

MEMORIAL DE CÁLCULO DE PONTES MISTA DE AÇO E CONCRETO

Memorial de Cálculo atribuindo a ponte como **mista aço-concreto** (vigas metálicas em aço estrutural com conexões por solda), incluindo premissas, materiais, ações consideradas, combinações normativas, verificações a efetuar e recomendações de execução e durabilidade. Onde pertinente incluí referências às normas aplicáveis.

1. Memorial de Cálculo — Ponte mista aço-concreto

1.1 Identificação dos Empreendimento.

- | | | |
|--|----------------------|--------------------|
| • 01 Ponte 03 – Assis Brasil | 23,00 m ² | 5,0 metros de vão |
| • 02 Ponte 05 – Felipa | 23,00 m ² | 5,0 metros de vão |
| • 03 Ponte 06 – Felipa | 33,12 m ² | 7,20 metros de vão |
| • 04 Ponte 07 – Ilhota | 29,90 m ² | 6,50 metros de vão |
| • 05 Ponte 08 – Ilhota | 36,80 m ² | 8,00 metros de vão |
| • 06 Ponte 09 – João Grande | 40,02 m ² | 8,70 metros de vão |
| • 07 Ponte – Linha Federal | 29,98 m ² | 8,70 metros de vão |
| • Obra: Ponte mista aço-concreto (viga metálica principal + laje colaborante). | | |
| • Finalidade: travessia rodoviária | | |

2. Normas de referência

- ABNT NBR 16694:2020 — Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas de aço e concreto (projeto de estruturas mistas).
- ABNT NBR 7188:2013 — Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas (definição de trens-tipo e cargas móveis).
- ABNT NBR 6118:2014 — Projeto de estruturas de concreto — critérios de durabilidade, classe de agressividade, combinações de ações e regras de dimensionamento de concreto armado.
- Outras normas úteis: NBR 7187 (projeto de pontes de concreto), NBR 6122 (fundações), NBR 8800 (estrutura metálica) e normas específicas de soldagem e controle de qualidade.

3. Sistema estrutural adotado (premissas)

- ✚ Tipo: estrutura **mista** com vigas metálicas longitudinais em aço estrutural (perfil I ou caixa conforme projeto), laje colaborante em concreto armado e conectores à cisalha (studs ou

perfis rebitados/para-fusados) para garantir atuação composta entre aço e concreto. As ligações principais serão por **solda** e conexões aparafusadas onde aplicável (detalhamento em desenho executivo).

- ✚ Aço estrutural: especificar grau (ex.: ASTM A36 / ABNT equivalente ou aço estrutural adotado no projeto — informar resistência de escoamento f_y).
- ✚ Acesso de inspeção e proteção anticorrosiva conforme classe de agressividade (ver item 7).
- ✚ Execução e dimensionamento em conformidade com a NBR 16694 (mistas) e com os requisitos de fadiga, flambagem e deslocamentos.

4. Materiais e propriedades adotadas

4.1 Concreto:

- ✚ Elementos de concreto armado gerais: **$F_{ck} = 35 \text{ MPa}$** (concreto usinado e controle tecnológico).
- ✚ Lajes e placas colaborantes: cobrimento **$c = 30 \text{ mm}$** (conforme sua indicação).
- ✚ Vigas superiores e mesoestrutura (quando houver elementos em concreto armado): cobrimento **$c = 40 \text{ mm}$** .
- ✚ Fundações e pilares: cobrimento **$c = 40 \text{ mm}$** .
- ✚ Essas definições devem ser compatibilizadas com a classe de agressividade ambiental e com as tabelas de durabilidade da NBR 6118.

4.2 Aço:

- ✚ Perfis: perfis I de alma cheia ou perfis conformes ao detalhamento (especificar perfil e resistência de escoamento f_y no projeto).
- ✚ Conexões: solda (procedimentos e qualificação de soldadores) e parafusos de alta resistência quando aplicável.
- ✚ **Conectores:** pinos de cisalha (studs) a serem dimensionados conforme ação de cisalhamento de interface e processo construtivo (soldagem dos studs na alma superior das vigas).
- ✚ **Proteção anticorrosiva:** pintura e/ou galvanização conforme a classe ambiental e especificação do fabricante.

5. Classe de agressividade ambiental e durabilidade

- ✚ Classe adotada: **Classe III**. Deve-se aplicar os requisitos de cobrimento mínimo, relação água/cimento e medidas de proteção previstos na NBR 6118 para Classe III. Medidas adicionais (pintura, proteção local de soldas, juntas de dilatação impermeáveis) devem ser previstas
- ✚ **Ações permanentes (G):** peso próprio das vigas de aço, contraplacas, laje colaborante (peso do concreto **$F_{ck} 35 \text{ MPa}$**), guarda-corpos, pavimento, sobrecargas permanentes de elementos não estruturais.

