

Aula 1

Revisão

PROF.^a MSC PATRÍCIA ANDRADE

Método dos Estados Limites

Estado limite último

- perdas de equilíbrio como corpo rígido
- esgotamento da capacidade resistente da estrutura em seu todo ou em parte por solicitações normais, tangenciais, efeitos de segunda ordem, exposição ao fogo, ações sísmicas
- **está ligado a iminência da ruptura da estrutura!!!!**

O dimensionamento da viga → feito para atender ao estado limite último

ESTADO LIMITE ÚLTIMO

Justiça do Pará condena engenheiro do edifício Real Class por homicídio

Edifício em construção desabou em 2011 provocando três mortes.
Pena do engenheiro será revertida em serviços comunitários.



O juiz explica ainda que ao utilizar o modelo pórtico por pavimento, Raimundo "não considerou as cargas horizontais, tanto as decorrentes da ação do vento, como do próprio desequilíbrio da estrutura assimétrica, quando submetida ao peso próprio, não resistindo, com isso, a estrutura já construída a um vento de cerca de 30 a 39km/hora", de acordo com a sentença.

(Fonte:
<http://g1.globo.com/pa/para/noticia/2016/05/justica-do-para-condena-engenheiro-do-edificio-real-class-por-homicidio.html>)

Método dos Estados Limites

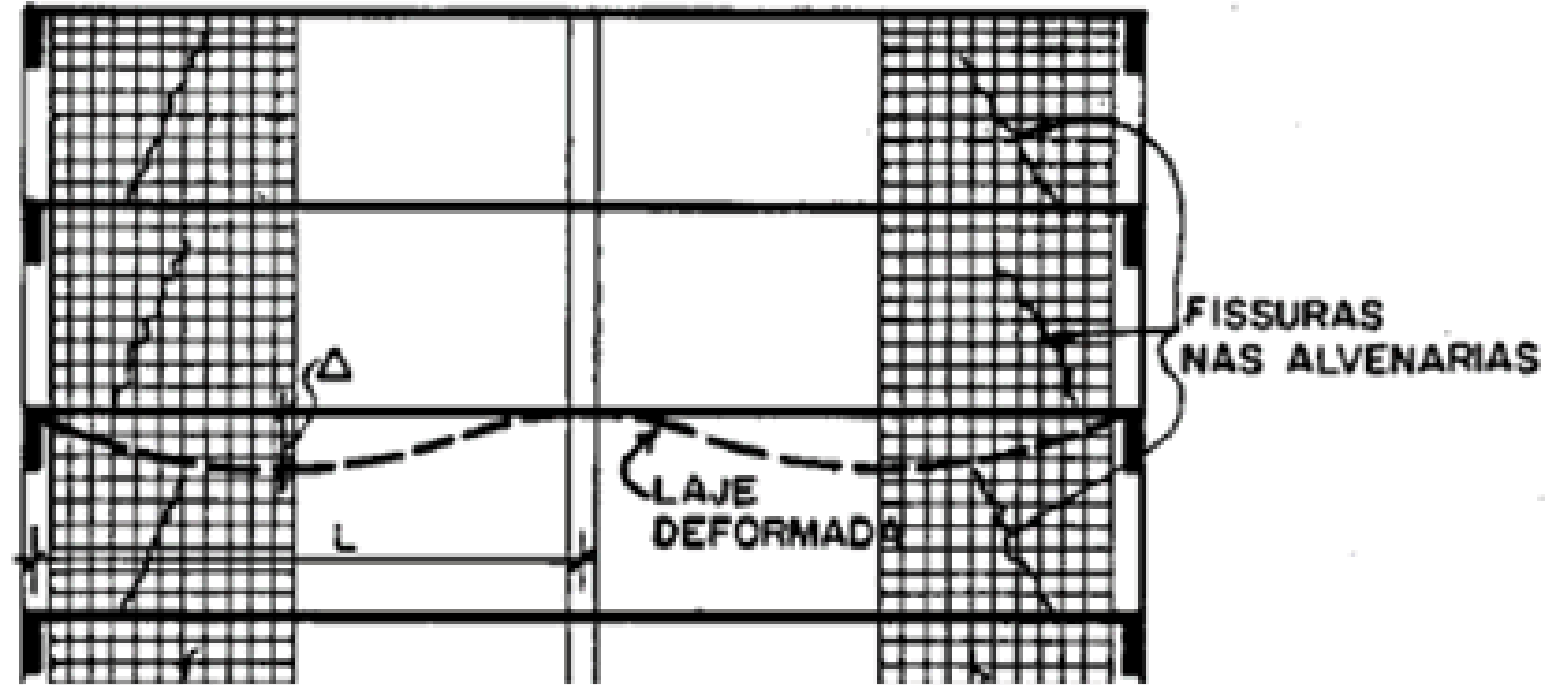
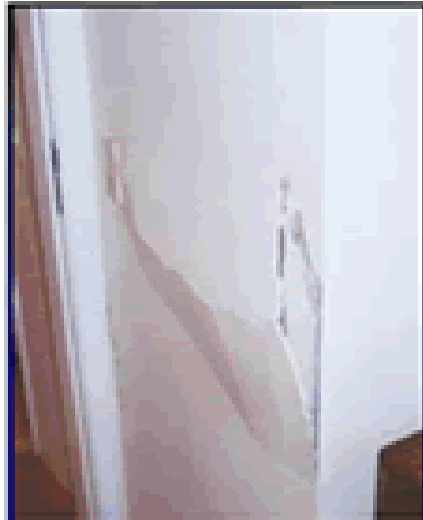
Estado limite de utilização ou serviço

- deformações excessivas
- aberturas de fissuras
- formação de fissuras
- Vibrações excessivas
- **Ou seja, o desempenho da estrutura em serviço ao longo da vida útil!!!**

