



MEDIDOR DE FLUÊNCIA DO CONCRETO

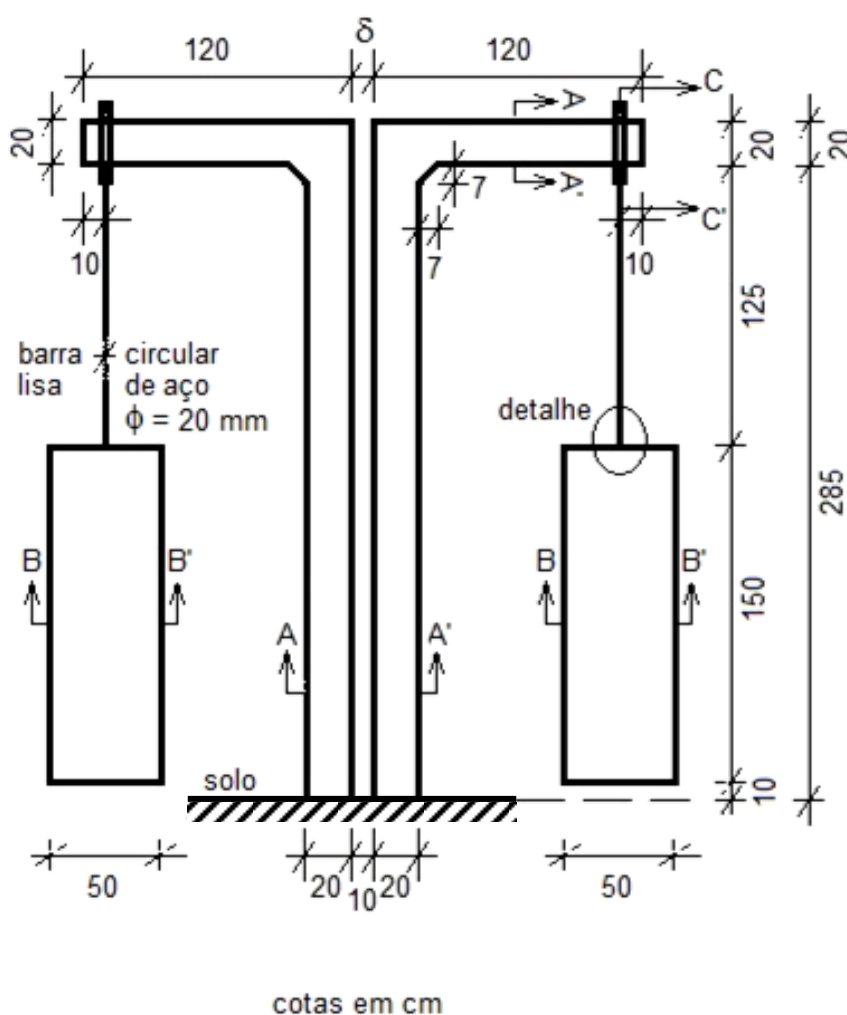
Eugène Freyssinet

Prof.. Eduardo C. S.
Thomaz
Notas de aula

Eugène Freyssinet criou, em 1930, um medidor de Fluência do Concreto.

Em 1950, esse tipo de medidor foi usado na Ponte sobre o Rio das Antas, em Bento Gonçalves/RS.

Ver abaixo.



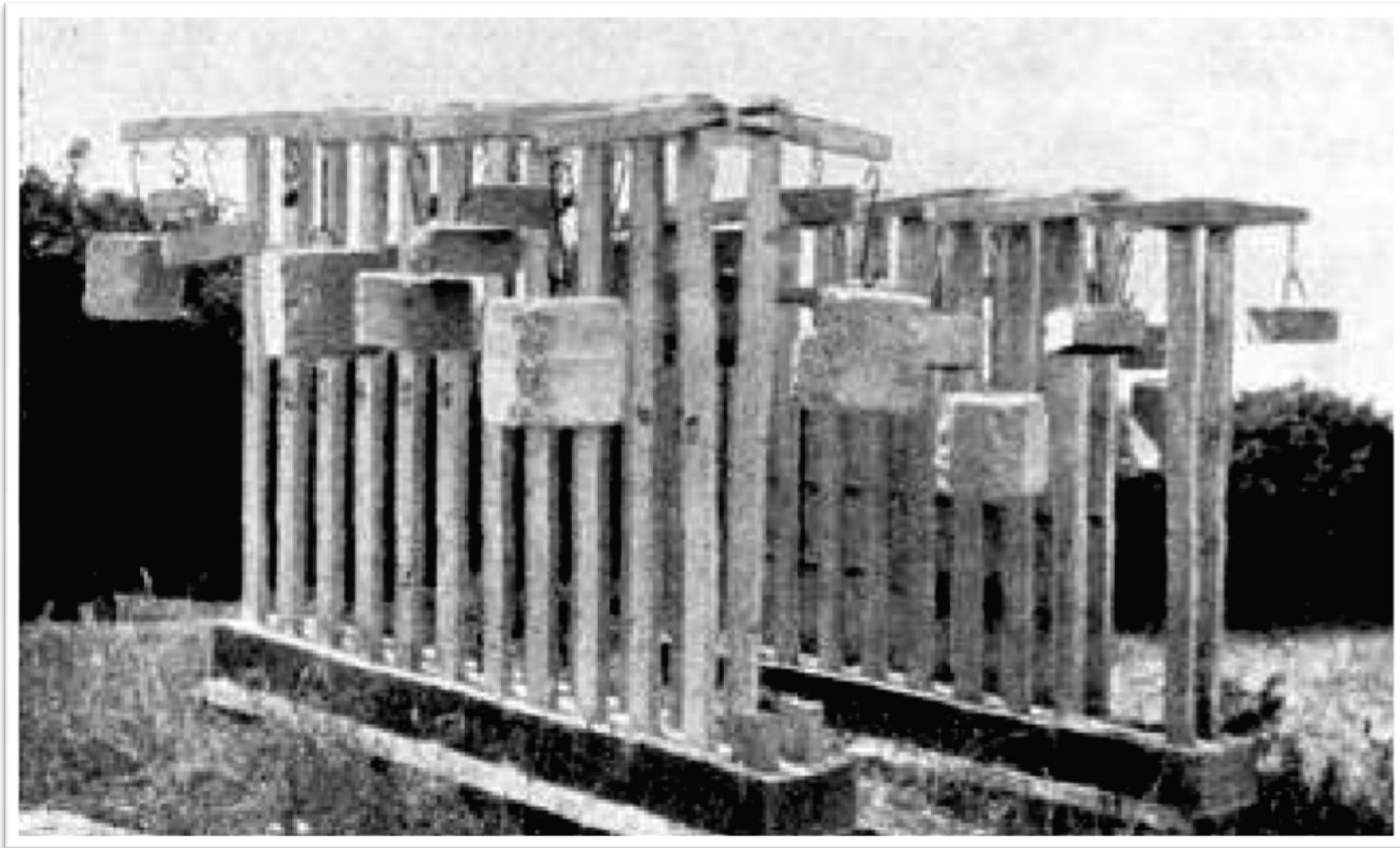
Em 2017 foram feitas, no local da Ponte sobre o Rio das Antas, medições da fluência ocorrida nesse período de 67 anos.

O coeficiente de fluência avaliado foi $\phi(t_{\infty}, t_0) = 2,4$.

1930 - EUGENE FREYSSINET MEDIU A FLUÊNCIA (DEFORMAÇÃO LENTA) DO CONCRETO

Ponte de Plougastel /França - Esquema do ensaio de Freyssinet (1930)

<http://dx.doi.org/10.5169/seals-5084> , na página 265 Ver Figuras nas Páginas 278 E 280



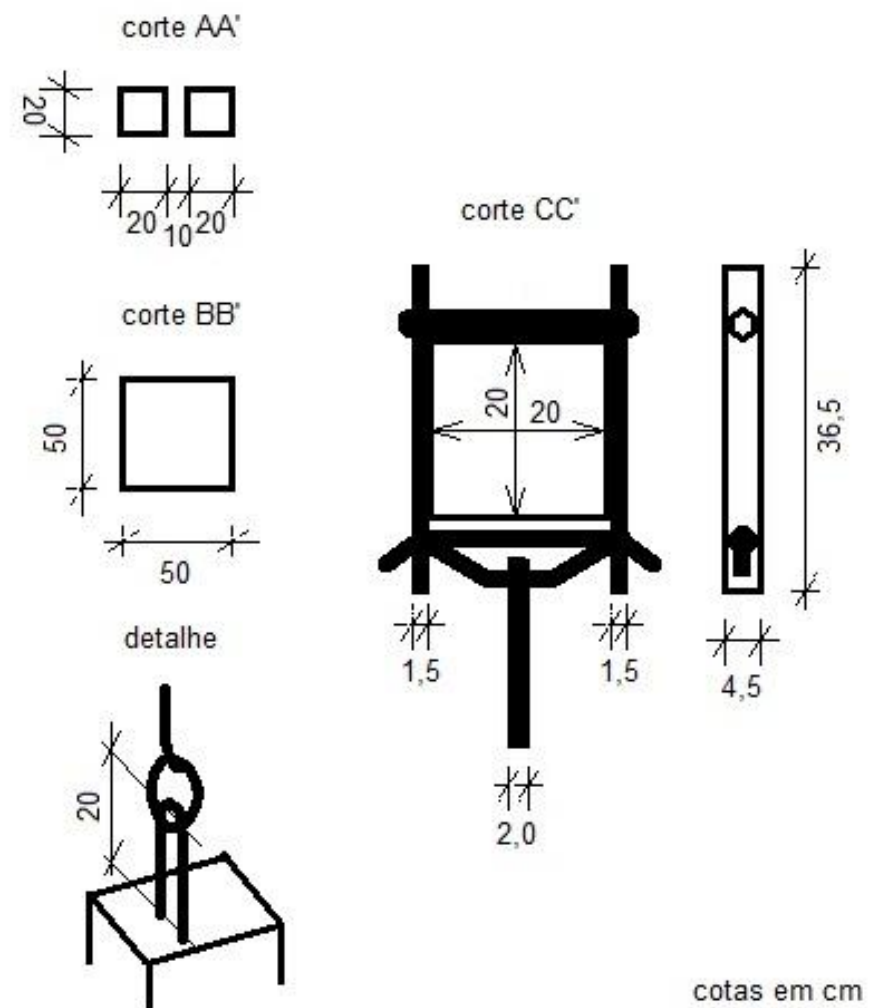
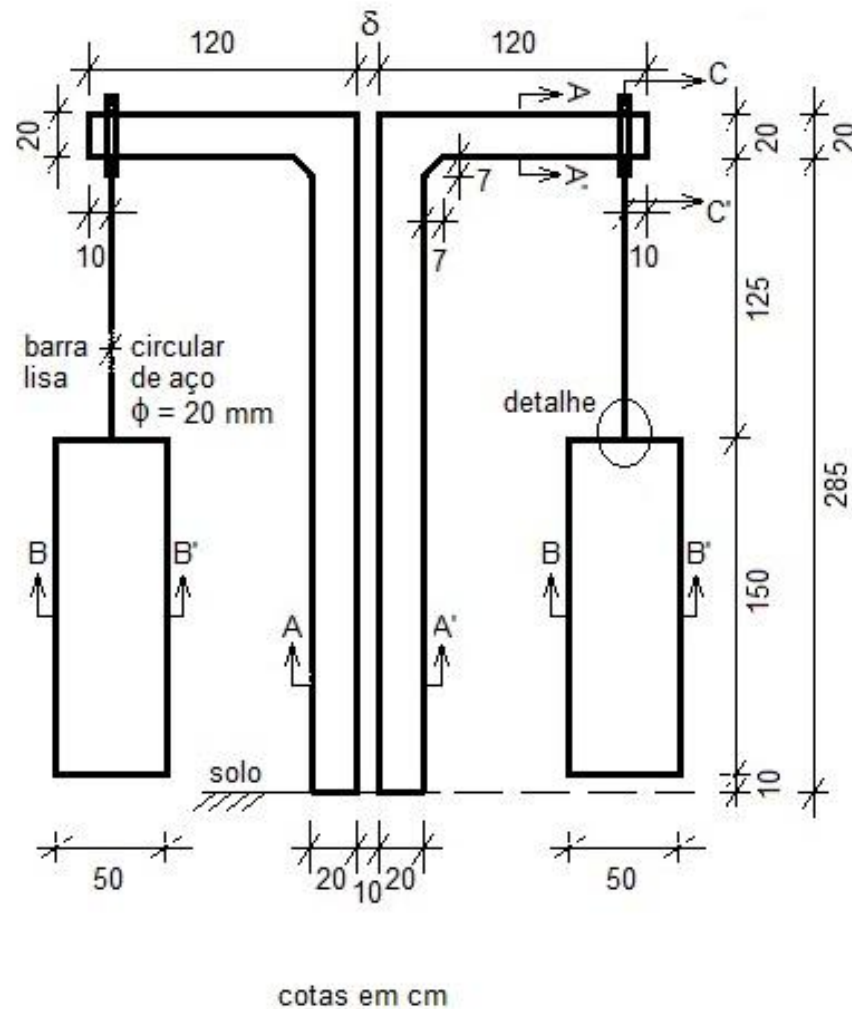
" Les pièces sont armées seulement sur les faces tendues qui se font vis-à-vis "

1950 - Eng. ANTONIO ALVES DE NORONHA MEDIU A FLUÊNCIA DO CONCRETO - Ponte do Rio das ANTAS / BENTO GONÇALVES/ RS com o mesmo- esquema do ensaio de Freyssinet



