Edificações comerciais, de escritórios e de acesso ao público

ELU – Combinações de Construção e Especiais

- As combinações de construção e especiais em ELU são escritas da mesma forma que as combinações normais, exceto por $\Psi_{0j,ef}$:

$$S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + \gamma_{q1} Q_1 + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{0j,ef}$$

- $\Psi_{0j,ef}$:
  - **quando a ação variável dominante (Q1) tiver tempo de duração muito curto, $\Psi_{0j,ef} = \Psi_2$;**
  - **caso contrário , $\Psi_{0j,ef} = \Psi_0$;**

2.3.13 ELU – Combinações Excepcionais (E)

- As combinações excepcionais em ELU são escritas como:

$$S_d = \sum \gamma_{gi} G_i + E + \sum \gamma_{qj} Q_j \Psi_{2j}$$

  – onde E é o valor da ação excepcional em questão.

- **Note-se que a ação expecional em si não é majorado por nenhum coeficiente sendo aplicada na expressão com seu valor característico;**

Esforços Resistentes (R_d)

- Os **Esforços internos resistentes** (momento fletor resistente, esforço axia resistentel, esforço cortante resistente e etc.) são calculados, em geral, a partir de expressões derivadas de modelos semi-analíticos em função de uma tensão resistente característica (por exemplo fyk)
- Estes também são chamados de **resisência última "Ru"**;
- A **resistência de projeto "Rd"** é igual a resistência última dividida pelo coeficiente de segurança γ_m:

$$R_d = \frac{R_u(f_k)}{\gamma_m}$$

Valores do coeficiente de segurança γ_m

Material	γ_m	Combinações de Ações		
		Normais	**Especiais / Construção**	**Excepcionais**
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estados limites de escoamento e flambagem	γ_{a1}	1,10	1,10	1,00
Aço estrutural, pinos e parafusos – Estado limite de ruptura	γ_{a2}	1,35	1,35	1,15
Concreto	γ_c	1,40	1,20	1,20
Aço de armadura de concreto armado	γ_s	1,15	1,15	1,00

Ações em Conjunto

- É possivel considerar todas as ações permanentes como parte de um único conjunto, e assim, adotar um único coeficiente de majoração simplificado conforme a tabela abaixo.

Ações permanentes diretas agrupadas	γ_f
Grandes pontes (cujo peso próprio da estrutura supera 75% da totalidade das ações permanentes)	1,30
Edificações tipo 1 (onde as sobrecargas superam 5 kN/m2) e pontes em geral.	1,35
Edificações tipo 2 (onde as sobrecargas não superam 5 kN/m2)	1,40

- O mesmo pode ser aplicado as ações variáveis, porém com os coeficientes abaixo:

Ações variáveis agrupadas	γ_f
Pontes e edificações tipo 1	1,50
Edificações tipo 2	1,40

ELS – Estados Limites de Serviço (Utilização) (1)

- Dizem respeito a **capacidade** da estrutura **desempenhar satisfatoriamente as funções** às quais ela é destinada;
- Destinam-se a **evitar insegurança** por parte dos usuários em face de deslocamentos ou vibrações excessivas, ou ainda, evitar **prejuízos** a componentes não estruturais como alvenarias e esquadrias;
- Para os **ELSs** definem-se três valores representativos das ações variáveis Q em **função do tempo de duração das ações** e de sua probabilidade de ocorrência:
  - **Valor Raro (característico)** : Q_1
  - **Valor Frequente** : $\Psi_1 Q_1$
  - **Valor Quase-permanente** : $\Psi_2 Q_1$

ELS – Estados Limites de Serviço (utilização) (2)

- **Combinação Rara:**

$$S = \sum G_i + Q_1 + \sum Q_j \Psi_{1j}$$

- **Combinação Frequente:**

$$S = \sum G_i + \Psi_1 Q_1 + \sum Q_j \Psi_{2j}$$

- **Combinação Quase-permanente:**

$$S = \sum G_i + \Psi_2 Q_1 + \sum Q_j \Psi_{2j}$$

Deslocamentos Máximos para ELS (1)