**verificações relacionadas com ao desempenho da estrutura ao longo da sua vida útil
→ estado limite de utilização**

ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

REVESTIMENTOS



ARGAMASSAS DE ASSENTAMENTO



BLOCOS

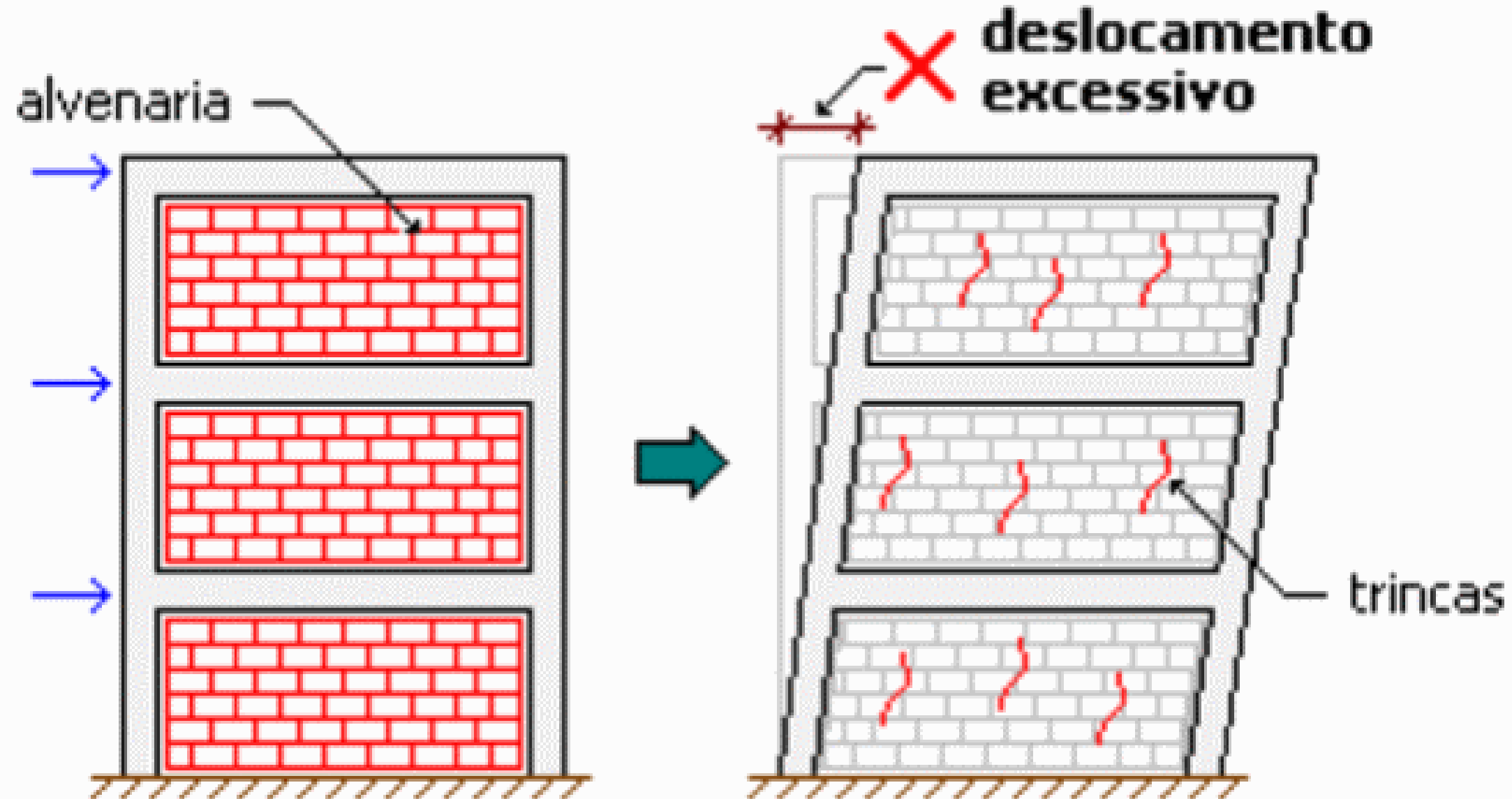


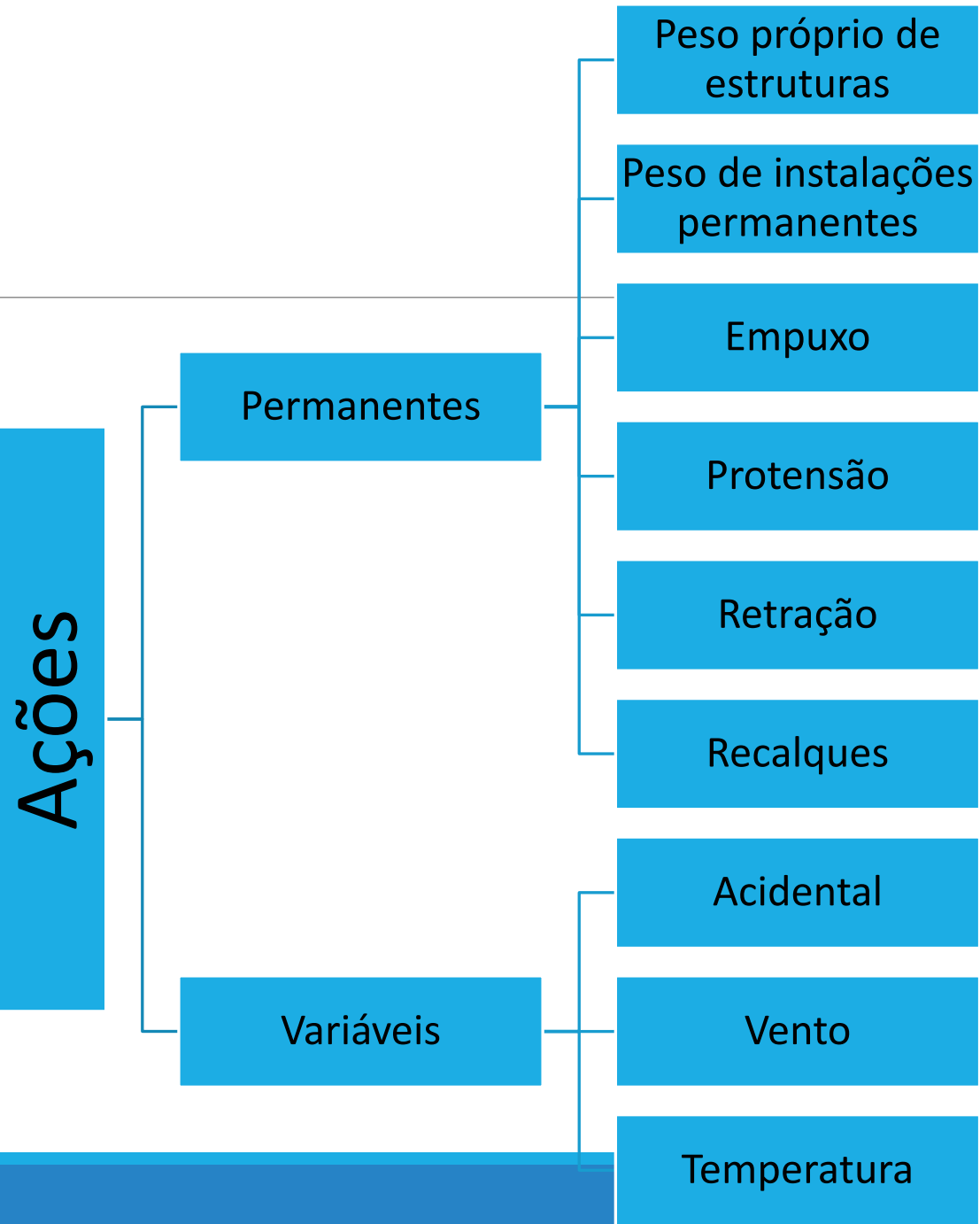
BLOCOS



ESTADO LIMITE DE SERVIÇO

DESLOCAMENTOS HORIZONTAIS EXCESSIVOS





Coeficientes para combinação de ações - ELU

Quadro 1.4 Valores do coeficiente $\gamma_f = \gamma_{f1} \cdot \gamma_{f3}$.

Combinações de ações	Ações							
	Permanentes (g)		Variáveis (q)		Protensão (p)		Recalques de apoio e retração	
	Desfavorável	Favorável	Geral	Temperatura	Desfavorável	Favorável	Desfavorável	Favorável
Normais	1,4*	1,0	1,4	1,2	1,2	0,9	1,2	0
Especiais ou de construção	1,3	1,0	1,2	1,0	1,2	0,9	1,2	0
Excepcionais	1,2	1,0	1,0	0	1,2	0,9	0	0

* Para as cargas permanentes de pequena variabilidade, como o peso próprio das estruturas, especialmente as pré-moldadas, esse coeficiente pode ser reduzido para 1,3.

Coeficientes de redução

Quadro 1.5 Valores do coeficiente γ_{f2} .

Ações	γ_{f2}		
	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Cargas acidentais de edifícios			
• Locais em que não há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas, como é o caso de edifícios residenciais	0,5	0,4	0,3
• Locais em que há predominância de pesos de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentração de pessoas, como é o caso de edifícios comerciais, de escritórios, estações e edifícios públicos	0,7	0,6	0,4
• Biblioteca, arquivos, oficinas e garagens	0,8	0,7	0,6
Vento			
• Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0,2
Temperatura			
• Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3

Combinação de ações no ELU

➤ Normal:

Uso previsto desde o início do projeto;

Longa duração;