Foto de Novembro / 2017 feita pelo Prof. LUIZ ANTONIO V. CARNEIRO (IME)

Dimensões dos Medidores de Fluência da Ponte do Rio das Antas



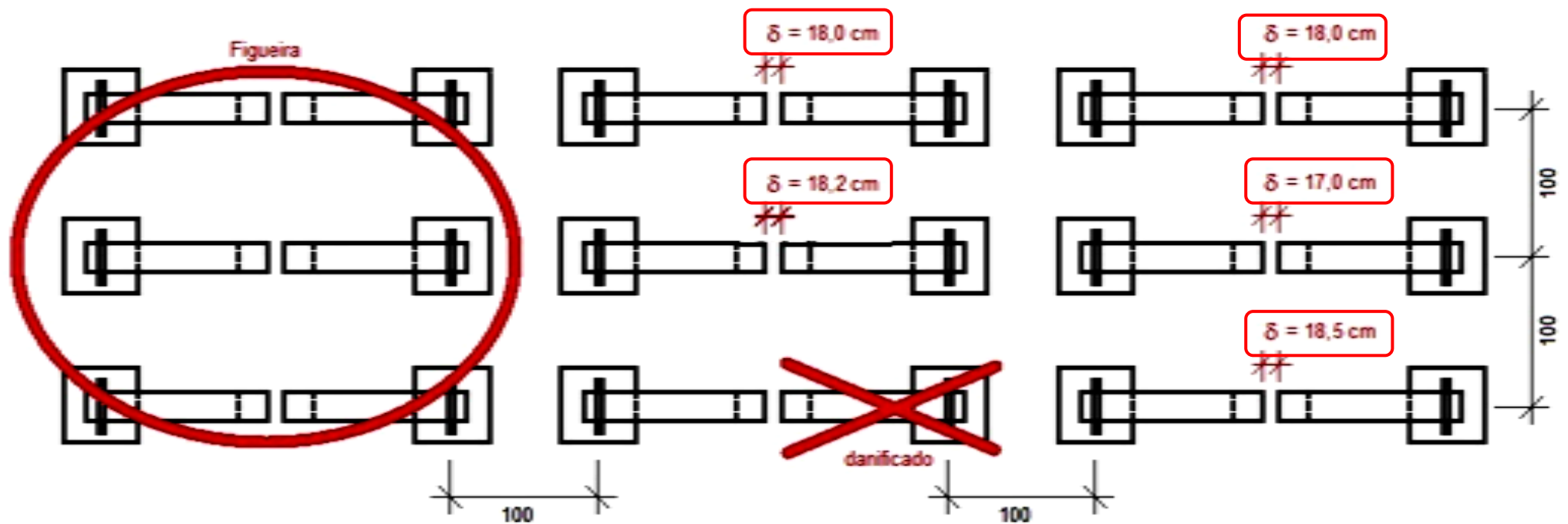
PESO = $0,5\text{M} \times 0,5\text{M} \times 1,50\text{M} \times 2,5 \text{ T/M}^3$ (BASALTO) = 0,94 TON

EXCENRICIDADE = $120\text{CM} - 10\text{CM} - 10\text{CM} = 1,0\text{M}$; ALTURA DO POSTE = $285\text{CM} + 10\text{CM} = 2,95\text{m}$;

DISTANCIA DO EIXO A ARMADURA DE TRAÇÃO = 8,2cm

ARMADURA 4 FERROS $5/8"$ = $4 \times 2.0\text{CM}^2 = 8,0 \text{ cm}^2$

Layout dos Medidores de Fluência da Ponte do Rio das Antas



Distâncias entre os topos de cada par de pilares medidas em Novembro de 2017

Valor médio = 17.94 cm

1955 - MEDIDORES DE FLUÊNCIA NA ÉPOCA DA INAUGURAÇÃO DA PONTE (1952)



Ponte Ernesto Dornelles sobre o Rio das Antas, divisa do município de Bento Gonçalves e Veranópolis, 1955.

Créditos: Foto Planalto
Acervo: Museu do Imigrante

Tags: Arquitetura, Cidade e Infraestrutura

1955 - MEDIDORES DE FLUÊNCIA NA ÉPOCA DA INAUGURAÇÃO DA PONTE EM 1952

ZOOM



ARMADURA DOS PILARETES DOS MEDIDORES

2017 - BITOLA DAS BARRAS DA ARMADURA

ZOOM



A leitura direta, no local, indicou bitola de 16mm .

2017 - BITOLA DAS BARRAS DA ARMADURA ZOOM



No pilarete quebrado pôde-se medir a bitola de 16mm nos 4 ferros.

O pilarete foi quebrado por um veículo no estacionamento antes de 2011. Ver fotos de 2011.
Em 2017 nenhum sinal de corrosão.

Aço CA25 bom !

Tabela climática de Bento Gonçalves (Rio Grande do Sul)

Origem: Wikipédia, a enciclopédia livre.

[\[Esconder\]](#) Dados climatológicos para Bento Gonçalves

Mês	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Ano
Temperatura máxima absoluta (°C)	35,1	35	35	32,2	29,5	27,2	28	30,8	33,4	33	35,4	36	36
Temperatura máxima média (°C)	27,7	27,6	26	22,9	20,3	18,2	18,7	19,2	20,9	22,9	24,8	26,9	23
Temperatura média (°C)	21,7	21,8	20,2	17,3	14,9	13	13,1	13,5	15,3	17	18,8	20,8	17,3
Temperatura mínima média (°C)	17,2	17,4	16,1	13	10,6	8,9	8,8	9,1	10,9	12,3	14	16	12,9
Temperatura mínima absoluta (°C)	8,5	7,5	5	1,5	-1	-3,5	-4,5	-3,8	-1,6	2,8	6	6,3	-4,5
Chuva (mm)	143,8	133,1	137,1	92,7	106	152,8	158,6	173,5	171,1	153,2	116,2	145,7	1 683,7
Dias com chuva (≥ 1 mm)	11	10	10	7	8	9	9	11	11	10	9	10	115
Umidade relativa (%)	74,5	76,7	78,5	78,2	78,4	79,1	77,3	75,8	75,7	73,9	72,6	71,9	76,1

Fonte: [Instituto Nacional de Meteorologia](#) (médias climatológicas de 1961 a 1990;^{[\[1\]](#)[\[2\]](#)[\[3\]](#)[\[4\]](#)[\[5\]](#)[\[6\]](#)[\[7\]](#)} recordes de temperatura de 1961 a 1984, 1988 a 1989, 1994 a 1998 e 2000 a 2013)

BENTO GOLCALVES umidade média anual = 76,1 %

Tabela 8.2 – Valores característicos superiores da deformação específica de retração $\varepsilon_{cs}(t_{\infty}, t_0)$ e do coeficiente de fluência $\varphi(t_{\infty}, t_0)$

Umidade média ambiente %			40		55		75		90	
Espessura fictícia 2A_c / u cm			20	60	20	60	20	60	20	60
φ (t _∞ ,t ₀) Concreto das classes C20 a C45	t₀ dias	5	4,6	3,8	3,9	3,3	2,8	2,4	2,0	1,9
		30	3,4	3,0	2,9	2,6	2,2	2,0	1,6	1,5
		60	2,9	2,7	2,5	2,3	1,9	1,8	1,4	1,4
5		2,7	2,4	2,4	2,1	1,9	1,8	1,6	1,5	
30		2,0	1,8	1,7	1,6	1,4	1,3	1,1	1,1	
60		1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	1,2	1,0	1,0	
ε _{cs} (t _∞ ,t ₀) ‰		5	− 0,53	− 0,47	− 0,48	− 0,43	− 0,36	− 0,32	− 0,18	− 0,15
		30	− 0,44	− 0,45	− 0,41	− 0,41	− 0,33	− 0,31	− 0,17	− 0,15
		60	− 0,39	− 0,43	− 0,36	− 0,40	− 0,30	− 0,31	− 0,17	− 0,15

$$2A_c/u = 2 \times (20\text{CM} \times 20\text{CM}) / (4 \times 20\text{CM}) = 10\text{CM} ; \text{ LOGO } \varphi > 2.2$$

A deformação lenta calculada, considerando $\varphi = 2.4$, é igual à deformação lenta medida.

Isso indica que a estimativa feita pela norma NBR 6118 é boa.

PÁGINA EM BRANCO



MEDIÇÃO DA FLUÊNCIA DO CONCRETO
EUGENE FREYSSINET 1930

Prof.. Eduardo C. S.
 Thomaz
 Notas de aula

Aspects nouveaux des problèmes du ciment armé

Autor(en): Freyssinet, E.

Objektyp: Article

Zeitschrift: IABSE publications = Mémoires AIPC = IVBH Abhandlungen

Band (Jahr): 4 (1936)

PDF erstellt am: 23.03.2015

Persistenter Link: <http://dx.doi.org/10.5169/seals-5084>

Ver link :

<http://dx.doi.org/10.5169/seals-5084> , na página 265

Ver Figuras nas Páginas 278 E 280

- Nesse artigo, Eugene Freyssinet formula a Retração e a Fluência (Deformação Lenta) do Concreto.
- Apresenta o medidor de Fluência do Concreto, usado em Plougastel, na França, em 1930. Mostra os resultados das medições.
- Esse medidor de Fluência do Concreto foi usado na Ponte sobre o rio das Antas / RGS, em 1950. Continua no local, junto à ponte.

Ponte de Plougastel - França - 1930



Ponte sobre o Rio das Antas - Brasil - 1950



*Situada na RST-470 entre Bento Gonçalves e Veranópolis, no Estado do Rio Grande do Sul, Brasil, com vão livre em 186 metros,
Inaugurada em 31 de agosto de 1952*