Descrição	$\delta_{máx}$ [a]
- Travessa de fechamento – flexão no plano do fechamento	L / 180 (b)
- Travessa de fechamento – flexão no plano perpendicular ao fechamento devido ao vento – valor raro	L / 120 (c,d)
- Terças de cobertura – combinação rara de serviço para cargas de gravidade + sobrepressão de vento	L / 180 (e)
- Terças de cobertura – sucção de vento – valor raro	L / 120 (f)
- Vigas de cobertura	L / 250 (h)
- Vigas de piso	L / 350 (h)
- Vigas que suportam pilares	L / 500 (h)
Galpões em geral e edifícios de um pavimento: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal do nível da viga de rolamento em relação à base	H / 300 H / 400 (k,l)
Edifícios de dois ou mais pavimentos: - Deslocamento horizontal do topo dos pilares em relação à base - Deslocamento horizontal relativo entre dois pisos consecutivos	H / 400 H / 500 (m)

Deslocamentos Máximos para ELS (2)

Descrição	$\delta_{máx}$
a) L é o vão teórico entre apoios ou o dobro do comprimento teórico do balanço, H é a altura total do pilar (distância do topo à base) ou a distância do nível da viga de rolamento à base, h é a altura do andar distância entre centros das vigas de dois pisos consecutivos ou entre centros das vigas e a base no caso do primeiro andar . b) Deslocamento paralelo ao plano do fechamento (entre linhas de tirantes, caso estes existam). c) Deslocamento perpendicular ao plano do fechamento. d) Considerar apenas as ações variáveis perpendiculares ao plano de fechamento (vento no fechamento) com seu valor característico. e) Considerar combinações raras de serviço, utilizando-se as ações variáveis de mesmo sentido que o da ação permanente. f) Considerar apenas as ações variáveis de sentido oposto ao da ação permanente (vento de sucção) com seu valor característico.	

Deslocamentos Máximos para ELS (3)

Descrição	$\delta_{máx}$
g) Deve-se também evitar a ocorrência de empoçamento, com atenção especial aos telhados de pequena declividade. h) Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob uma viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical também não deve exceder a 15 mm. i) Valor não majorado pelo coeficiente de impacto. j) Considerar combinações raras de serviço. k) No caso de pontes rolantes siderúrgicas, o deslocamento também não pode ser superior a 50 mm. l) O diferencial do deslocamento horizontal entre pilares do pórtico que suportam as vigas de rolamento não pode superar 15 mm. m) Tomar apenas o deslocamento provocado pelas forças cortantes no andar considerado, desprezando-se os deslocamentos de corpo rígido provocados pelas deformações axiais dos pilares e vigas.	

FIM

Exercício 2.1

- Uma barra de seção circular com diâmetro de **25,4 mm (1”)** está sujeita a uma **tração axial de 35kN.** Calcular o **alongamento** da barra supondo seu **comprimento inicial Lo = 3,50 m** e que a mesma foi feita em aço **MR250.**

Exercício 2.2

- Uma barra de aço **AR350** de seção **transversal quadrada de lado 1,5 cm** e **2,0 m de comprimento longitudinal** sofre um **alongamento de 3 mm** ao ser solicitada por uma força axial de tração “N”.

- Sabendo que a barra retorna ao seu comprimento longitudinal original tão logo a solicitação é cessada, **calcule o valor da força de tração “N” que foi aplicada**.

Exercício 2.3

- Uma haste executada em **aço MR250** tem **seção transversal retangular de 1,5 x 2,5 cm**.
- Desconsiderando efeitos de instabilidade lateral, calcular:

  a) A **máxima força de tração axial** centrada “N” que a peça poderá suportar **antes que ocorra o escoamento da seção**;

  b) A **força de tração axial** centrada “N” que **levará a peça à ruptura**;

Exercício 2.4

Uma peça de seção transversal circular com 2 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento longitudinal, feita de um metal desconhecido, foi submetida ao seguinte teste:

- **Aplicou-se uma carga axial de tração N1 = 47,12 kN e observou-se um alongamento axial de 5,625 mm;**
- **Aumentou-se a carga para N2 = 62,83 kN e obsevou-se que o alongamento axial passou então para 7,5 mm;**
- **Cessando o carregamento a peça retornou ao seu comprimento original;**
- **Em seguida foi aplicada uma carga de tração axial crecente até a marca de 70 kN, quando então, a peça passou a alongar-se indefinidamente e não foi recuperado o comprimento original com o cessar do carregamento.**

Com base nas informações acima, calcule para o metal em questão:

a) O módulo de elasticidade (módulo de Young) "E";

b) A tensão de escoamento "fy";

c) O alongamento (deslocamento relativo entre as pontas) que a peça enunciada sofreria se fosse solicitada por tração axial N = 35 kN;

d) A deformação que a peça enunciada sofreria se fosse solicitada por tração axial N = 65 kN;

Exercício 2.5

- Sabendo que uma barra de **aço MR250** com seção transversal circular de **16 mm de diâmetro e 50 cm de comprimento longitudinal**, sofre uma **deformação axial em regime elástico de 0,1%,** calcule a **força de tração axial "N"** a qual esta barra está submetida.