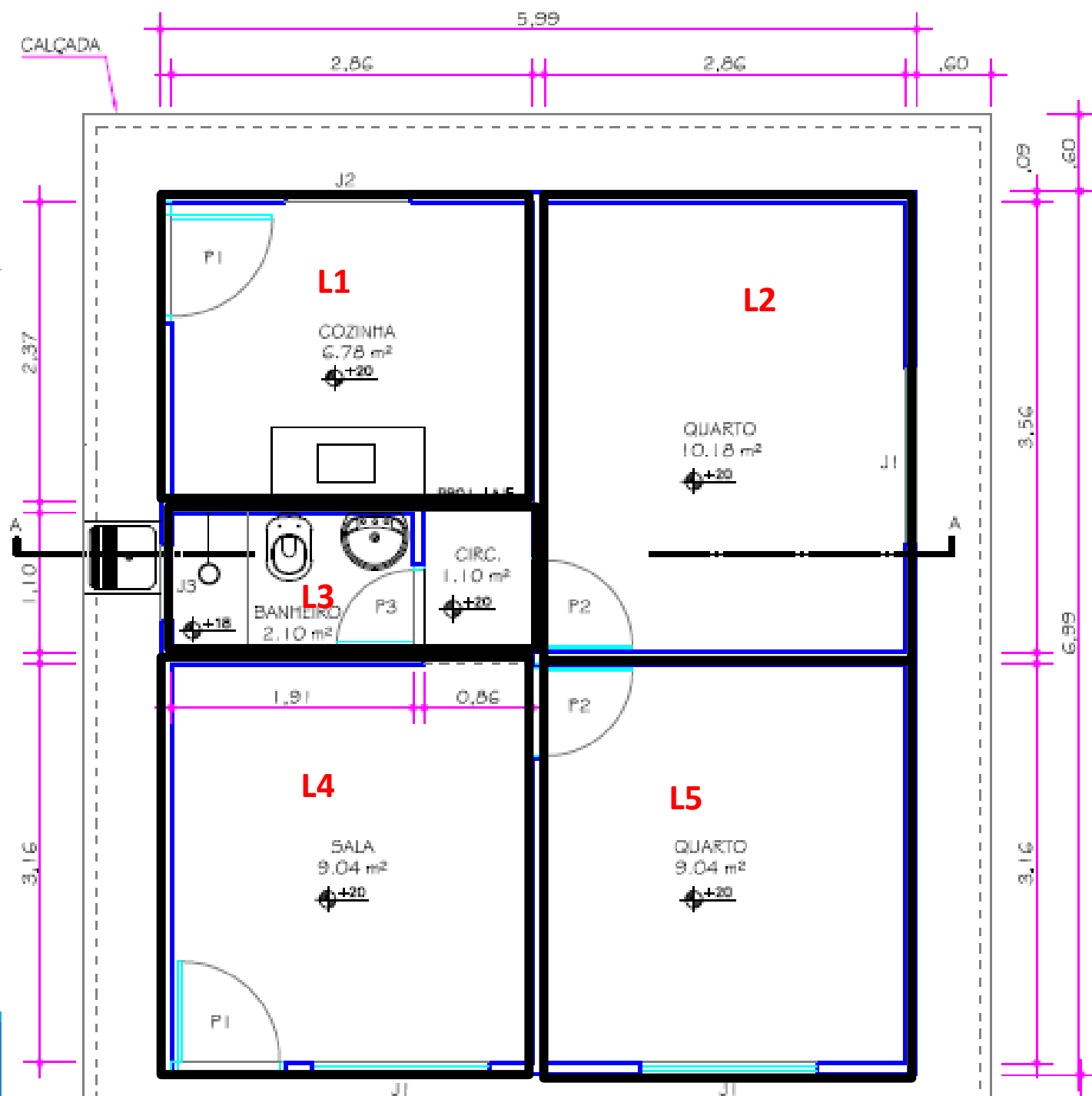
ELU;

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

Exemplo 1

Determinar a força solicitante de projeto (chamada de F_d ou F_{sd}) de cada cômodo de uma edificação residencial cuja planta está especificada a seguir. Considere que:

- na laje 3 possui um revestimento de 5 cm e, abaixo da laje L3, há um forro em gesso acartonado
- A laje 1 possui um revestimento de 7 cm de espessura
- Todas as lajes são maciças
- L1, L2, L4 e L5 possuem um forro de gesso em placas e revestimento de 5 cm de espessura
- Espessura de L1=L5=10 cm
- Espessura de L2=12cm
- Espessura de L4= 15 cm
- Adote uma classe de agressividade 3 → cobertura (c) =3,5 cm



Laje 1

A laje 1 possui um revestimento de 7 cm de espessura

L1 possuem um forro de gesso em placas

Espessura de L1=L5=10 cm

Adote uma classe de agressividade 3 → cobertura (c) =3,5 cm

$$\gamma_{g \text{ laje}} = 1,4$$

$$\gamma_{g \text{ gesso}} = 1,4$$

$$\gamma_{g \text{ rev}} = 1,4$$

$$\gamma_{g \text{ aci}} = 1,4$$

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Peso próprio da laje 1

$$PpL1 = \gamma_{ap} * esp.$$

esp. **Espessura da laje**

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

Tabela 1 (continuação)

	Material	Peso específico aparente γ_{ap} kN/m ³
3 Argamassas e concretos	Argamassa de cal, cimento e areia	19
	Argamassa de cal	12 a 18 (15)
	Argamassa de cimento e areia	19 a 23 (21)
	Argamassa de gesso	12 a 18 (15)
	Argamassa autonivelante	24
	Concreto simples	24
	Concreto armado	25

Resolução

Ações na Laje 1:

- permanentes:

- Peso próprio da laje 1

$$P_{pL1} = \gamma_{ap} * \text{esp.}$$

esp. **Espessura da laje**

γ_{ap} : **Peso específico aparente do concreto armado segundo a NBR 6120/2019 (TABELA 1)**

$$P_{pL1} = 25 \text{ (kN/m}^3\text{)} * 0,1 \text{ (m)}$$

(observe que a espessura foi inserida em m para ficar compatível com as unidades do peso específico aparente γ_{ap} pela norma sempre é dado em kN/m³)

$$P_{pL1} = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

A unidade do peso próprio no caso de lajes deve ser força/área

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Revestimento

$$\text{Rev} = 1,4 \text{ kN/m}^2$$

Note que no caso de revestimentos de lajes, a carga já é dada em **força/área**

Não sendo necessário realização de cálculo, exceto quando for previsto em projeto arquitetônico um tipo de revestimento não especificado na tabela 4 da NBR 6120/2019

Tabela 4 – Revestimentos de pisos e impermeabilizações

Material	Espessura cm	Peso kN/m ²
Impermeabilização com manta asfáltica simples (apenas manta com 15 % de sobreposição e pintura asfáltica, sem camada de regularização nem proteção mecânica)	0,3	0,08
	0,4	0,10
	0,5	0,11
Piso elevado interno com placas de aço, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,5
Piso elevado interno com placas de polipropileno, sem revestimento (até 30 cm de altura)	–	0,15
Revestimentos de pisos de edifícios residenciais e comerciais ($\gamma_{ap-m} = 20 \text{ kN/m}^3$)	5	1,0
	7	1,4
Revestimentos de pisos de edifícios industriais ($\gamma_{ap-m} = 34 \text{ kN/m}^3$)	5	1,7
	7	2,4
Impermeabilizações em coberturas com manta asfáltica e proteção mecânica, sem revestimento ($\gamma_{ap-m} = 18 \text{ kN/m}^3$)	10	1,8
	15	2,7
NOTA Calcular caso a caso, considerando a espessura dos componentes do revestimento de pisos e seus respectivos pesos específicos. Na falta de informações mais precisas, podem ser considerados os pesos específicos médios indicados.		

Resolução

Ações na Laje 1:

■ permanentes:

➤ Forro de gesso em placas

Forro= 0,15 kN/m²

Da mesma forma que os revestimentos, os forros também já são dados em unidades de **força/área (kN/m²)**

Tabela 8 – Forros, dutos e *sprinkler*

Material	Peso kN/m ²
Forro de fibra mineral, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de gesso acartonado, inclui estrutura de suporte	0,25
Forro de gesso em placas, inclui estrutura de suporte	0,15
Forro de PVC, inclui estrutura de suporte	0,10
Forro de placas de alumínio, inclui estrutura de suporte	0,10
Dutos de ventilação, sem isolamento térmico	0,20
Dutos de ar-condicionado, com isolamento térmico	0,30
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 65 mm	0,10
Rede de distribuição de chuveiros automáticos (<i>sprinkler</i>) com diâmetro nominal de até 80 mm	0,15

Resolução

Ações na Laje 1:

- Variáveis
 - Acidental de uma residência - cozinha
 - $A_{ci} = 1,5 \text{ kN/m}^2$

Cargas acidentais são dadas em **força/área (kN/m^2) de acordo com a Tabela 10 da NBR 6120/2019**, não sendo necessária a realização de cálculo para determinar a carga acidental na laje

Carga acidental depende do tipo de ocupação/uso do ambiente definido em projeto arquitetônico

	Supermercados (ver item nesta Tabela)		
Edifícios residenciais	Dormitórios	1,5	—
	Sala, copa, cozinha	1,5	—
	Sanitários	1,5	—
	Despensa, área de serviço e lavanderia	2	—
	Quadras esportivas	5 ^a	—
	Salão de festas, salão de jogos	3 ^a	—
	Áreas de uso comum	3 ^a	—
	Academia	3 ^a	—
	Forro acessíveis apenas para manutenção e sem estoque de materiais	0,1 ^{a,r}	—
	Sótão	2 ^a	—
	Corredores dentro de unidades autônomas	1,5	—
	Corredores de uso comum	3	—
	Depósitos	3	—
	Áreas técnicas (ver item nesta Tabela)		
Jardins (ver item nesta Tabela)			

Resolução

$$F_D = \sum_{i=1}^n \gamma_{gi} F_{gi} + \gamma_q (F_{Q1,k} + \sum_{j=2}^n \psi_{0j} F_{qj,k})$$