FLUÊNCIA

2017 - PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS

LOCAL ONDE AINDA ESTÃO OS MEDIDORES DE FLUÊNCIA FREYSSINERT, DESDE 1950



2011 - PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS



FOTO DE 2011

2011 - PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS



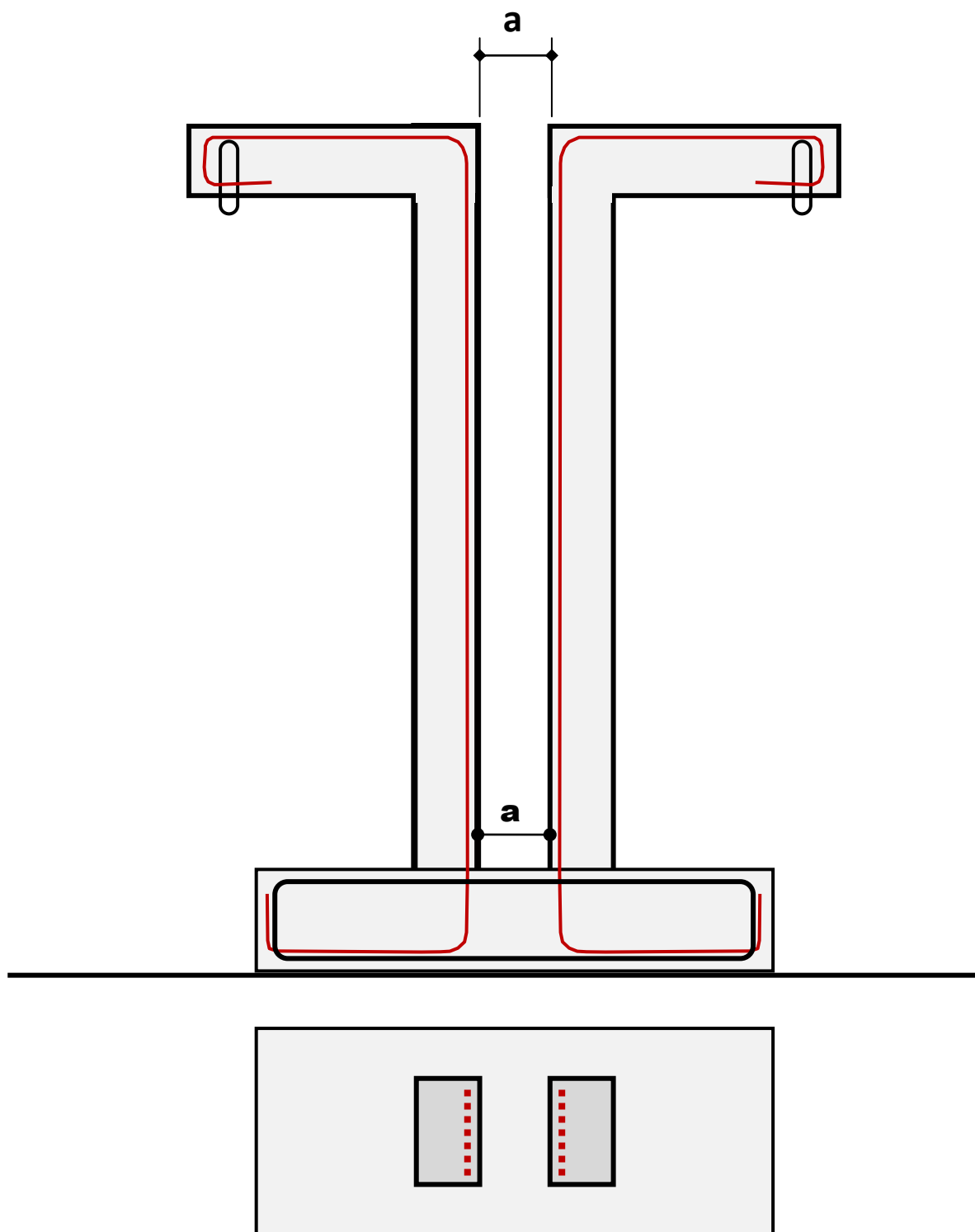
FOTO DE 2011

2017 - PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS



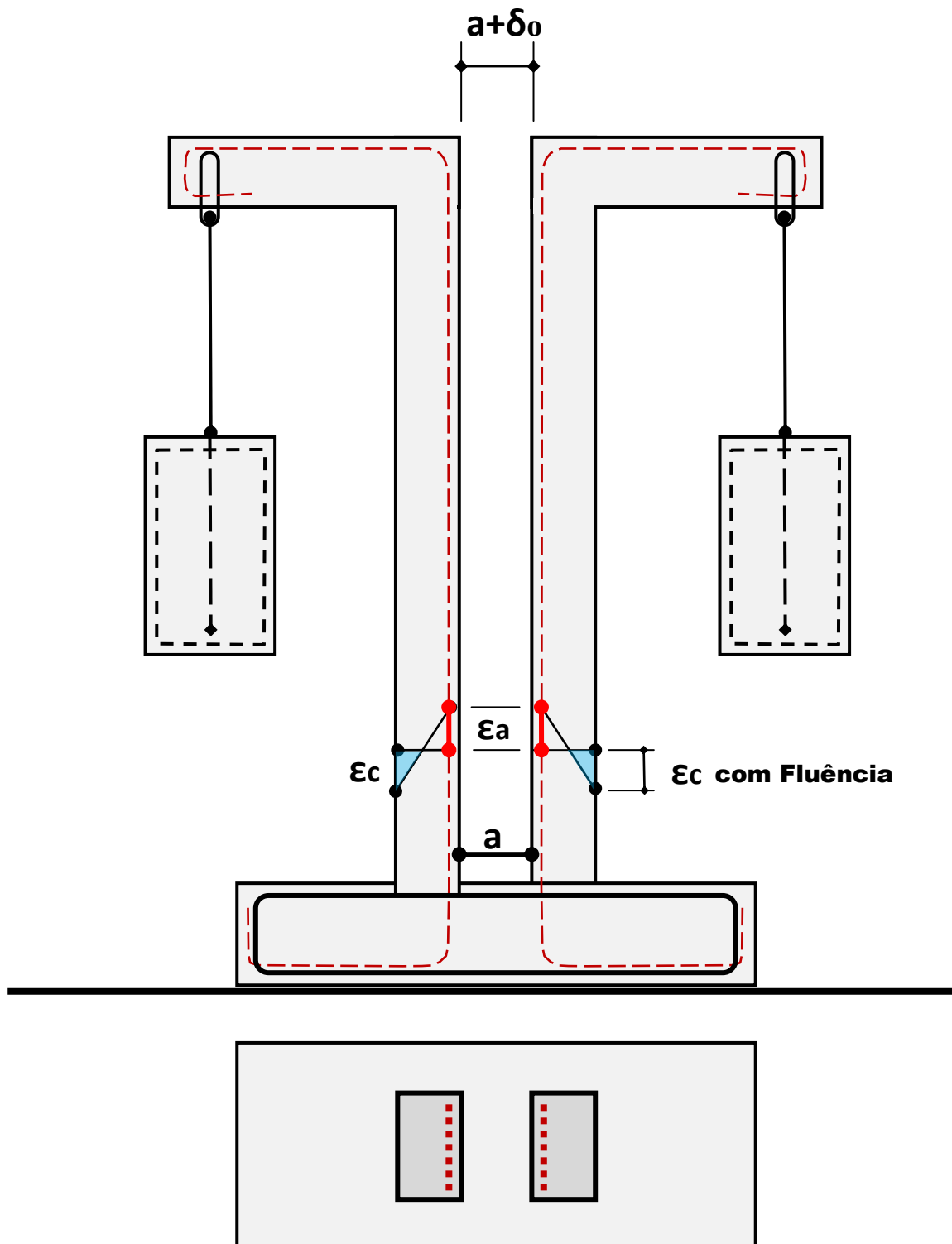
Fotos de Novembro / 2017, feitas por Prof. Luiz Antonio Vieira Carneiro (IME) , Profa. Flávia Moll de Souza Júdice (UFRJ) e Profa. Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro (UFF), durante o 59º Congresso IBRACON em Bento Gonçalves.

Esquema do ensaio de Freyssinet para medir a fluência do concreto



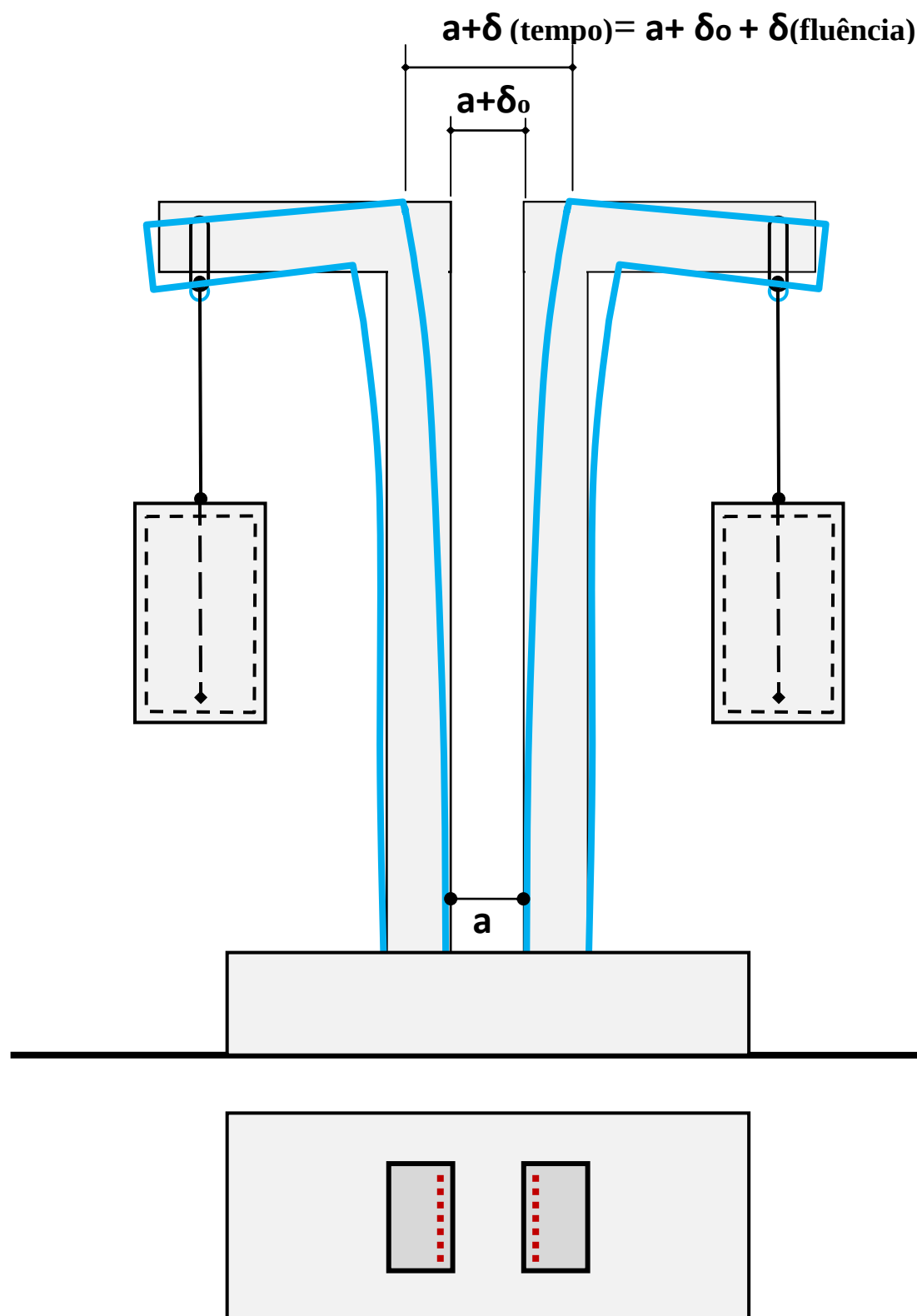
Esquema do ensaio de Freyssinet para medir a fluência do concreto

Colocar os pesos ocasiona um deslocamento δ_0



Esquema do ensaio de Freyssinet para medir a Fluência do concreto

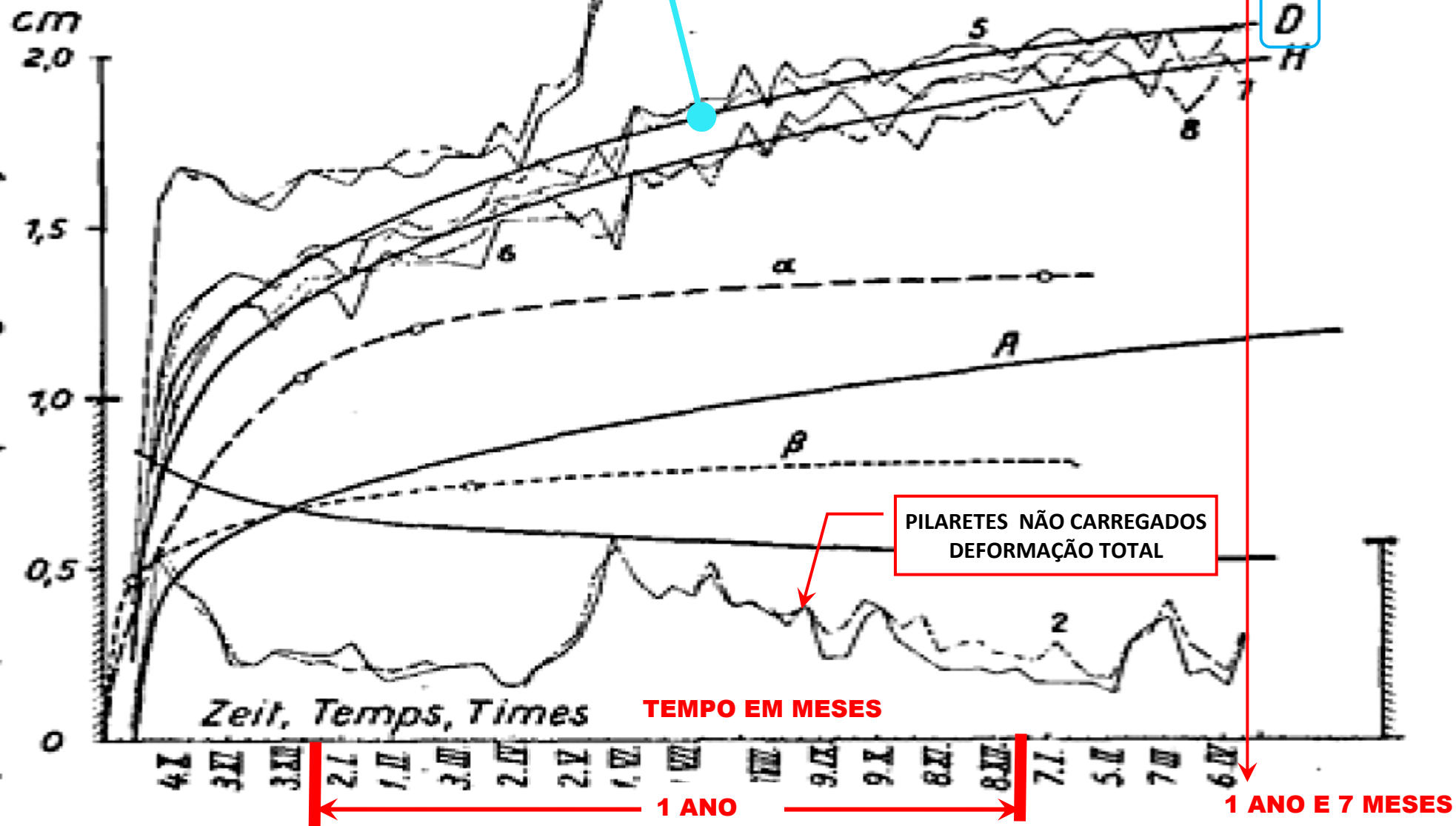
Com a ocorrência da Fluência o deslocamento aumenta até $\delta(\text{tempo})$



MEDIÇÕES FEITAS POR FREYSSINET EM PLOUGASTEL (1930)

D moyenne de la déformation des pièces chargées diminuée de la déformation des pièces non chargées.