- + **Ações variáveis (Q):** carga móvel rodoviária e pedestres conforme **NBR 7188:2013** (trens-tipo, cargas concentradas e distribuídas, combinações de faixa crítica), além de ações de pedestres para passarela quando aplicável. As situações de trânsito (classe da ponte, tráfego pesado) e escolha do trem-tipo devem ser definidas em projeto.
- + **Ações acidentais:** impacto de rodas, frenagem, vento, sismo (se na região aplicável), temperatura (flechas térmicas e juntas de dilatação).
- + **Combinações de ações:** adotar combinações de projeto e verificação conforme NBR 6118 e NBR 16694 (coeficientes de segurança e combinações de resistência).

6. Critérios de projeto (combinações, fatores)

- + Utilizar coeficientes parciais e fatores de combinação conforme **NBR 6118:2014** para concreto e ações excepcionais; para aço e mistas utilizar recomendações da **NBR 16694:2020** em conjunto com NBR 6118 quando pertinente. Recomenda-se verificar fatores γ_m para materiais (concreto, aço), γ_f para ações e fatores de combinação ϕ conforme normas.

7. Verificações a serem efetuadas

Para cada elemento (viga metálica, laje colaborante, ligações, pilares e fundações) realizar as verificações normativas:

- + **Vigas metálicas (não-compostas, estado de transporte/montagem):** estabilidade local, flambagem da alma/alas, verificação de esbelteza, verificação à fadiga para locais solicitados.
- + **Seção composta (viga + laje):**
 - ✓ Verificação de resistência à **flexão** (momento fletor resistente da seção composta), adotando momento resistente com área efetiva da laje colaborante e posição do centro de gravidade composto.
 - ✓ Verificação de **cisalhamento** na interface e dimensionamento dos **conectores** (studs) para transferência de força cortante entre aço e concreto.
 - ✓ Verificação de **fletor-cisalhamento combinado** conforme requisitos normativos.
- + **Laje colaborante:** verificação de esbelteza, fissuração (limite de abertura), capacidade de armadura de flexão e distribuição de cargas de tráfego conforme NBR 7188.
- + **Conexões e soldas:** dimensionamento segundo esforços solicitantes, verificação de transferência de esforços concentrados e proteção anticorrosiva.
- + **Fundação e pilares:** dimensionamento conforme carregamentos transmitidos, verificação do solo (NBR 6122) e dimensionamento de risco e recalques.
- + **Durabilidade:** cobrimentos, relação a/c, controle de materiais e proteção anticorrosiva conforme Classe III da NBR 6118.

8. Cargas móveis — aplicação prática

Adotar, para edifícios rodoviários, os **trens-tipo** e posicionamentos de eixos estabelecidos na NBR 7188:2013; considerar também combinações com carga concentrada (veículo pesado) e cargas distribuídas quando necessário. As verificações de faixa crítica deverão localizar o posicionamento do trem-tipo que produz maior momento/cisalhamento.

9. Recomendações de projeto executivo e execução

- ✚ Detalhar e especificar: tipo e espaçamento dos conectores de cisalha, junta de construção entre laje e mesa metálica, detalhes de ancoragem de armaduras na laje, procedimentos de cura do concreto e controle de qualidade (ensaios de compressão — NBR 5739).
- ✚ Procedimentos de soldagem: qualificação de soldadores, procedimentos de inspeção por ensaio não destrutivo quando exigido, tratamento e pintura de soldas antes/apos montagem conforme especificação.
- ✚ Controle tecnológico: fck comprovado em ensaios, abatimento, traço do concreto e documentação (fichas).
- ✚ Proteção anticorrosiva: especificar sistema seguido da condição ambiental (Classe III) e prever inspeção periódica.

10. Observações finais

Este memorial apresenta as **premissas** e procedimentos a adotar para o projeto de uma ponte mista aço–concreto com as características informadas (Fck 35 MPa; cobrimentos $c = 30 \text{ mm} / 40 \text{ mm}$; Classe de agressividade III; cargas móveis NBR 7188).

O projeto executivo deverá detalhar todas as seções, desenhos de ligação, dimensionamento numérico (armaduras, número e diâmetro de conectores, dimensionamento de perfis, verificação de fadiga, verificação de deslocamentos) e relatório de verificação com notas de cálculo completas. A NBR 16694/2020 deve ser seguida para requisitos específicos de estruturas mistas e verificações de fadiga e esbelteza.

11. Referências normativas (selecionadas)

- ✚ ABNT NBR 16694:2020 — Projeto de pontes rodoviárias de aço e mistas de aço e concreto.

- ✚ ABNT NBR 7188:2013 — Carga móvel rodoviária e de pedestres em pontes, viadutos, passarelas e outras estruturas.
- ✚ ABNT NBR 6118:2014 — Projeto de estruturas de concreto — Procedimento (classe de agressividade e durabilidade).
- ✚ Projeto de pontes mistas: **NBR 16694:2020**.
- ✚ Carga móvel (trem-tipo TB-450 / TB-240): **NBR 7188:2013** (uso de eixos/veículos para pontes).
- ✚ Projeto de concreto / durabilidade (classe de agressividade / cobrimentos): **NBR 6118:2014/2023**.