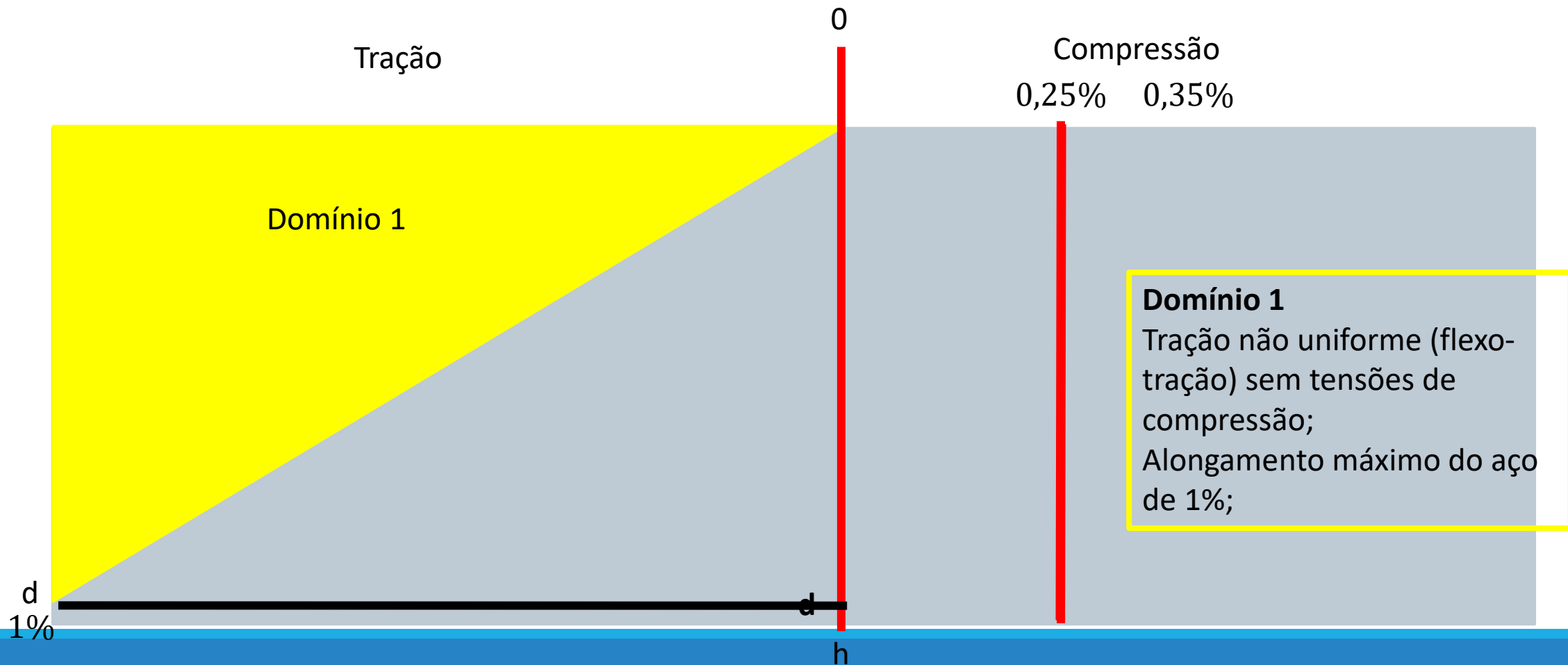
(combinação normal)

$$F_d = 1,4 * (PPL1 + Rev + for) + 1,4 * Aci$$

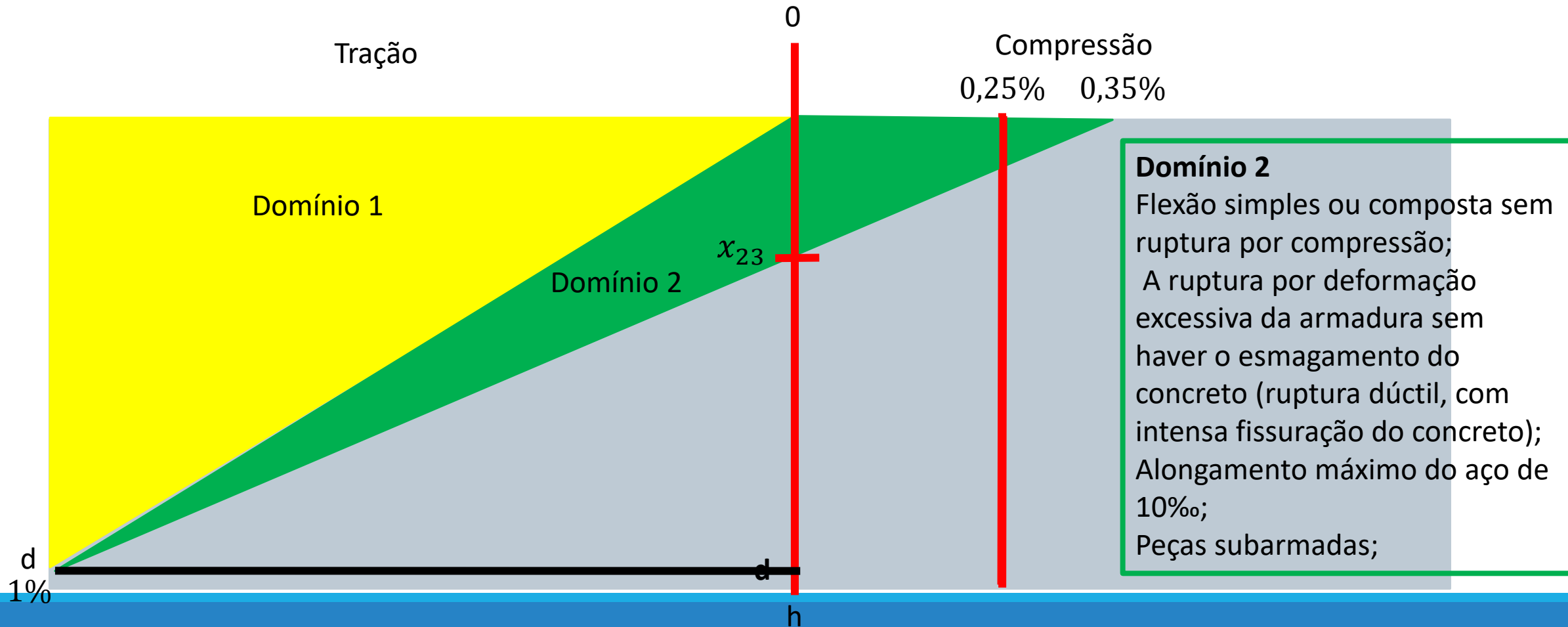
$$F_d = 1,4 * (2,5 + 1,4 + 0,15) + 1,4 * 1,5$$