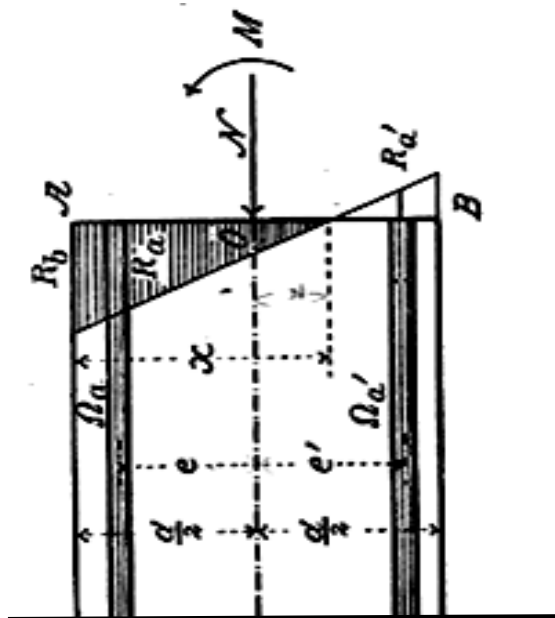
PILARETES CARREGADOS
DEFORMAÇÃO TOTAL



PÁGINA EM BRANCO

CÁLCULO DOS DESLOCAMENTOS ENTRE OS TOPOS DOS PILARETES

Formulação de Emil Mörsch para compressão com flexão, com a armadura dupla no estágio 2 = Elástico Linear, sem tração no concreto.



$$\begin{aligned}
 x^3 \cdot \frac{N}{6} - x^2 \left(\frac{N \cdot d}{4} - \frac{M}{2} \right) + \frac{x \cdot m}{b} \left[M (\Omega_a + \Omega_a') - N (e \cdot \Omega_a - e' \cdot \Omega_a') \right] \\
 + \frac{M \cdot m}{b} \left[\Omega_a \left(e - \frac{d}{2} \right) - \Omega_a' \left(e' + \frac{d}{2} \right) \right] - \frac{N \cdot m}{b} \left[\Omega_a \cdot e \left(e - \frac{d}{2} \right) \right. \\
 \left. + \Omega_a' \cdot e' \left(e' + \frac{d}{2} \right) \right] = 0.
 \end{aligned}$$

Nomenclatura

x = linha neutra

$\Omega a'$ = Área da Armadura tracionada = foi medido na obra, no pedaço que está quebrado = 4 ferros de 5/8"

Ωa = Área da Armadura comprimida = zero

N = Peso do bloco de concreto pendurado

$M = N \times$ Excentricidade do bloco pendurado

$m = E \text{ aço} / E \text{ concreto} = (10,6 \text{ a } 6,1 \text{ medidos por Freyssinet })$

- Freyssinet media as flechas e achava m depois

Ver a curva B na figura de Freyssinet acima

b = largura da seção do pilarete

d = altura da seção do pilarete

Após calcular x = linha neutra, calcula-se :

R_b = tensão no concreto (ver fórmulas adiante)

R_a' = tensão na barra tracionada (ver fórmulas adiante)

$\epsilon_b = R_b / E_c$ = Encurtamento do concreto

$\epsilon_a' = R_a' / E_{aço}$ = Alongamento do aço tracionado

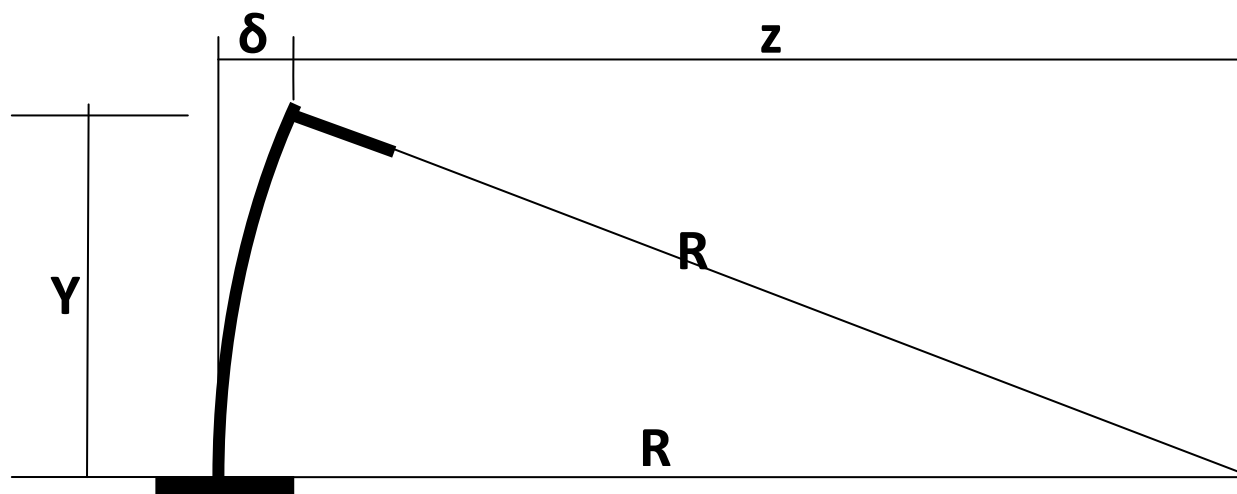
$R = \text{Raio} = \text{Raio de Curvatura} = R = \frac{d/2 + e'}{\epsilon_b + \epsilon_a'}$

On a alors pour le travail du béton :

$$R_b = \frac{N \cdot x}{\frac{b \cdot x^2}{2} + m \cdot \Omega_a \left(e - \frac{d}{2} + x \right) - m \cdot \Omega_a' \left(e' + \frac{d}{2} - x \right)}$$

$$R_a' = \frac{E_a}{E_b} \cdot R_b \cdot \frac{e' + \frac{d}{2} - x}{x} = m \cdot R_b \cdot \frac{e' + \frac{d}{2} - x}{x}$$

Como N e M são praticamente constantes, o Raio de Curvatura no pilarete também é constante e a flecha no topo se calcula pela equação do círculo.



- $R = \text{Raio} = \text{Raio de Curvatura} = R = \frac{d/2 + e'}{\epsilon_b + \epsilon_a'}$

Com $Y =$ altura do poste, obtemos Z .

$$Z^2 + Y^2 = R^2$$

$$Z = \sqrt{R^2 - Y^2}$$

Com Z obtemos δ (1 poste) = $\Delta = \delta = (R - Z)$

Como são 2 postes simétricos

$$\delta_{\text{(total)}} = 2 \times \delta \text{ (1 poste)}$$

- Com as medições dos δ faz-se uma retro-análise e se determina $\epsilon_b = R_b / E_c =$ Encurtamento do concreto ao longo do tempo. Isso define o valor da deformação lenta.
- **Formulação de Emil Mörsch para compressão com flexão e só com a armadura de tração**

$$\left(x^3\right) \cdot \left(\frac{N}{6}\right) - \left(x^2\right) \cdot \left(\frac{N \times d}{4} - \frac{M}{2}\right) + (x) \cdot \left[\frac{\Omega_a' \times m}{b}\right] \cdot (M + N \times e') - \left[\frac{M \times m}{b}\right] \cdot \left[\Omega_a' \cdot \left(e' + \frac{d}{2}\right)\right] - \left[\frac{N \times m}{b}\right] \cdot \left[\Omega_a' \cdot e' \cdot \left(e' + \frac{d}{2}\right)\right] = 0$$

- **CALCULA-SE x** , resolvendo a equação do 3º grau acima.

VARIAÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE OS TOPOS DOS PILARETES



Com as dimensões medidas em 2017 nos pilaretes dos Medidores de Fluência na Ponte sobre o Rio das Antas :

	INPUTS em amarelo	
Peso pendurado = N =	940	kgf
excentricidade =	1.00	m
M=	940	kgf.m
altura do poste =	2.95	m
b=	0.20	m
d=	0.20	m
e'=	0.082	m
área de aço de tração = $\Omega a'$=	8.0	cm²
E aço =	2050000	kgf/cm²
E concreto =	240000	kgf/cm²
m = E_a/E_c=	8,54	

DEFORMAÇÃO IMEDIATA

Resolvendo a equação de 3º grau obtemos : $X = 0,0869$ m

entrar $X \rightarrow \gg$	0.0869	m
Tensão no concreto R_b =	775664	kgf/m²
R_b =	77.6	kgf/cm²
NB1 -1940 : Estádio II - para flexão simples ou flexão composta (tensão σ_c nas bordas da tensão transversal) $< \sigma_{cm28} / 2,5 \leq 75 \text{ kg/cm}^2$ logo σ_c m28 >200kgf/cm ²		
Tensão no aço tracionado $R_{a'}$=	725	kgf/cm²
NB1 -1940 : Estádio II - para flexão simples ou flexão composta (tensão máxima) - aço 37 CA.. (σ escoamento 2400 kg/cm ² & σ ruptura=3700kg/cm ² .) σ aço < 1500 kg/cm ²		

ϵ_c =epsilon concreto compressão=	0.000323	0,323	o/oo
ϵ_a = epsilon aco =	0.000354	0,354	o/oo
Raio de curvatura igual a (altura util))/ ($ \epsilon_c + \epsilon_a $) =	268,9	metros	Raio de curvatura
deslocamento unilateral no topo =	16,18	mm	
deslocamento relativo total no topo =	32.4	mm	

Verificação do equilíbrio de forcas		
Força de Compressão no concreto =	6740.524162	kgf
Força de Tração na Armadura =	5800.524162	kgf
Carga externa aplicada =	940.000	kgf
Total =	0.000	
Verificação do Equilíbrio de momento no centro da armadura		
M da força pendurada =	1017.08	Kgf.m
M da força resultante no concreto =	1031.52	Kgf.m
total =	-14.44	Kgf.m $\approx$ zero

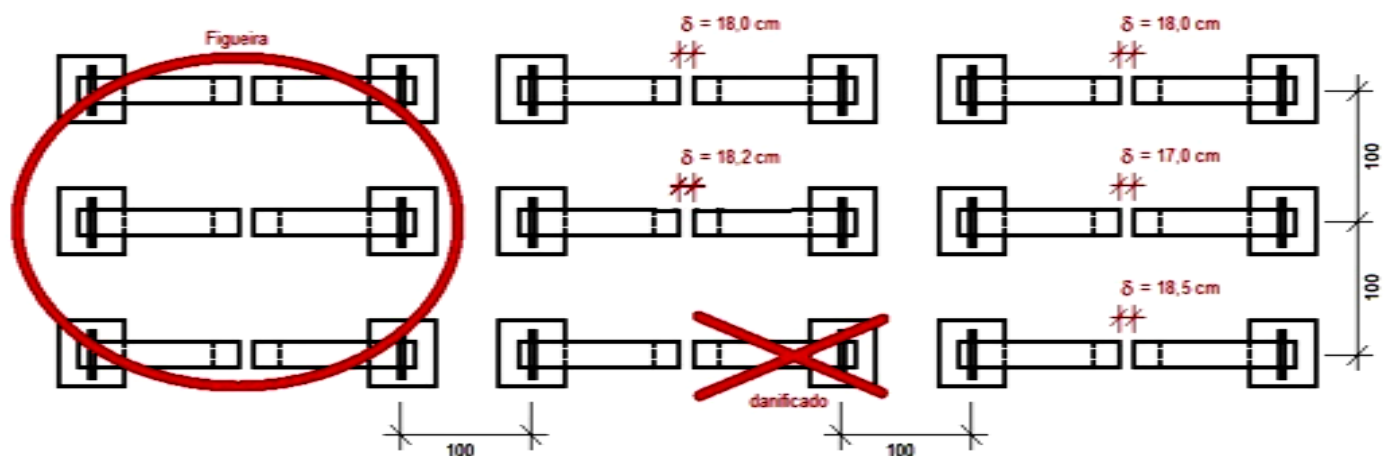
Medições de Novembro / 2017, feitas por :

Prof. Luiz Antonio Vieira Carneiro (IME) ,

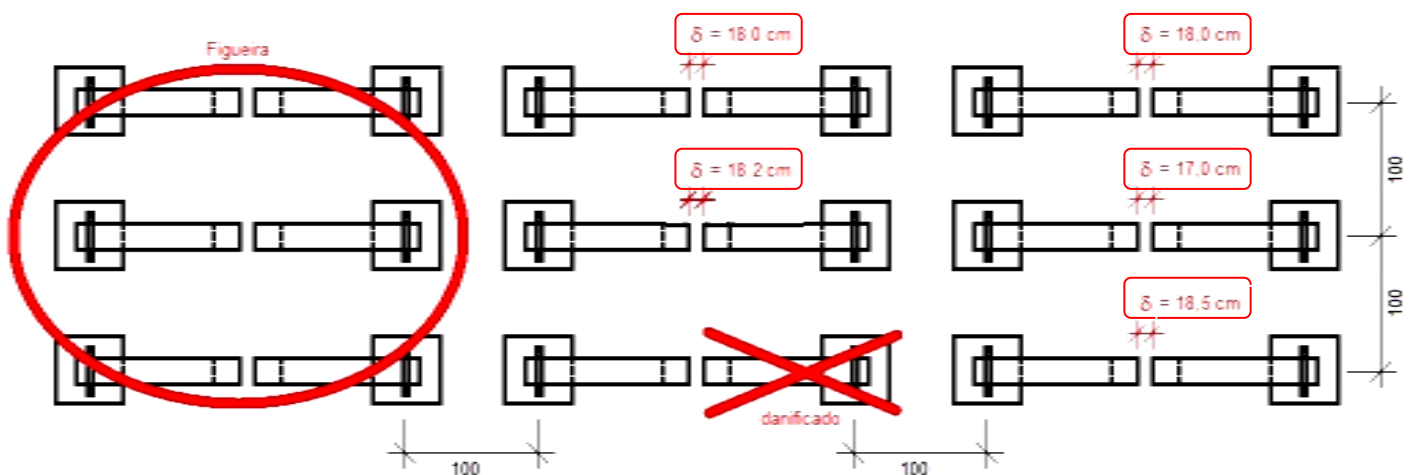
Profa. Flávia Moll de Souza Júdice (UFRJ)

Profa. Mayra Soares Pereira Lima Perlingeiro (UFF),

durante o 59º Congresso IBRACON em Bento Gonçalves.



A distância medida entre os topos dos pilares foi, na média, 17,94cm
A variação da distancia foi portanto 7,94 cm



Cálculo da Deformação considerando a Fluência e a Retração

VER : Fritz Leonhardt - Construções de Concreto - Volume 4 - Página 116 e seguintes

Método I - Cálculo da deformação por Retração e por Fluência considerando que o alongamento do aço no bordo tracionado não varia enquanto ocorrem a retração e a fluência do concreto no bordo comprimido.