Exercício 2.6

- Dado que uma barra de **aço MR250** com seção transversal circular de **10 mm de diâmetro** e **60 cm de comprimento longitudinal** sofre um **alongamento axial de 7 mm** , calcule a **força axial "N"** a qual esta barra está submetida.

Exercício 2.7

a) Uma viga de edifício comercial está sujeita a momentos fletores oriundos de diferentes cargas:

- **peso próprio de estrutura metálica (Edificação Tipo 2)**
  - ***Mg1 = 10 kNm***
- **peso de equipamentos permanentes**
  - ***Mg2 = 50 kNm***
- **ocupação da estrutura (edificação comercial)**
  - ***Mq = 30 kNm***
- **vento**
  - ***Mv = 20 kNm***

- **Calcular o momento fletor solicitante de projeto Md.**

b) Calcular o momento fletor solicitante considerando ações agrupadas.

Exercício 2.8

- Um montante tracionado de uma treliça em tesoura utilizada na **cobertura de um galpão industrial**, está sujeito à solicitação axial, oriunda das seguintes cargas, com seus respectivos valores:

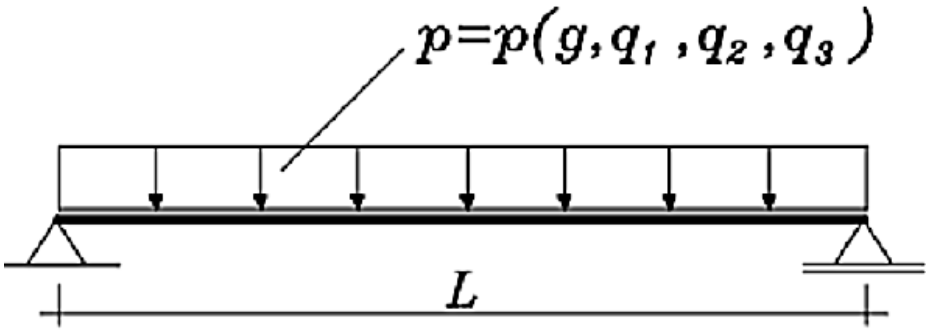
  - **peso próprio da treliça metálica** **Ng1 = 5 kN**
  - **peso das telhas e elementos de fixação (adição "in locco")** **Ng2 = 10 kN**
  - **sobrecarga de manutenção do telhado** **Nq1 = 15 kN**
  - **sobrecarga devido a um gancho utilizado para pendurar equipamentos** **Nq2 = 30 kN**
  - **vento (sucção)** **Nv = - 12 kN**

- **Calcular o intervalo de solicitações axiais de projeto Nd.**

Exercício 2.9

- Determinar, com base em **combinações últimas de construção**, os **valores extremos do momento fletor solicitante de cálculo** no meio do **vão da viga (L = 5,00 m)**, apresentada na figura abaixo, considerando as seguintes ações (valores característicos nominais):

  – Peso próprio da viga metálica: **g1 = 20 kN/m**
  – Sobrecarga de ocupação : **q1 = 15 kN/m**
  – Vento 1 : **q2 = 30 kN/m**
  – Vento 2 : **q3 = - 25 kN/m**
  * Obs.: Edificação comercial com acesso público.



Exercício 2.10

- Calcular o **intervalo de cargas** que age sobre uma **barra de treliça de uma edificação comercial com acesso ao público** dado que em função das cargas indicadas abaixo, as conseguintes solicitações axiais são geradas na referida barra:

  - **Peso próprio da treliça metálica:** **+120kN**
  - **Peso próprio de vigas pré-moldadas acopladas a treliça :** **+150kN**
  - **Sobrecarga de equipamentos :** **+110kN**
  - **Carga do vento :** **+180kN**
  - **Carga decorrente da temperatura :** **- 50kN**
  - **Recalque diferencial :** **- 800kN**

Exercício 2.11

- Determinar as solicitações de cálculo **(NSd)** atuantes na **barra AD**. A estrutura é de um edifício residencial, cujas ações (cargas) são provenientes de:
  - **peso próprio da viga metálica AC (gk); e**
  - **carga acidental de ocupação (qk).**
- **Considerar:**
  - **estado limite último, combinações últimas normais; e**
  - **estado limite de serviço, combinação quase permanente.**