$$F_d = 7,8 \text{ kN/m}^2$$

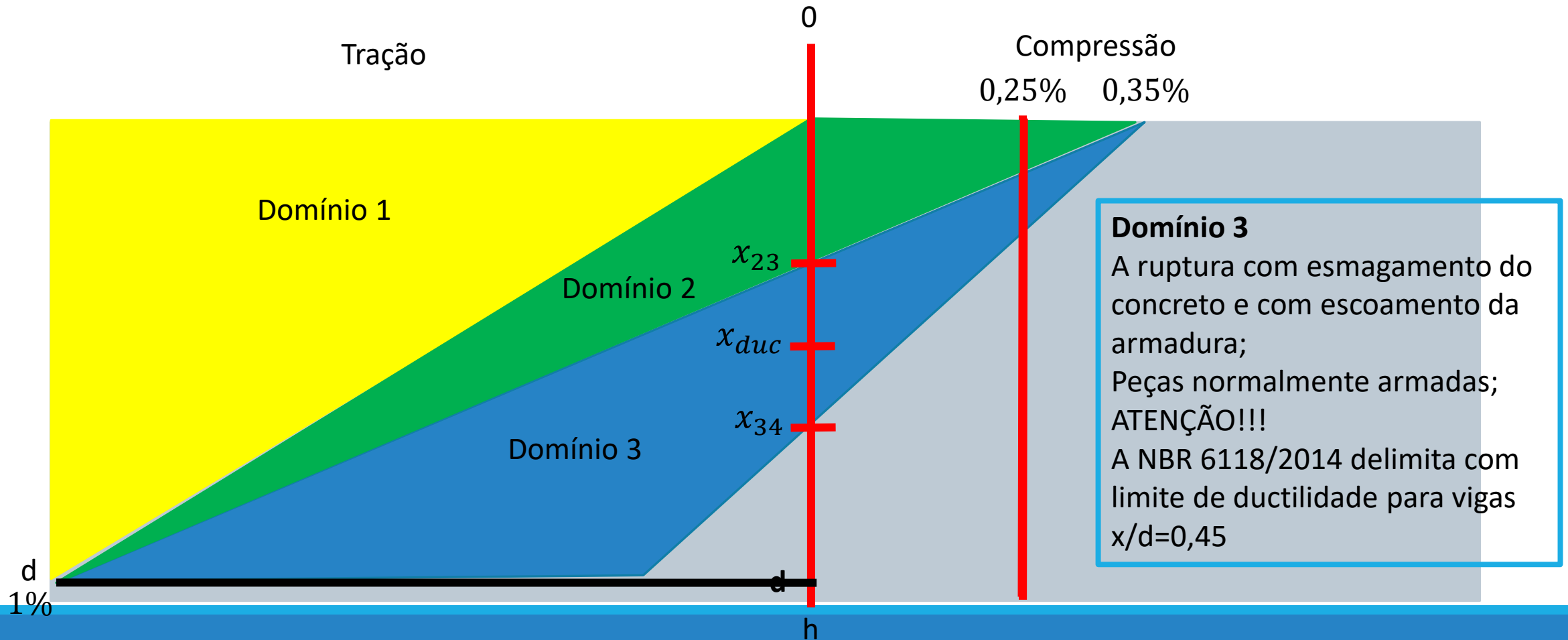
Domínios



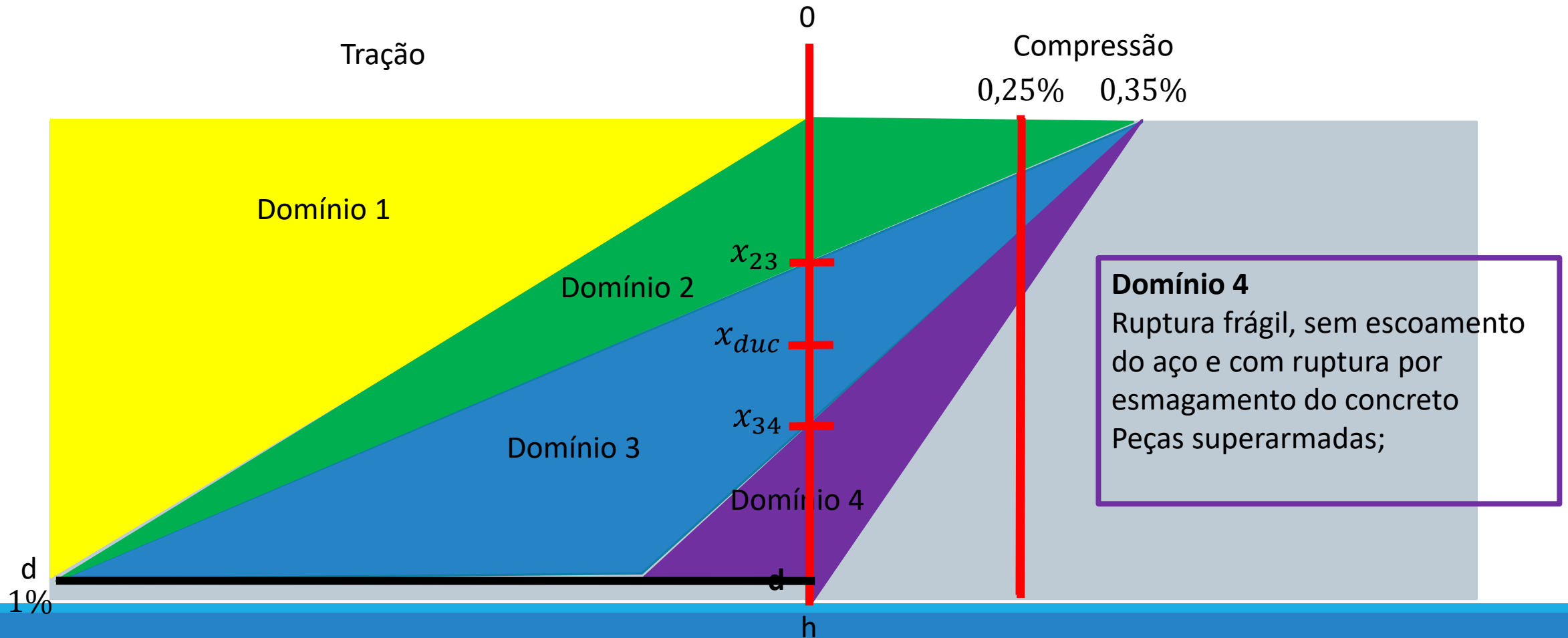
Domínios



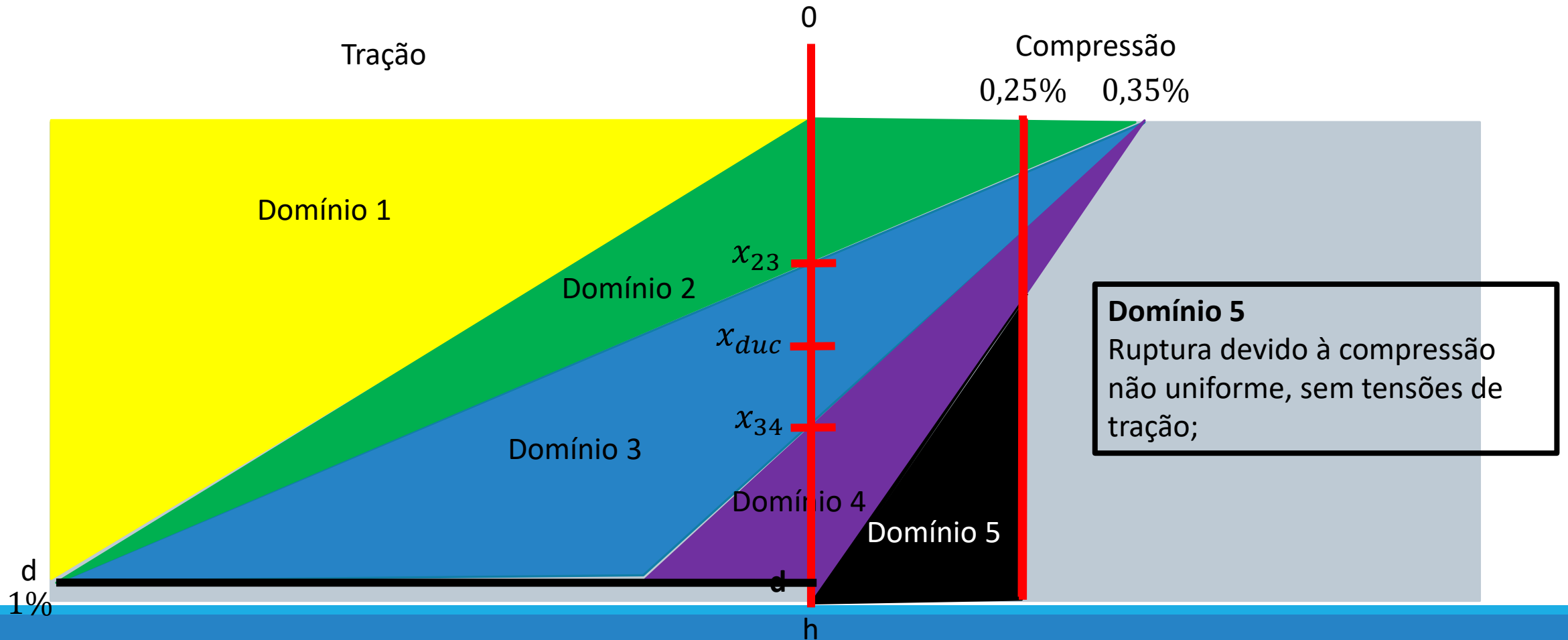
Domínios



Domínios



Domínios



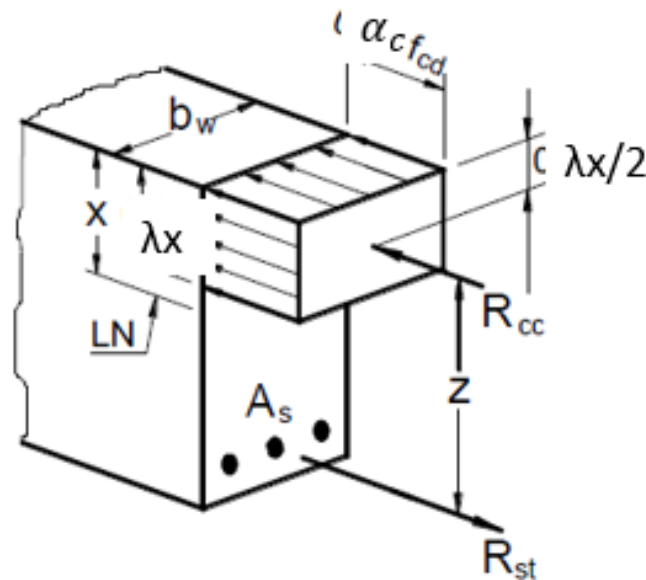
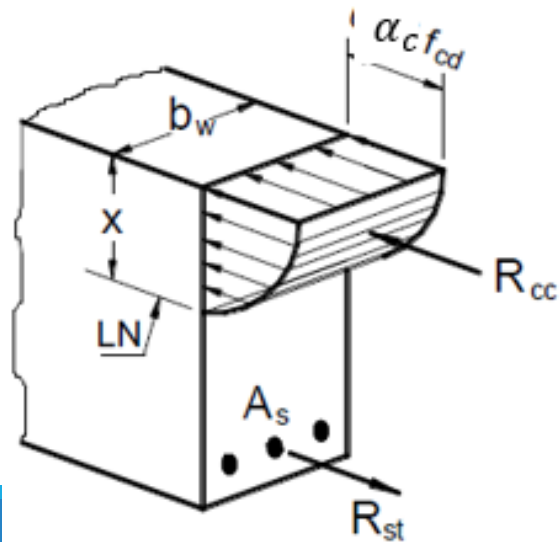
Dimensionamento de viga: Método 1 – equações de equilíbrio

$$M_{sd} = \alpha_c * f_{cd} * \lambda * x * b_w * \left(d - \frac{\lambda * x}{2}\right)$$

$$A_s = \frac{M_{sd}}{f_{yd} * \left(d - \frac{\lambda * x}{2}\right)}$$

Para concretos do Grupo 1 ($f_{ck} \leq 50 \text{ MPa}$) $\rightarrow \lambda = 0,8$

Para concretos do Grupo 2 ($f_{ck} > 50 \text{ MPa}$) $\rightarrow \lambda = [0,8 - (f_{ck} - 50)/400]$



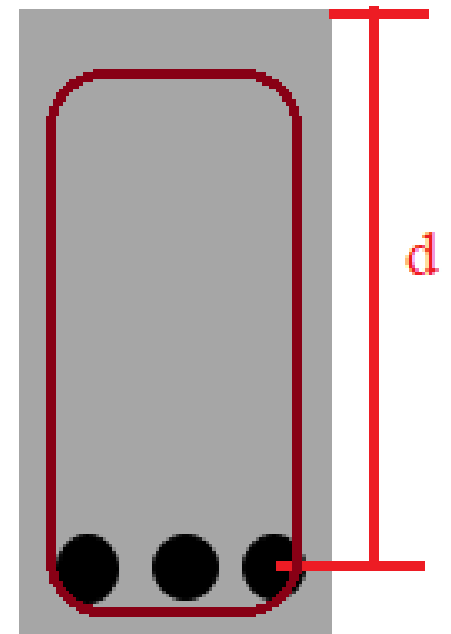
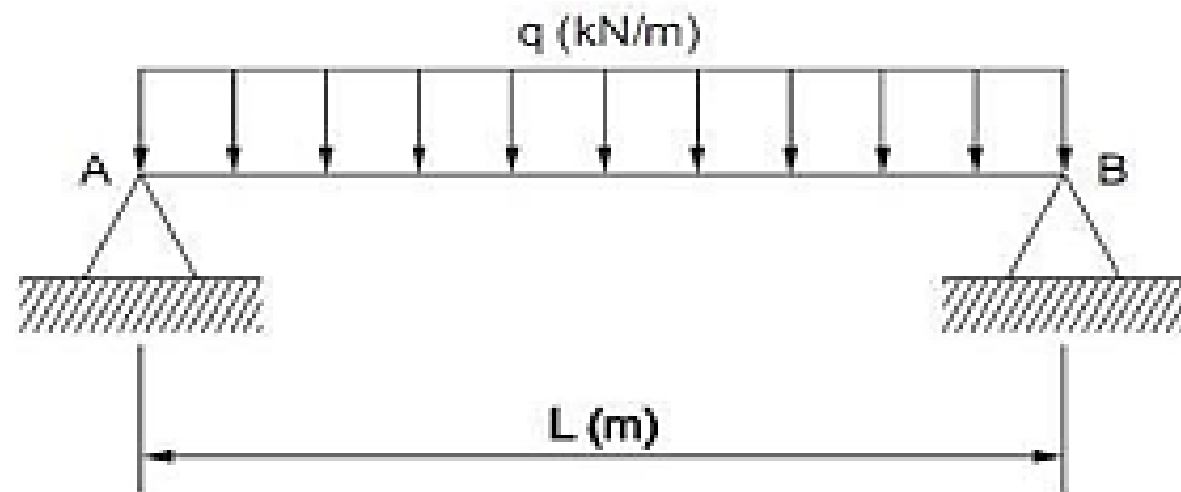
Exemplo 3

Determinar a área de aço e a armadura de uma viga com seção 15x40, biapoiada e com 4 m de comprimento utilizando o método 1 para dimensionamento de vigas. A viga está submetida a uma carga característica q igual a 24 kN/m. *Adotar um estribo com diâmetro de 10 mm ou 1 cm*

classe de agressividade ambiental 2 e concreto de C25