O encurtamento inicial devido às cargas penduradas nos pilaretes = $\varepsilon_o = 0,323/1000$

O encurtamento devido à retração = $\varepsilon_{\text{retração}} = 0,33 / 1000$

O encurtamento devido à fluência seria = $\varepsilon_{\text{fluência}} = (\varepsilon_{c.o} = 0,323/1000) \times (\varphi = 2,4) = 0,775/1000$

Considerando a soma dos encurtamentos do concreto :

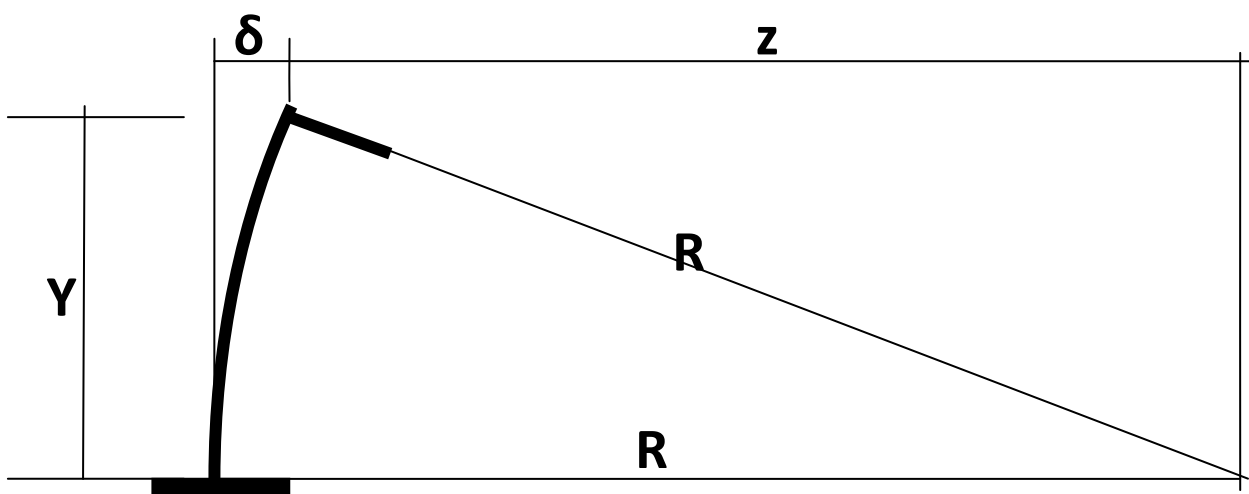
$\varepsilon_{c.\text{total}} = \varepsilon_o + \varepsilon_{\text{retração}} + \varepsilon_{\text{fluência}} = (0,323 + 0,330 + 0,775) / 1000 = 1,428 / 1000$

Raio de Curvatura

$R = 1/K = (\text{altura útil}) / (|\varepsilon_{c.\text{total}}| + |\varepsilon_{\text{aço}}|) =$

$R = 18,2\text{cm} / ((\varepsilon_{c.\text{total}} = 1,428/1000) + (\varepsilon_{\text{aço}} = 0,354/1000)) = 18,2\text{m} / (1,782/1000)$

$R = 10213\text{cm} = 102,1\text{ m}$



Com $Y = \text{altura do poste} = 2,95\text{m}$, obtemos Z .

$$Z^2 + Y^2 = R^2 ;$$

$$Z = \sqrt{R^2 - Y^2} = \sqrt{102,1^2 - 2,95^2} = 102,057\text{ m}$$

Com Z obtemos δ (1 poste) :

$$\text{DELTA} = \delta = (R - Z) = 102,100\text{ m} - 102,057\text{ m} = 0,043\text{m} = 4,3\text{cm}$$

δ de um pilarete = 4,3cm

δ de dois pilaretes = 2 x 4,3cm = **8,6 cm**

Abertura inicial entre pilaretes = 10cm

Abertura final calculada = 10cm + 8,6 cm = **18,6 cm**

Método II- Cálculo da deformação por Fluência considerando que o alongamento do aço no bordo tracionado varia enquanto ocorrem a fluência e a retração do concreto no bordo comprimido.

Cálculo da deformação por Fluência usando o método de H. Mayer -DAfStb, Caderno 194 , Berlin, 1967.

Com o coeficiente de Fluência estimado $\varphi = 2.4$ teremos

δ de fluência = $\delta_o \cdot k\varphi \cdot \varphi_{eq}$

$$\varphi_{eq.} = \frac{\varphi \times \varepsilon_o + \varepsilon_{retr.}}{\varepsilon_o} = \frac{2,4 \times 0,323 + 0,330}{0,323} = 3,42$$

com : $\delta_o = 3,4\text{cm}$; $\varphi_{eq.} = 3.42$

Seção transversal = 20cm x 20cm

A2=Armadura de compressão na flexão = zero

A1=Armadura de tração na flexão (4 ferros de 16mm) = 8,0 cm²

Porcentagem de armadura de flexão :

μ tração = 8,0cm² / [20cm x (20cm -1,0cm -0,8cm)] = $\mu = 0.022 = 2,2\%$

μ' compressão = zero

Com $\varphi_{eq.} = 3.4$ e $\mu = 2,2\%$ obtemos com a formulação de H. Mayer :

$$k\varphi = \frac{1}{12} \times \sqrt{\left(\left(\frac{Ea}{Ec} \right) \times (100 \times \mu) \right)} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{\left(\mu' = 0 \right)}{\mu} \right)} =$$

$$k\varphi = \frac{1}{12} \times \sqrt{\left(\left(\frac{Ea}{Ec} \right) \times (100 \times \mu) \right)} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{(A2=0)}{A1} \right)} = \frac{1}{12} \times \sqrt{(8,54 \times (100 \times 0,022))} \times \frac{1}{\left(1 + \frac{zero}{2,1} \right)} = 0,361$$

δ de fluência + retração = $\delta_o \times k\varphi \times \varphi_{eq.}$

δ_o imediata em um lado = 1,62cm ; $k\varphi = 0,361$; $\varphi_{eq.} = 3.42$

δ de fluência + retração = 1,62cm x 0.361 x 3,42 = 2.0 cm

δ total em um lado = δ_o imediata + δ (fluência+retração) = 1,62cm + 2,0cm = 3,62cm

δ total entre os dois lados = 2x3,62cm = 7,24cm

A distância entre os topos dos pilares seria portanto =

$$= a + \delta \text{ (imediata) } + \delta \text{ (fluência +retração) } = 10\text{cm} + 7,24 = 17,24\text{cm}$$

Abertura final calculada = 17,2 cm

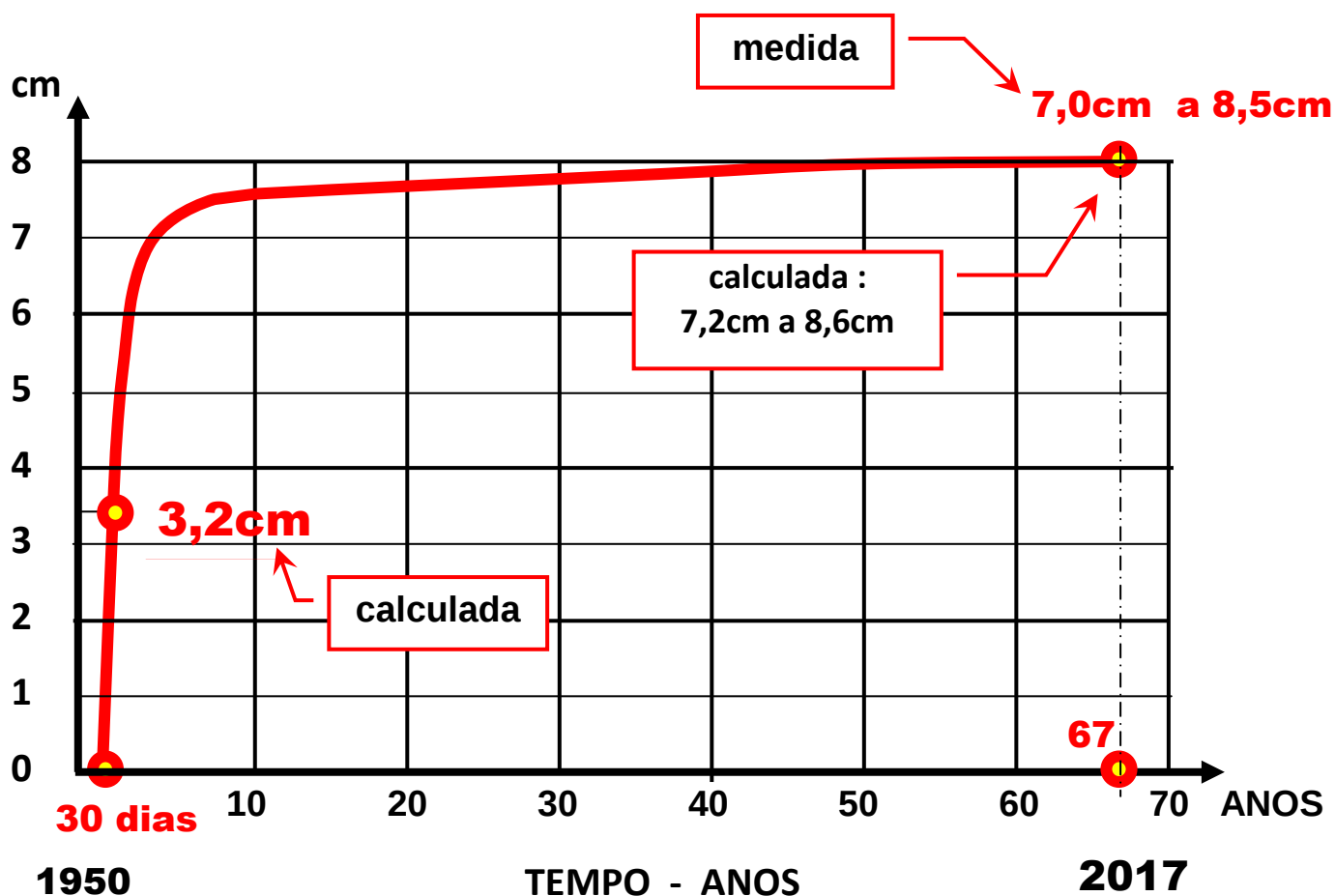
As distâncias medidas entre os topos dos pilaretes variam de 17cm a 18,5cm

Observações :

1 - FREYSSINET deixava vários pares de pilaretes sem cargas, para medir a deformação devida apenas à retração do concreto. Essa deformação de retração era subtraída da deformação dos pilaretes com cargas, obtendo assim apenas a deformação por fluência.

2 - As medições feitas junto à Ponte sobre o Rio das Antas incluíram a deformação por retração, pois não foram deixados pilaretes sem carga.

VARIAÇÃO DA DISTÂNCIA ENTRE OS TOPOS DE 2 PILARETES



1950 a 2017 - RIO DAS ANTAS

A deformação lenta calculada, considerando $\phi = 2.4$, é igual à deformação lenta medida. Isso indica que a estimativa feita pela norma NBR 6118 é boa.



Observação : As barras de aço, ao relento por 67anos, não apresentam qualquer sinal de oxidação e corrosão.

1950 a 2017 - RIO DAS ANTAS



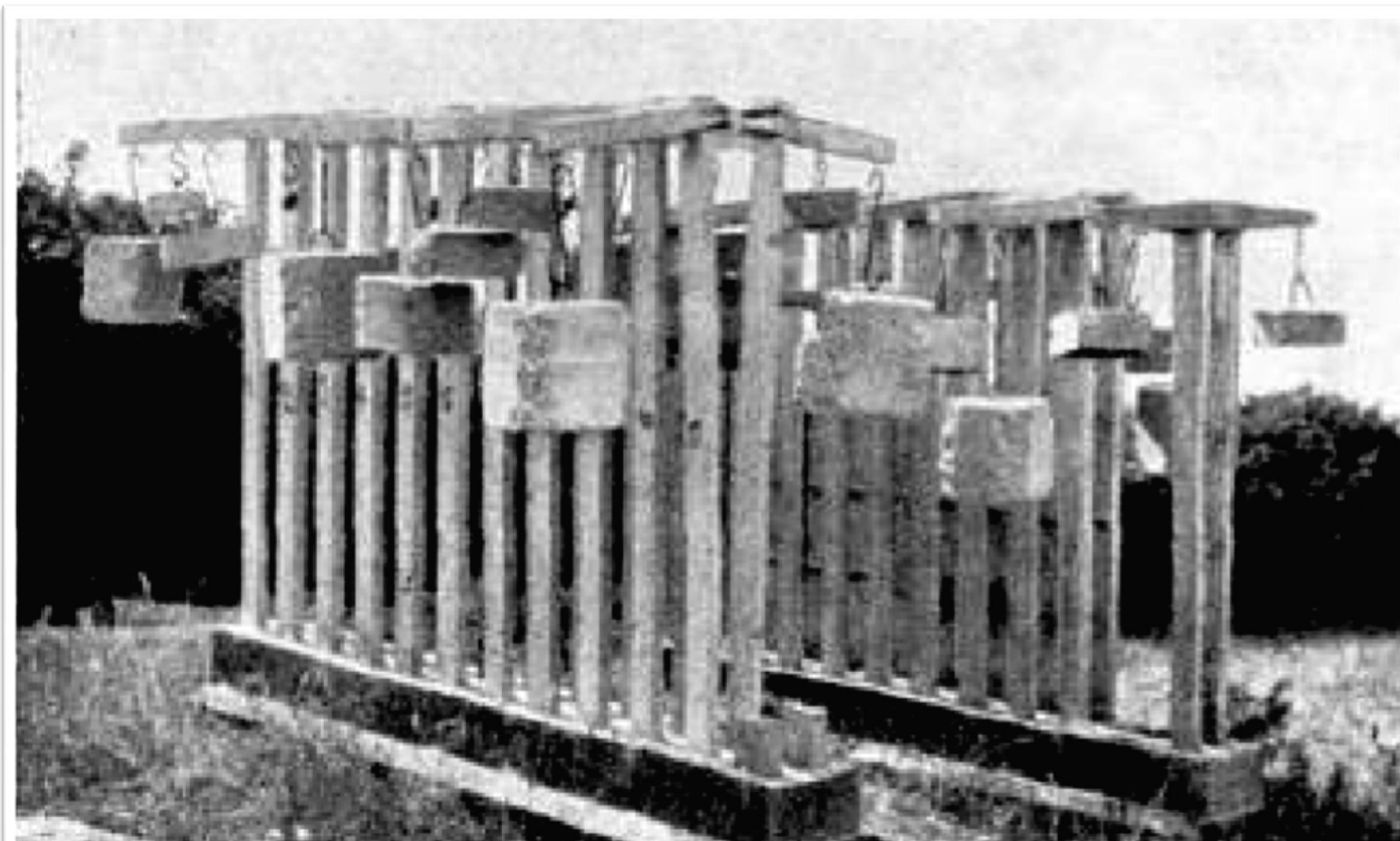
Observação : As barras de aço, ao relento por 67anos, não apresentam qualquer sinal de oxidação e corrosão.