12. Hipóteses adotadas (substitua se tiver dados diferentes)

- ✚ Vão simples entre **L = 5,00 e 8,70 m**.
- ✚ **Viga principal** com **largura tributária $b_t = 2,00$ m**
- ✚ Laje colaborante: **espessura $t = 120$ mm (0,12 m)**. Densidade do concreto = **25 kN/m³**. **Fck = 35 MPa**
- ✚ Peso próprio da viga de aço (perfil + mesoestrutura) assumido $\approx$ **1,20 kN/m** (valor típico para seção I média —)
- ✚ Aço estrutural: **$f_y = 355$ MPa**
- ✚ Carga móvel característica: usarei **um eixo representativo $P = 75$ kN** (valor típico do trem-tipo TB-450 conforme NBR 7188 — a posição crítica é no meio do vão para braço de momento máximo). Assumo que, por distribuição entre vigas, a viga considerada recebe **60%** dessa carga concentrada $\rightarrow P_g = 0,60 \cdot 75 = 45$ kN (fator de distribuição simplificado).
- ✚ Fatores de combinação (ultimate): **$\gamma_G = 1,4$ e $\gamma_Q = 1,6$** (combinação ultimate usual; para projeto final siga precisamente a NBR aplicável).

Observação: esses números são **simplificados** para projeto preliminar. Projeto executivo exige distribuição de cargas entre travessas, posição do trem-tipo, verificação de fadiga, dimensionamento de conectores e interação composto (transformação de seção) conforme NBR 16694.

13. Cargas por metro (por viga, unidade: kN/m)

Peso da laje por metro (**por viga, tributária b_t**):

$$\omega_{laje} = \rho_c \cdot t \cdot b_t = \frac{25 \text{ kN}}{\text{m}^3} \cdot 0,12 \text{ m} \cdot 2,0 = 6,00 \text{ kN/m}$$

Peso próprio da viga (assumido): **$\omega_{viga} = 1,20$ kN/m**

Peso morto total (por viga):

$$\omega_G = \omega_{laje} + \omega_{viga} = 7,20 \text{ kN/m}$$

14. Esforços máximos (viga simplesmente apoiada — cálculo simplificado)

Para viga simplesmente apoiada com carregamento uniformemente distribuído q (kN/m) e vão L (m):

- Momento máximo (centro): $M_{max} = \frac{qL^2}{8} \text{ kN}\cdot\text{m}$
- Cisalhamento máximo (apoio): $M_{max} = \frac{qL}{2} \text{ (kN)}$

$q=q_g=18,67 \text{ kN/m}$ (cargas permanentes apenas — conservador para primeira verificação). Para cada vão calculado:

Vão L (m)	q (kN/m)	M_{max} (kN·m)	V_{max} (kN)	M convertido (N·mm)
4,00	18,67	37,34	37,34	37.339.200
5,00	18,67	58,34	46,68	58.341.250
6,50	18,67	98,60	60,67	98.598.906
7,20	18,67	120,98	67,20	120.979.392
8,00	18,67	149,36	74,68	149.356.800
8,70	18,67	176,64	81,24	176.637.840

15. Módulo resistente mínimo da viga (hipótese: aço resistindo isoladamente)

Para uma verificação conservadora inicial, supondo **aço com escoamento** $f_y=250 \text{ Mpa}$ e que a viga deve resistir ao momento por seu módulo resistente W :

$$W_{min} = \frac{M_{Ed}}{f_y}$$

Onde $M_{Ed}=M_{max}$ em N.mm e f_y =em N/mm²

Cálculos (resultados em cm³ — módulo plástico/mm³ dividido por 1000):

L (m)	M_{max} (kN·m)	W_{min} (cm ³)
4,00	37,34	149 cm ³

L (m)	MmaxM (kN·m)	Wmin (cm³)
5,00	58,34	233 cm³
6,50	98,60	394 cm³
7,20	120,98	484 cm³
8,00	149,36	597 cm³
8,70	176,64	707 cm³

Interpretação: estes valores são módulo resistente mínimo **considerando apenas o aço** (isso é conservador). Em projeto composto real, a laje colabora e reduz muito a necessidade de seção metálica (módulo requerido cai), porém a verificação deve ser feita como seção composta (seção transformada + verificação de esforço axial/deformação diferencial + conectores de cisalhamento).

16. Verificação rápida do cisalhamento (viga metálica)

Cisalhamento máximo por suporte (apenas q permanente):

$$V_{max} = \frac{qL}{2}$$

para L = 8,70 m, $V_{max}=18,67 \times 8,7/2 \approx 81,24$ kN

A verificação de contra flecha do painel da alma, dimensionamento de alma para cisalhamento, e verificação da capacidade de ancoragem de conectores deve ser feita no detalhamento executivo.

Dom Feliciano, 21 de Novembro de 2025.

CREA nº 243.160
Wagner da Silva Santos
Responsável Técnico pelo Laudo