$q = 24 \text{ kN/m}$

$C = 30 \text{ mm ou } 3 \text{ cm}$



Resolução

1. Força solicitante de projeto devido às forças externas

$$F_{sd} = \gamma_c * q$$

$$F_{sd} = 1,4 * 24$$

$$F_{sd} = 33,3 \text{ kN/m}$$

Resolução

2. Momento solicitante de projeto devido às forças externas

$$M_{sd} = \frac{F_{sd} * l^2}{8}$$

$$M_{sd} = \frac{33,3 * 4^2}{8}$$

$$M_{sd} = 66,6 \text{ kN.m ou } 6.660 \text{ kN.cm}$$

Resolução

3. Determinação da altura da linha neutra

d= h-c- diâmetro estribo

$$d = 40 - 3 - 1$$

$$d = 36 \text{ cm}$$

$$M_{sd} = \alpha_c * f_{cd} * \lambda * x * b_w * \left(d - \frac{\lambda * x}{2} \right)$$

Concreto C25 $\rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa} < 50 \text{ MPa}$

$$\rightarrow \alpha_c = 0,85 \text{ e } \lambda = 0,8$$

$$M_{sd} = 0,85 * f_{cd} * 0,8 * x * b_w * \left(d - \frac{0,8 * x}{2} \right)$$

$$M_{sd} = 0,68 * f_{cd} * x * b_w * (d - 0,4 * x)$$

Válida somente para concreto com fck de até 50 MPa

Resolução

3. Determinação da altura da linha neutra

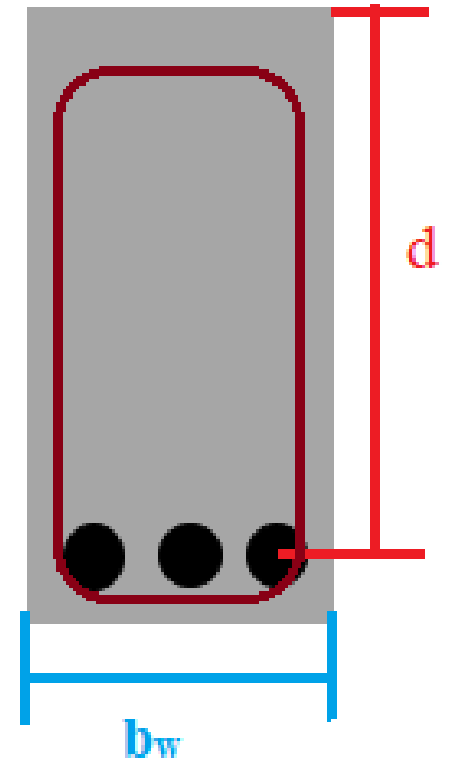
$$M_{sd} = 0,68 * f_{cd} * x * b_w * (d - 0,4 * x)$$