1950 a 2017 - RIO DAS ANTAS



Observação : As barras de aço, ao relento por 67anos, não apresentam qualquer sinal de oxidação e corrosão

1930 - FREYSSINET



PÁGINA EM BRANCO

ANEXO 1

ING. E. MÖRSCH

Profesor de la Universidad Industrial de Stuttgart

TEORÍA Y PRÁCTICA DEL HORMIGÓN ARMADO

VERSIÓN DEL ALEMÁN

POR

M. COMPANY, INC.

Tomo VI

ESTÁTICA DE LAS BÓVEDAS Y PÓRTICOS
(CONTINUACIÓN)



EDITORIAL GUSTAVO GILI, S. A.
BARCELONA CALLE DE ENRIQUE GRANADOS, 45 M C M L

TERMINOLOGIA USADA

CONTRACTION = RETRAÇÃO

RETRACCION = FLUÊNCIA = DEFORMAÇÃO LENTA

Efecto de la retracción del hormigón

En los últimos tiempos se ha escrito profusamente sobre la retracción del hormigón y el efecto de la misma en las fatigas de las estructuras. Para poder juzgar con acierto de la acción estática de esta propiedad del material es preciso conocer los ensayos efectuados sobre la misma, en los cuales se basan las hipótesis establecidas acerca de la contracción y la retracción del hormigón ¹⁾.

Ensayos de retracción

Si una columna de hormigón sin armar se somete permanentemente a la fatiga de una compresión centrada, se observará un acortamiento (después del primero, subsiguiente a la aplicación de la carga), que crece con el tiempo más deprisa que lo que corresponde a la contracción experimentada por la misma pieza sin carga. El exceso de acortamiento sobre el de *contracción* recibe el nombre de *retracción*. Este fenómeno, descubierto por los investigadores ingleses y americanos ²⁾ queda suficientemente aclarado por la figura 1, tomada de la memoria de *Graf* publicada en el fascículo 83 de la Comisión alemana del Hormigón armado, que se refiere a dos hormigones de 250 Kg de cemento por metro cúbico con diferentes compacidades (índices de extendimiento 49 y 58 cm).

La línea inferior de trazos representa los acortamientos de contracción de la columna de hormigón sin carga; aumentando sus ordenadas, en el acortamiento que la columna experimenta al aplicarle la carga, tendremos la línea de puntos, cuyas ordenadas serían los acortamientos que cabría esperar con el tiempo si la contracción se verificara en la misma forma que en la columna descargada. Sin embargo, los acortamientos medidos están representados por las ordenadas de la línea llena, de modo que la diferencia, o sea las ordenadas de la superficie rayada, son los acortamientos de retracción ³⁾.

¹⁾ *Freyssinet* y *Gehler* establecieron las hipótesis sobre el origen de los fenómenos de contracción y de retracción del hormigón («Bautechnik», 1938, números 10 y siguientes), así como *Davis* (véase la nota siguiente).

²⁾ *R. y H. Davis*, «Proceedings American Concrete Institutes», 1928, 1930, 1931 y «Proceedings American Society for Testing Materials», 1930 y 1934. — *Glanville*, «Building Research», 1930; y «Structural Engineers», 1933.

³⁾ En esta misma forma definió *Davis* la retracción, mientras que *Glanville* la expresa como la pérdida de recuperación elástica en función del tiempo.

La retracción depende de múltiples factores; al aumentar la resistencia del hormigón disminuye la retracción, y recíprocamente. En el hormigón conservado en seco es mayor la retracción que en el mantenido húmedo; también es mayor en los hormigones magros que en los grasos y crece sensiblemente al aumentar la compresión específica ocasionada por la carga. Las características mineralógicas del árido influyen también en el fenómeno de retracción; hormigones de igual riqueza preparados con áridos de basalto, de granito o de caliza presentan retracciones en la proporción de 10:7:5. Cuanto más edad tenga el hormigón al aplicarle la carga, menor será el efecto de retracción. La influencia de la consistencia del

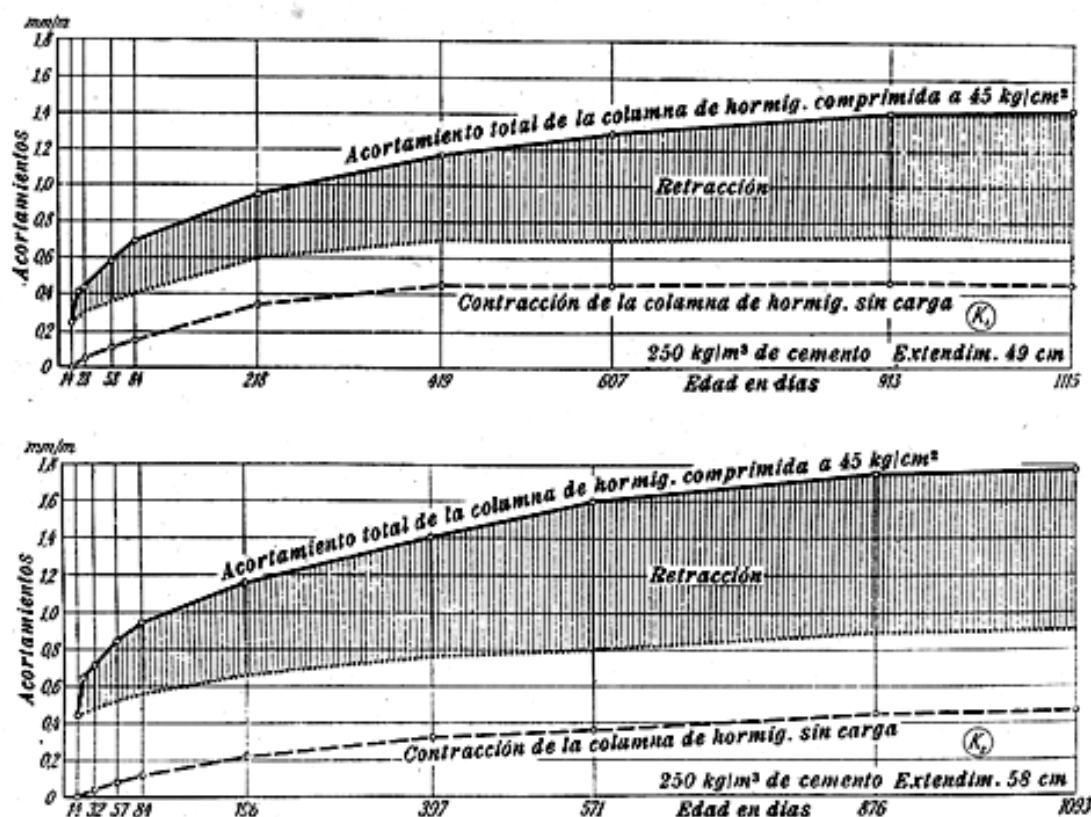


Fig. 1. — Retracción de columnas de hormigón sin armar cargadas a 45 Kg/cm², a los 14 días de su fabricación

hormigón (índice de extendimiento) queda de manifiesto en las dos curvas de la figura 1. La contracción se extiende a un plazo de varios años; crece al principio rápidamente y luego con más lentitud aproximándose a un valor asintótico.

Para fines estáticos interesa conocer el valor máximo que en la práctica alcanza la retracción, ya que los estados intermedios anteriores carecen de importancia. Ante todo, es interesante saber la relación existente entre el valor de la compresión ejercida permanentemente y el de la retracción provocada; también es preciso saber si una fatiga de tracción origina retracción en forma de alargamiento suplementario. Todavía interesan otras dos cuestiones: si la retracción presentada desaparece en todo o en parte al disminuir la carga, y si la retracción experimentada en una pieza cargada hasta la máxima compresión admisible y luego descargada, influye en la resistencia a la compresión del hormigón.

Respecto a esto último, informa Davis¹⁾ que, en ensayos practicados con cilindros de hormigón de mezclas 1:3,6 y 1:6,3 conservados en el aire y en el agua,

¹⁾ «Proceedings American Society for Testing Materials», 1930, pág. 727.

En cambio, vamos a describir seguidamente los ensayos efectuados sobre retracción por flexión con vigas provistas de simple armadura.

Ensayos de flexión en prismas armados asimétricamente y sometidos a una compresión centrada N no son conocidos hasta la fecha.

Ensayos de retracción en las vigas con simple armadura

En las vigas sometidas a flexión, la retracción bajo la acción de la carga se manifiesta con un aumento de flecha. Como el «tiros» originado por la contracción y su correspondiente retracción en las vigas con armadura simple también ocasiona un aumento de flecha, es indispensable en todos los ensayos disponer también de una viga sin carga para medir la flecha de contracción, que habrá que deducir de la marcada por la viga con carga.

En el Structural Engineer de 1933 informa *Glanville* sobre un ensayo efectuado con una viga de 1,83 m de luz y escuadría de 10,2 · 21 cm, armada al 1,85 por 100, flexada por dos cargas simétricamente colocadas en los tercios y de valor aproximadamente igual a la tercera parte de la carga de fractura. Las grietas de tracción se presentaron ya al aplicar la carga, pero posteriormente aumentaron en número y se extendieron hasta media altura de la viga. Los alargamientos medidos en los hierros aumentaron con mucha menos intensidad que las flechas. Como aquí la línea neutra no cambiaba de posición y, en cambio, las grietas que al principio estaban confinadas al tercio medio se propagaron, después de algunas semanas, a los tercios exteriores, hay que deducir que el aumento de la flecha se debe a que las tensiones suplementarias de contracción ocasionaron la presentación de la fase II en los tercios exteriores y probablemente el deslizamiento del hierro en los mismos, lo que dió un aumento de longitud en el tercio medio inconcebible con el alargamiento medido de los hierros. La flecha creciente con grietas de igual altura y escaso aumento del alargamiento del hierro no puede explicarse de otro modo.

Los ensayos del Laboratorio oficial de Dresde, acerca de los cuales informan *W. Gähler* y *H. Amos* en el fascículo 78 de la Comisión alemana del Hormigón armado, se llevaron a cabo en la forma representada en la figura 20. Inspirándose en los ensayos de *Freyssinet* de 1926-28, se emplearon probetas verticales con armadura simple, empotradas por su pie y cargadas en su cabeza por medio de una consola con peso, de modo que en toda la longitud de la probeta se tiene un momento de flexión constante y la flecha resulta proporcional a la deformación angular. La compresión axial de la probeta carece de importancia frente al momento de flexión.