$$6.660 = 0,68 * \left(\frac{2,5}{1,4}\right) * x * 15 * (36 - 0,4 * x)$$

$$\frac{6.660}{15 * 0,68 * \left(\frac{2,5}{1,4}\right)} = x * (36 - 0,4 * x)$$

$$365,73 = 36 * x - 0,4 * x^2$$

$$0 = -0,4 * x^2 + 36 * x - 365,73$$



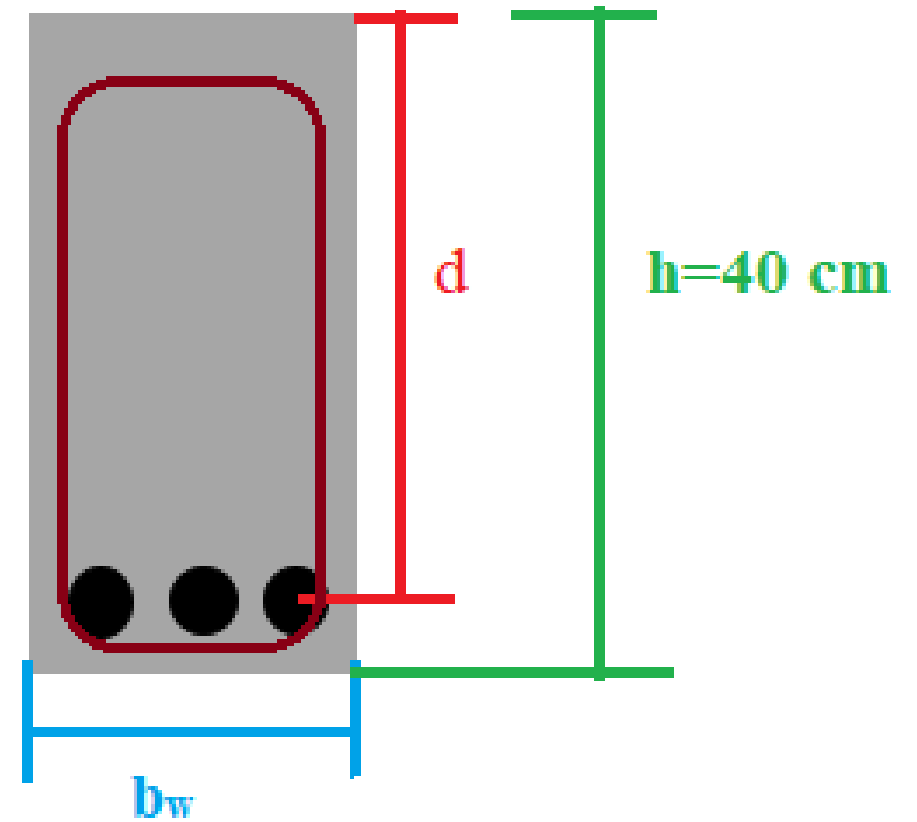
Resolução

$$x = \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a}$$

$$x = \frac{-36 \pm \sqrt{36^2 - (4 \cdot -0,4 \cdot -365,73)}}{2 \cdot -0,4}$$

$$x_1 = 11,67 \text{ cm}$$

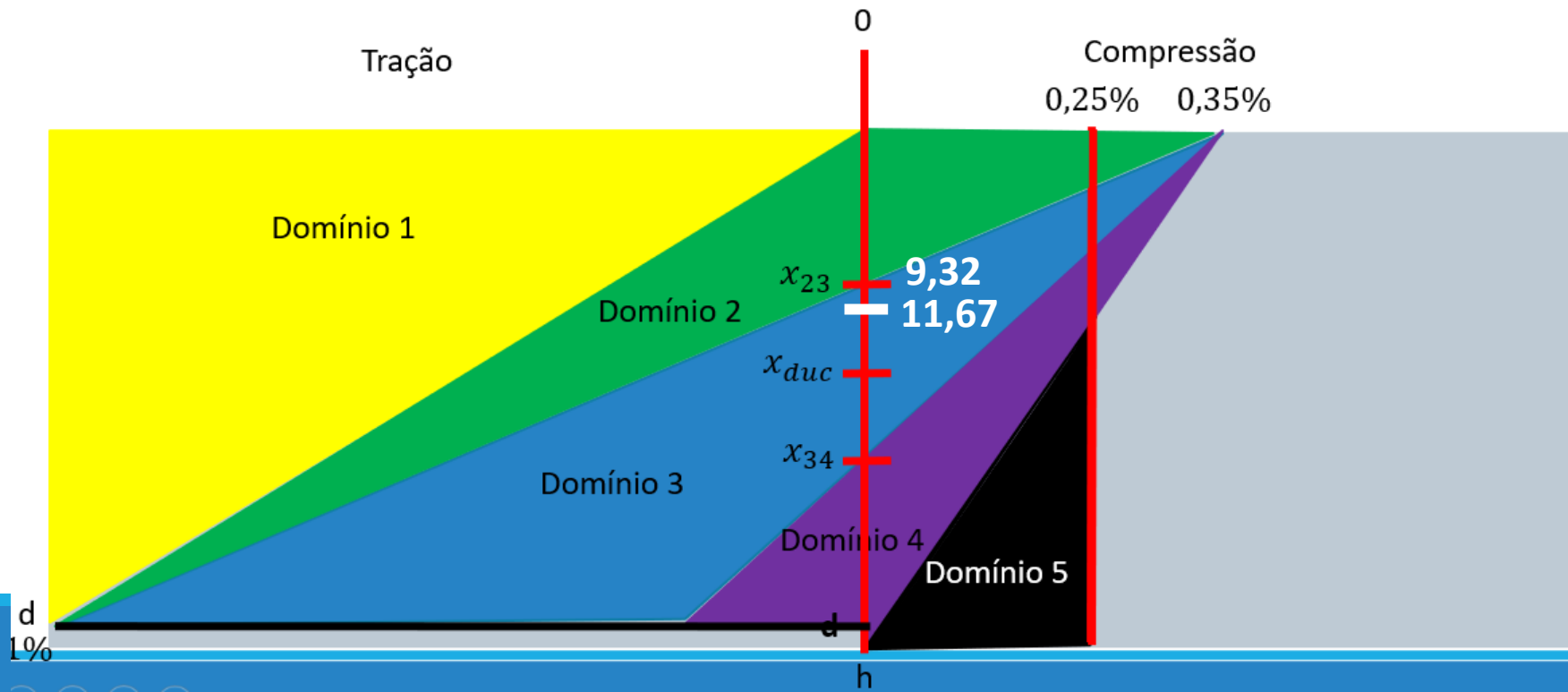
$$x_2 = 78,32 \text{ cm}$$



Resolução

4. verificação da altura da linha neutra

$$x_{23} = 0,259 * d \longrightarrow x_{23} = 0,259 * 36 \longrightarrow x_{23} = 9,32 \text{ cm}$$