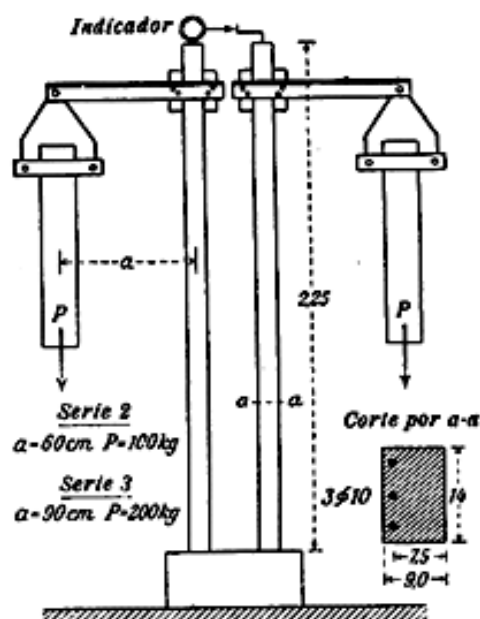


Fig. 20. — Disposición de los ensayos del fascículo 78 de la Comisión alemana de Hormigón armado

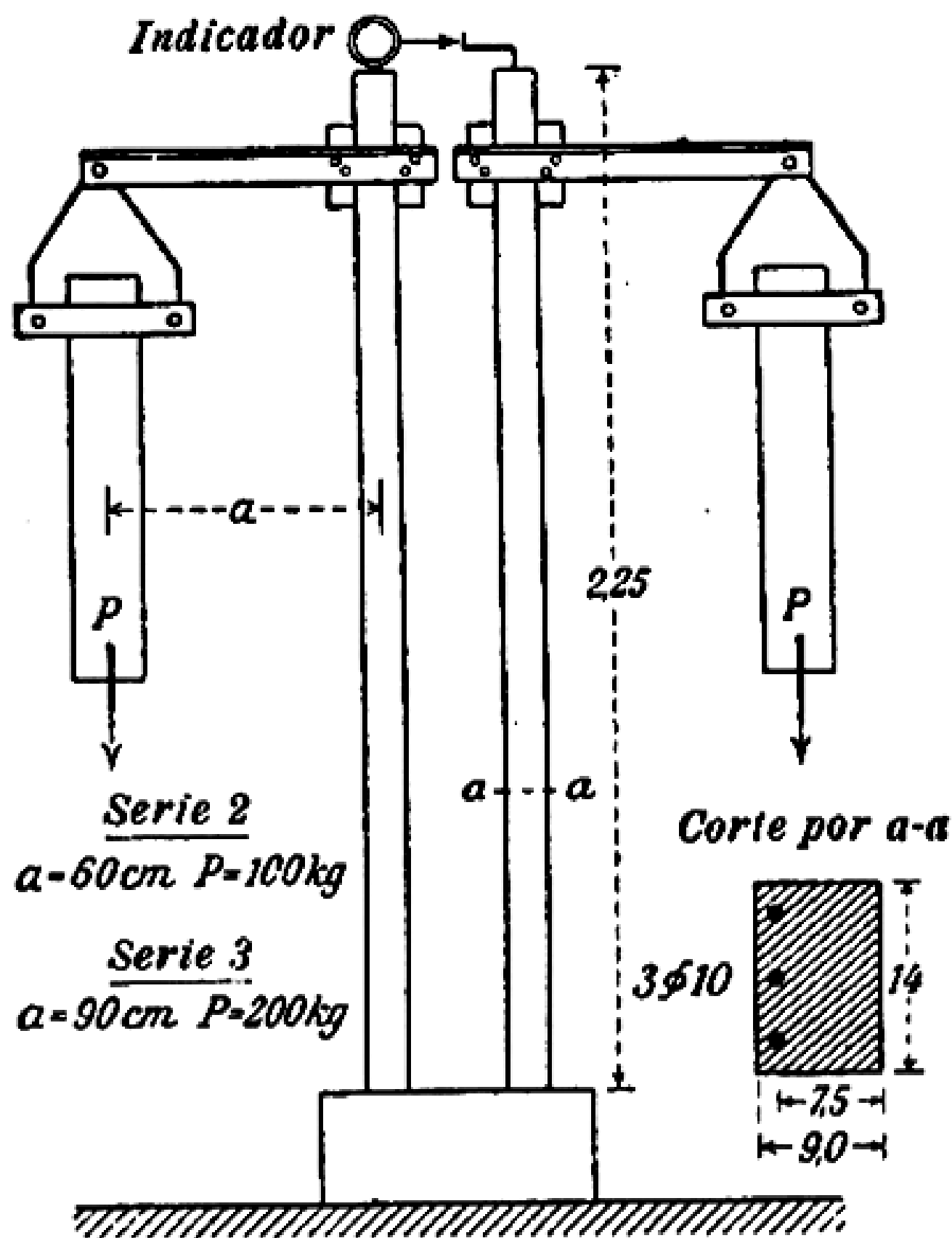


Fig. 20. — Disposición de los ensayos del fascículo 78 de la Comisión alemana de Hormigón armado

Las probetas, como indica la figura 20, se ensayaron apareadas, de modo que se midió la separación 2δ de las cabezas de las vigas. Se dispusieron tres series con tres pares de probetas cada una, fabricadas con cemento extrarresistente que dió una resistencia de 214 Kg/cm² a los siete días y de 296 Kg/cm² a los veintiocho días. Las series 2 y 3 se cargaron a los ocho días de fabricación; las probetas de la serie 1 se conservaron descargadas para medir el «tiro» por contracción. Los pesos del extremo de las consolas se calcularon de modo que el coeficiente de trabajo por compresión σ_k del hormigón en las series 2 y 3 fuera de 40 y de 120 Kg/cm², respectivamente.

En la figura 21 se indican los aumentos de flecha en las tres series de ensayos. Las correspondientes a las probetas descargadas de la serie 1 son las flechas originadas por el «tiro». Las flechas de las series 2 y 3 se refieren exclusivamente

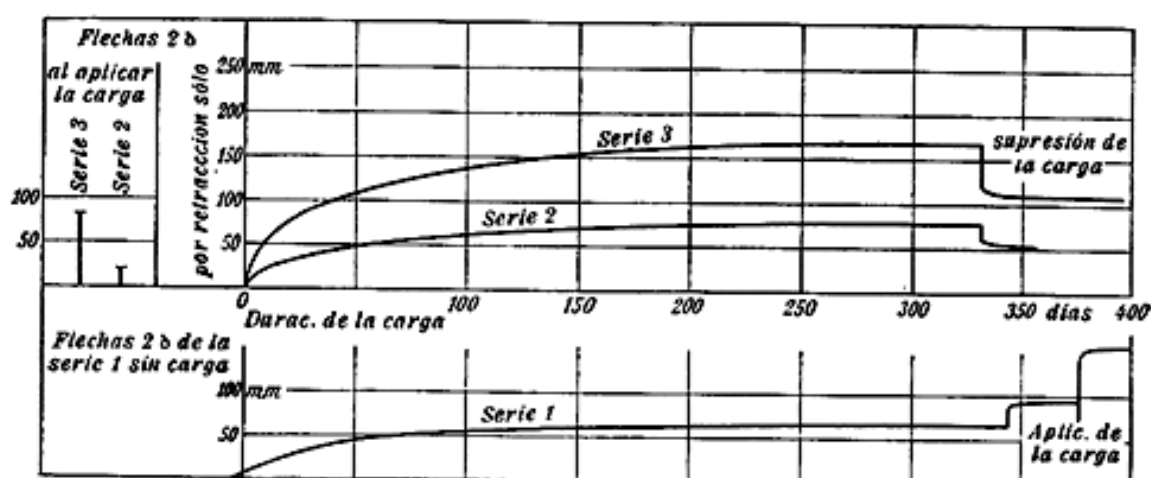


Fig. 21. — Flecha 2δ entre las cabezas de las probetas de la figura anterior

a la retracción, es decir, que se obtuvieron deduciendo de las flechas medidas la correspondiente al «tiro». Para ello se calcularon todas las flechas correspondientes a brazo de palanca constante de 60 y de 90 cm, pues por la flexión aumenta el brazo de palanca en las distintas secciones, de modo que las flechas medidas directamente darían una idea algo exagerada del efecto de retracción en la flexión con momento constante.

El momento de flexión aplicado a las probetas de la serie 3 fué tres veces mayor que el de la serie 2. La flecha inicial fué, sin embargo, cuatro veces mayor. Esto se explica porque en ambas series se presentaron grietas de tracción al aplicar la carga y, por lo tanto, las probetas más fatigadas de la serie 3 avanzaron más en el estado II. El exceso de flecha debido exclusivamente a la retracción es en la serie 3, no tres veces, sino sólo $2\frac{1}{4}$ veces mayor que en la serie 2. Esto también se concibe, pues el hormigón más agrietado en la zona extendida de la serie 3 apenas puede favorecer con su tracción de retracción el alargamiento del hierro. Por otra parte, al descargar actúa frenando el retroceso elástico del hierro, pues la flecha, al descargar las probetas de la serie 3, no disminuye en la misma cantidad que se flexó al aumentar la carga, debiéndose tener también en cuenta el aumento del módulo de elasticidad del hormigón al envejecer desde ocho hasta trescientos cuarenta días. Fácilmente se reconoce al descargar cierta recuperación del hormigón retraído.

En las probetas de la serie 3 se midió también, a la mitad de la altura, el

acortamiento del borde comprimido del hormigón y el alargamiento del hierro. Por ambas mediciones se comprueba la situación de la línea neutra, indicada en cierto modo por la longitud de las grietas, llevando a uno y otro lado de la sección, en sentidos contrarios, los acortamientos y alargamientos medidos y uniendo por una recta los puntos resultantes, tal como indica la figura 22. Mientras que al principio, es decir, con las primeras flechas elásticas, la situación de la línea neutra concuerda con lo que da el cálculo en la fase II con $n = 9$, al final, con tres meses de duración de carga, hay que hacer el cálculo con $n = 50$ para que concuerde el resultado con las mediciones directas.

Después del ensayo de retracción se sacaron las probetas de su empotramiento y se cargaron hasta la rotura por flexión como vigas libremente apoyadas en dos puntos. Las probetas de las tres series llegaron a igual carga de fractura, que tuvo efecto por aplastamiento del hormigón comprimido. La retracción anterior no produjo, pues, efecto alguno en la resistencia del hormigón de las probetas de las series 2 y 3. La resistencia a la compresión por flexión, deducida por el cálculo, alcanzó hasta 360 Kg/cm².

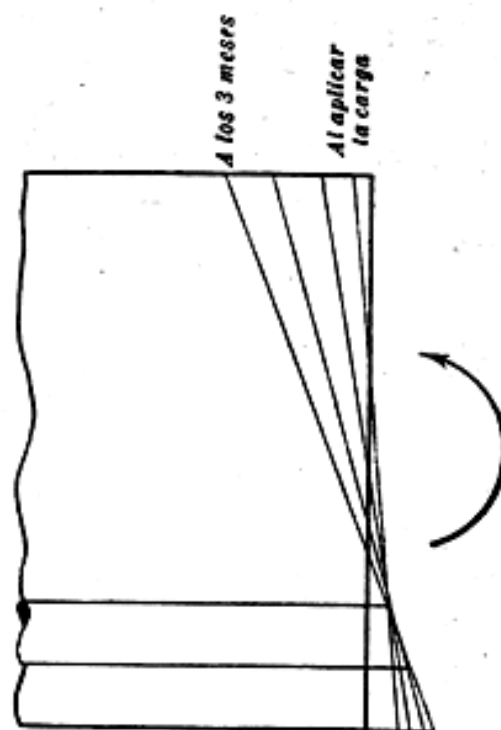


Fig. 22. — Giro de las secciones en las probetas de la serie tercera

Arcos empotrados con armadura simple

Dando a la línea media del arco empotrado la forma de una línea de presiones, se llega, considerando las fatigas de flexión debidas a H_e y a la contracción, a la organización de una armadura asimétrica doble, más robusta en el intradós que en el trasdós de la región de clave, e inversamente en los arranques. En la

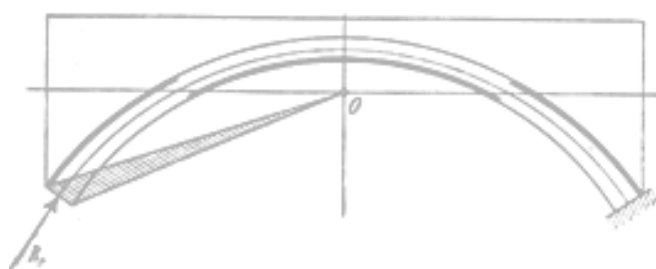


Fig. 23. — Arco con forma de línea de presiones y armadura simple

figura 23 suponemos un arco con armadura simple; los efectos de contracción y retracción son diferentes de los del arco con armadura doble simétrica, pero en cambio nos darán una imagen algo exagerada de lo que ocurrirá en el arco con doble armadura asimétrica.

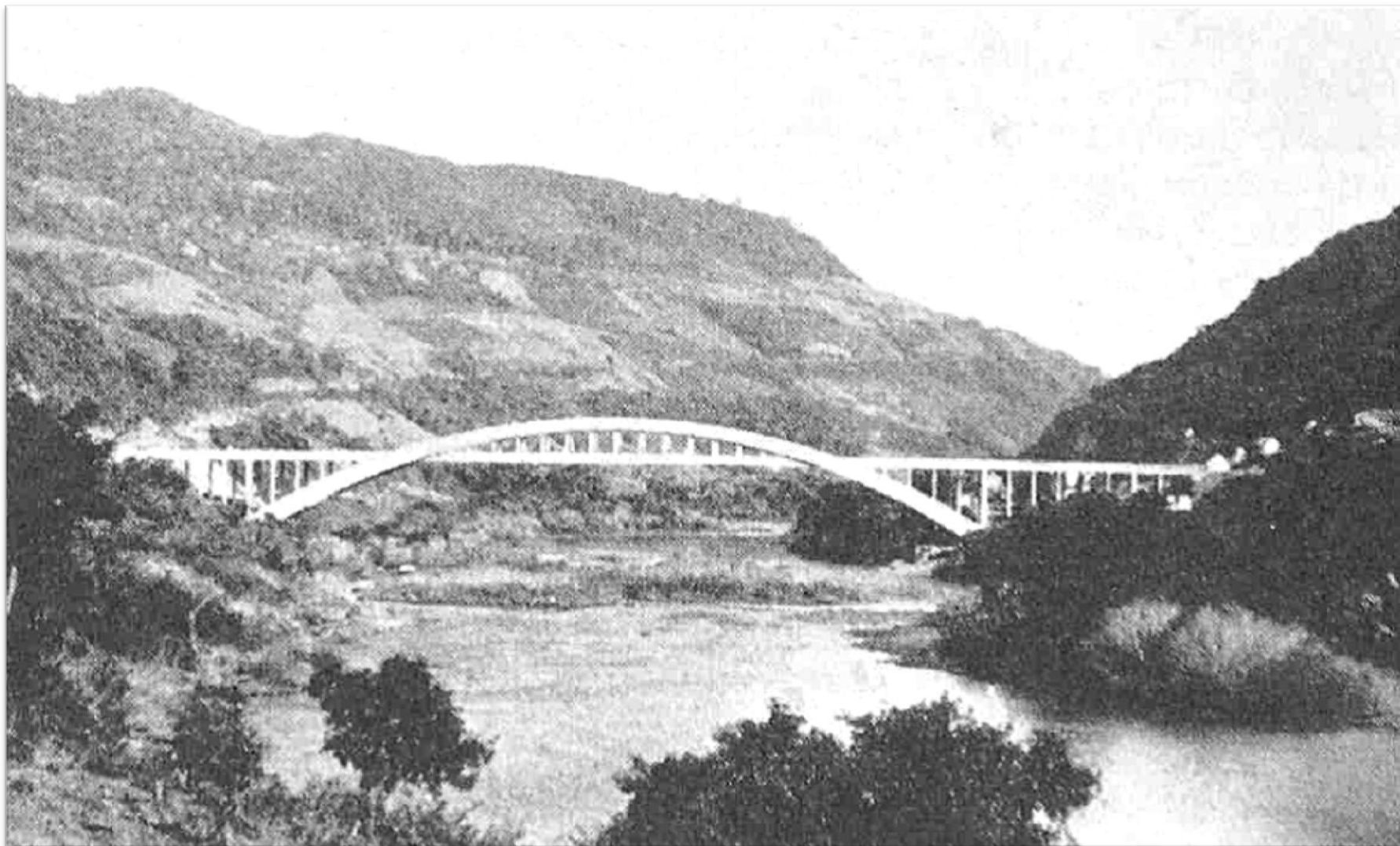
La *contracción* en el arco, con extremo izquierdo libre, con simple armadura provoca deformaciones angulares $\Delta\alpha$ que se traducen en una traslación hacia la izquierda del punto O , es decir, una acción opuesta al acortamiento de la línea media. En el ejemplo de las páginas 187 a 189 del tomo V se puso de manifiesto el efecto favorable del « tiro » sin tener en cuenta la retracción. Esta última provoca un aumento $\Delta\alpha'$ de la deformación angular, que contrarresta en mayor grado las fatigas por la contracción de la línea media de la bóveda. Por lo que respecta a estas fatigas, las bóvedas con simple armadura son más ventajosas que las de hormigón sin armar y que las provistas de armadura doble.