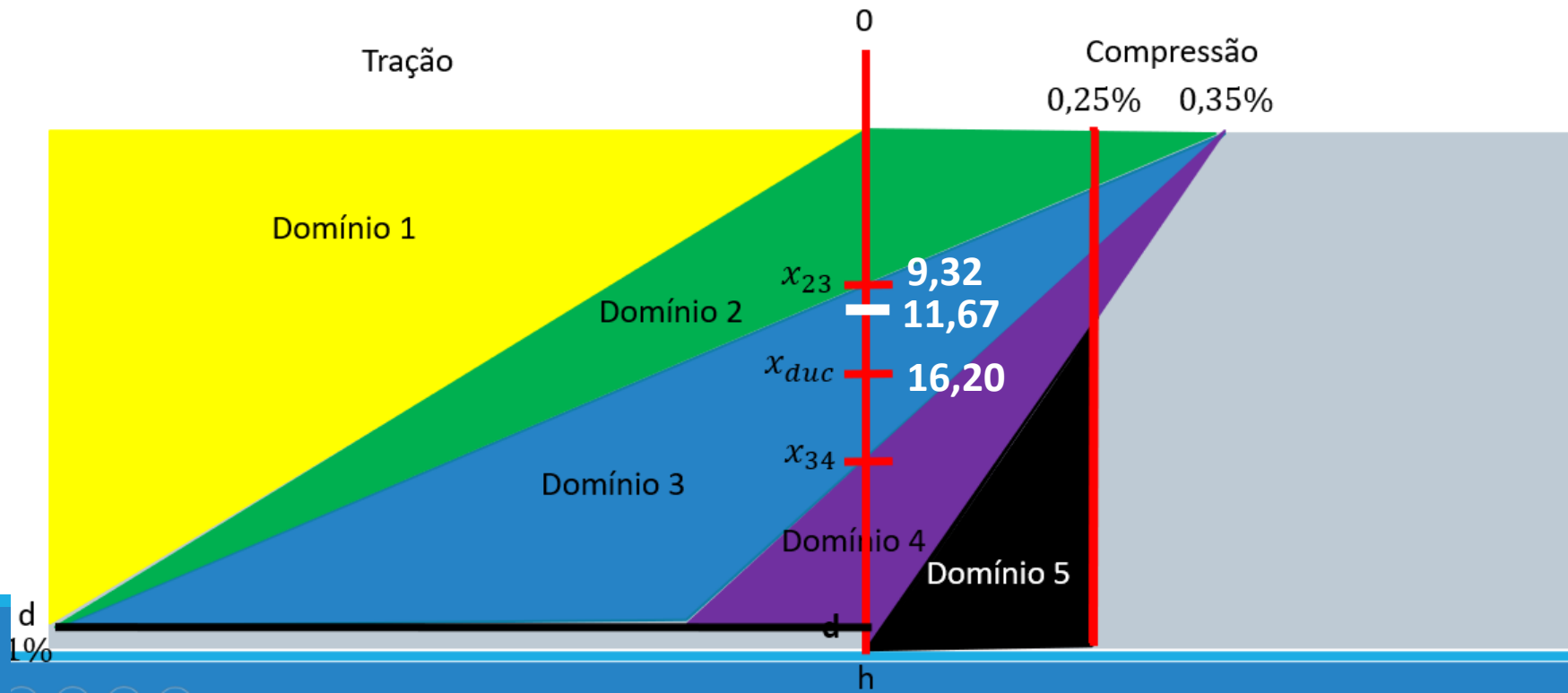
Resolução

Viga está no domínio 3 e atende ao quesito de ductilidade!!!!!!

4. verificação da altura da linha neutra

$$x_{23} = 0,259 * d \longrightarrow x_{23} = 0,259 * 36 \longrightarrow x_{23} = 9,32 \text{ cm}$$

$$x_{duc} = 0,45 * d \longrightarrow x_{duc} = 0,45 * 36 \longrightarrow x_{duc} = 16,20 \text{ cm}$$



Resolução

5. determinar a área de aço e a armadura

$$A_s = \frac{M_{sd}}{f_{yd} * (d - \frac{\lambda * x}{2})}$$

$$A_s = \frac{6.660}{(\frac{50}{1,15}) * (36 - 0,4 * 11,67)}$$

$$A_s = 4,89 \text{ cm}^2$$

Diâmetro (mm)	Área unitária (cm ²)	Número de barras
8	0,50	4,89/0,5 = 9,78 = 10
10	0,78	4,89/0,78 = 7
12,5	1,23	4
16	2,01	3
20	3,14	2

Dimensionamento de viga: Método 2- tabelas K_c e K_s

Tabelas

$$K_c = \frac{b_w d^2}{M_d}$$

$$\beta_x = \frac{x}{d}$$

$$A_s = K_s \frac{M_d}{d}$$

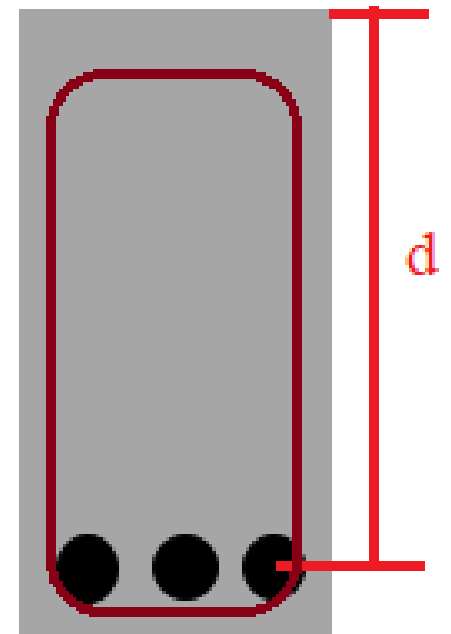
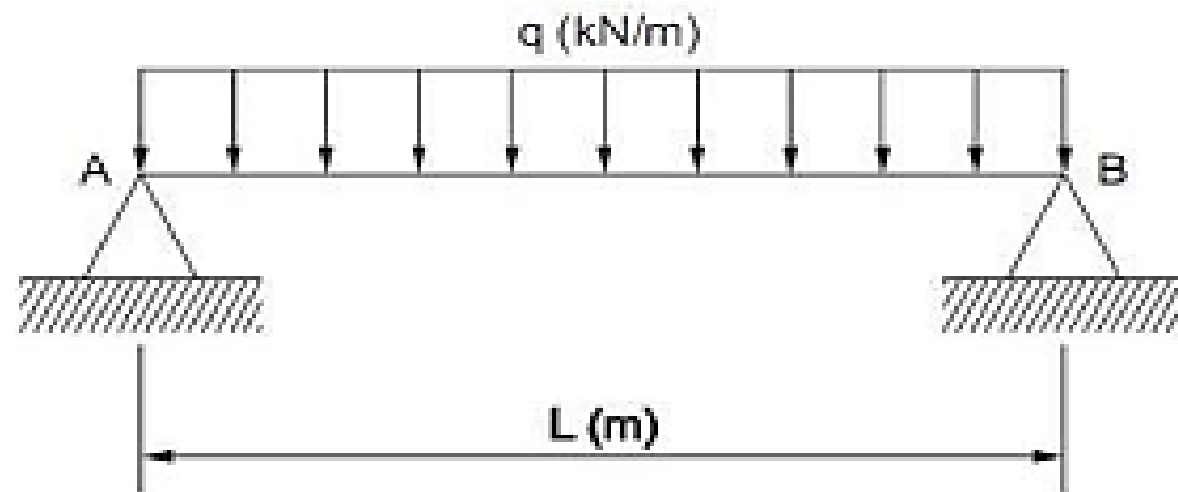
Exemplo 3

Determinar a área de aço e a armadura de uma viga com seção 15x40, biapoiada e com 4 m de comprimento utilizando o método 1 para dimensionamento de vigas. A viga está submetida a uma carga característica q igual a 24 kN/m. *Adotar um estribo com diâmetro de 10 mm ou 1 cm*

classe de agressividade ambiental 2 e concreto de C25

$q = 24$ kN/m

$C = 30$ mm ou 3 cm



Resolução

1. Força solicitante de projeto devido às forças externas

$$F_{sd} = \gamma_c * q$$

$$F_{sd} = 1,4 * 24$$

$$F_{sd} = 33,3 \text{ kN/m}$$

Resolução

2. Momento solicitante de projeto devido às forças externas

$$M_{sd} = \frac{F_{sd} * l^2}{8}$$

$$M_{sd} = \frac{33,3 * 4^2}{8}$$

$$M_{sd} = 66,6 \text{ kN.m ou } 6.660 \text{ kN.cm}$$

Resolução

3. determinar K_c

$d = h - c$ - diâmetro estribo

$$d = 40 - 3 - 1$$

$$d = 36 \text{ cm}$$

$$K_c = \frac{b_w * d^2}{M_{sd}}$$

$$K_c = \frac{15 * 36^2}{6.660}$$

$$K_c = 2,91$$

Resolução

4. verificando o domínio

O domínio nesse caso pode ser verificado através do β e por meio da própria tabela

$$K_c = 2,91 \rightarrow \beta = 0,33 < 0,45$$

\rightarrow atende a ductilidade segundo a NBR 6118/2014

Ou

$$\beta = x/d$$

$$0,33 = x/36$$

$$\rightarrow x = 36 * 0,33$$

$$\rightarrow x = 11,88 \text{ cm}$$

$$x_{23} = 0,259 * d$$

$$x_{duc} = 0,45 * d$$



$$x_{23} = 9,32 \text{ cm}$$

$$x_{duc} = 16,20 \text{ cm}$$

Resolução

5. determinar a área de aço e a armadura

$$K_c = 2,91$$

$$\rightarrow K_s = 0,026$$

$$\rightarrow A_s = K_s * \frac{M_{sd}}{d}$$

$$A_s = 0,026 * \frac{6.660}{36}$$

$$A_s = 4,81 \text{ cm}^2$$

Diâmetro (mm)	Área unitária (cm ²)	Número de barras
8	0,50	4,89/0,5 = 9,78 = 10
10	0,78	4,89/0,78 = 7
12,5	1,23	4
16	2,01	3
20	3,14	2