PÁGINA EM BRANCO

ANEXO 2 : PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS

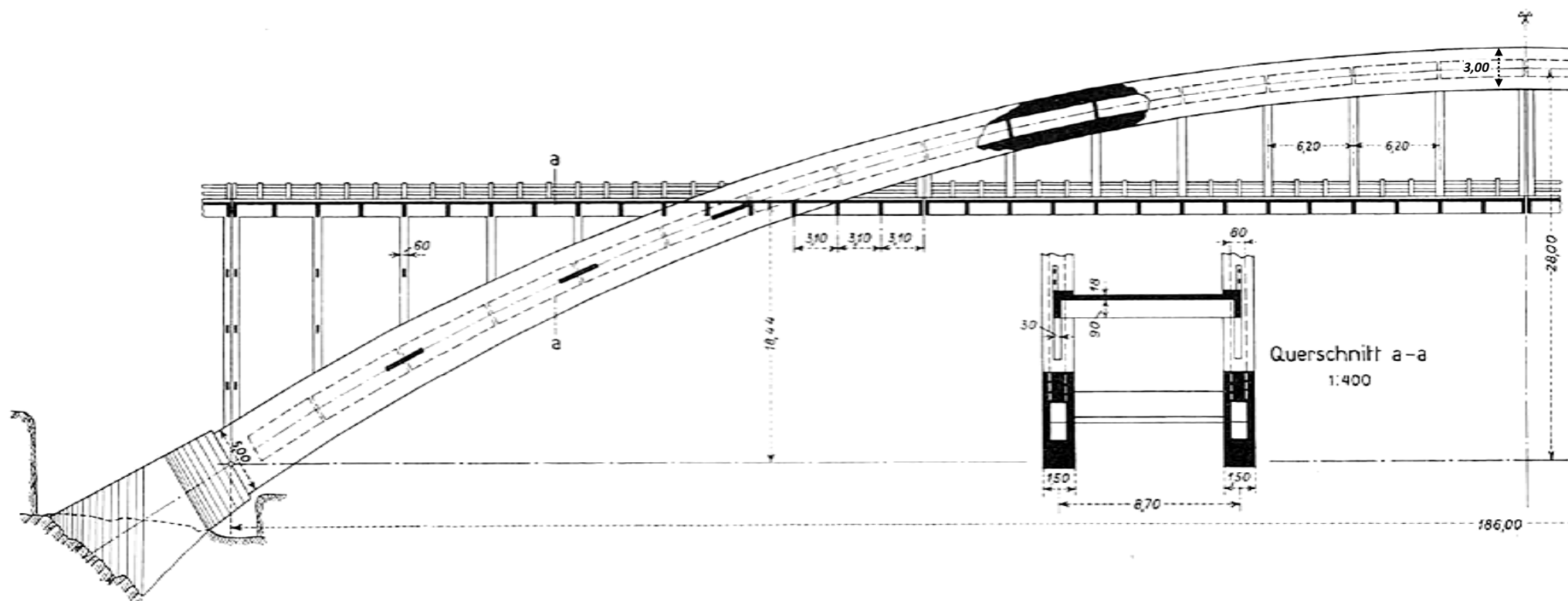
PROJETO : ANTONIO ALVES DE NORONHA

<https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1955:73::1878> ; página 292 e seguintes



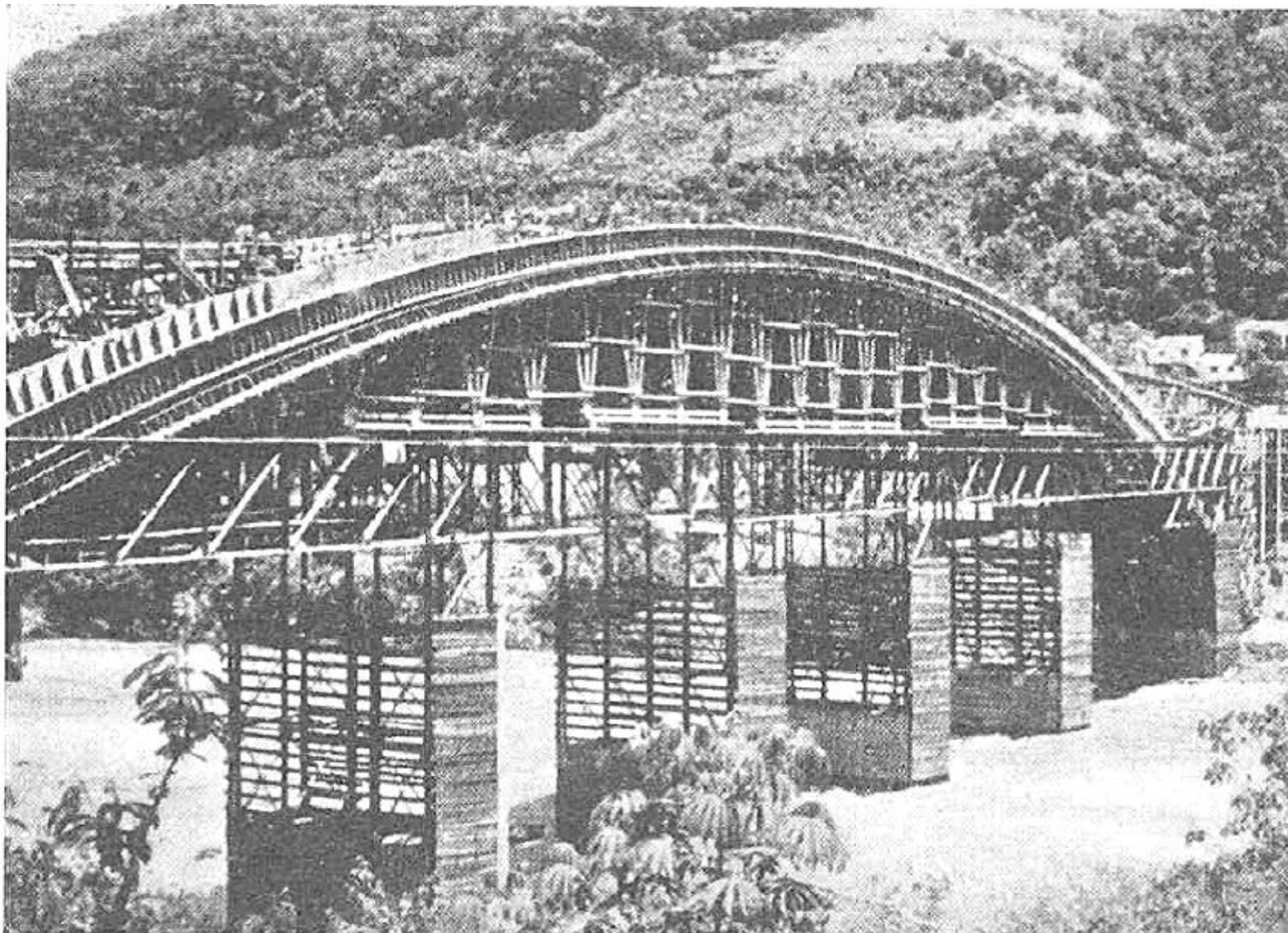
Inaugurada em 31 de agosto de 1952

PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS - FORMAS



VISTA LATERAL : VÃO 186 METROS

PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS : ESCORAMENTO



Construção: CHRISTIANI NIELSEN

PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS : DESFOMA DOS ARCOS

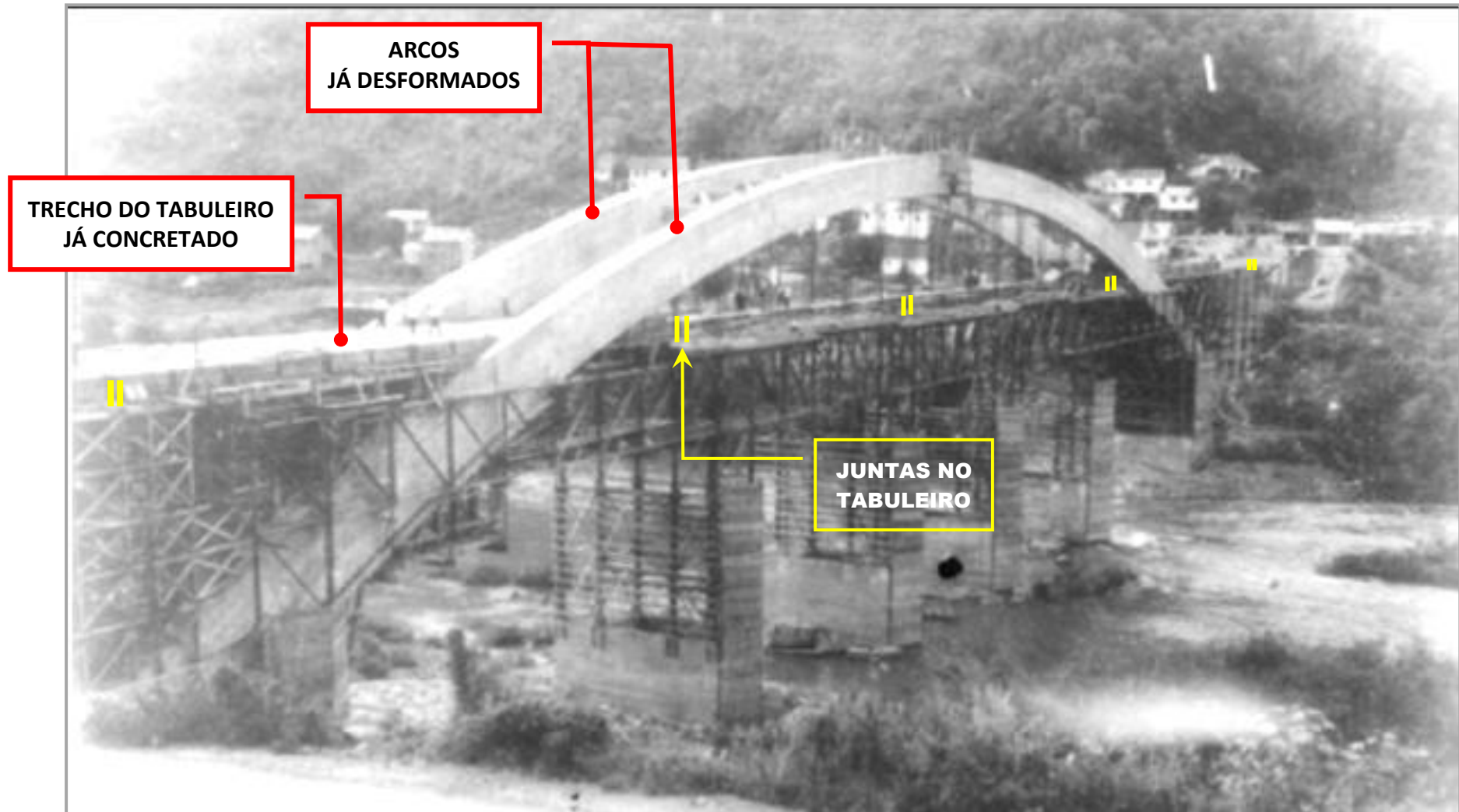


Os Tirantes (Pendurais), que suportam o tabuleiro, só foram concretados após serem tracionados, quando da retirada do escoramento do tabuleiro. Isso reduz a fissuração nos tirantes. Esse procedimento é recomendado para qualquer tirante de concreto armado.

2006 = Gilmar Antonio Detogni - A Travessia - A Construção da Ponte do Rio das Antas - 1942 – 1952

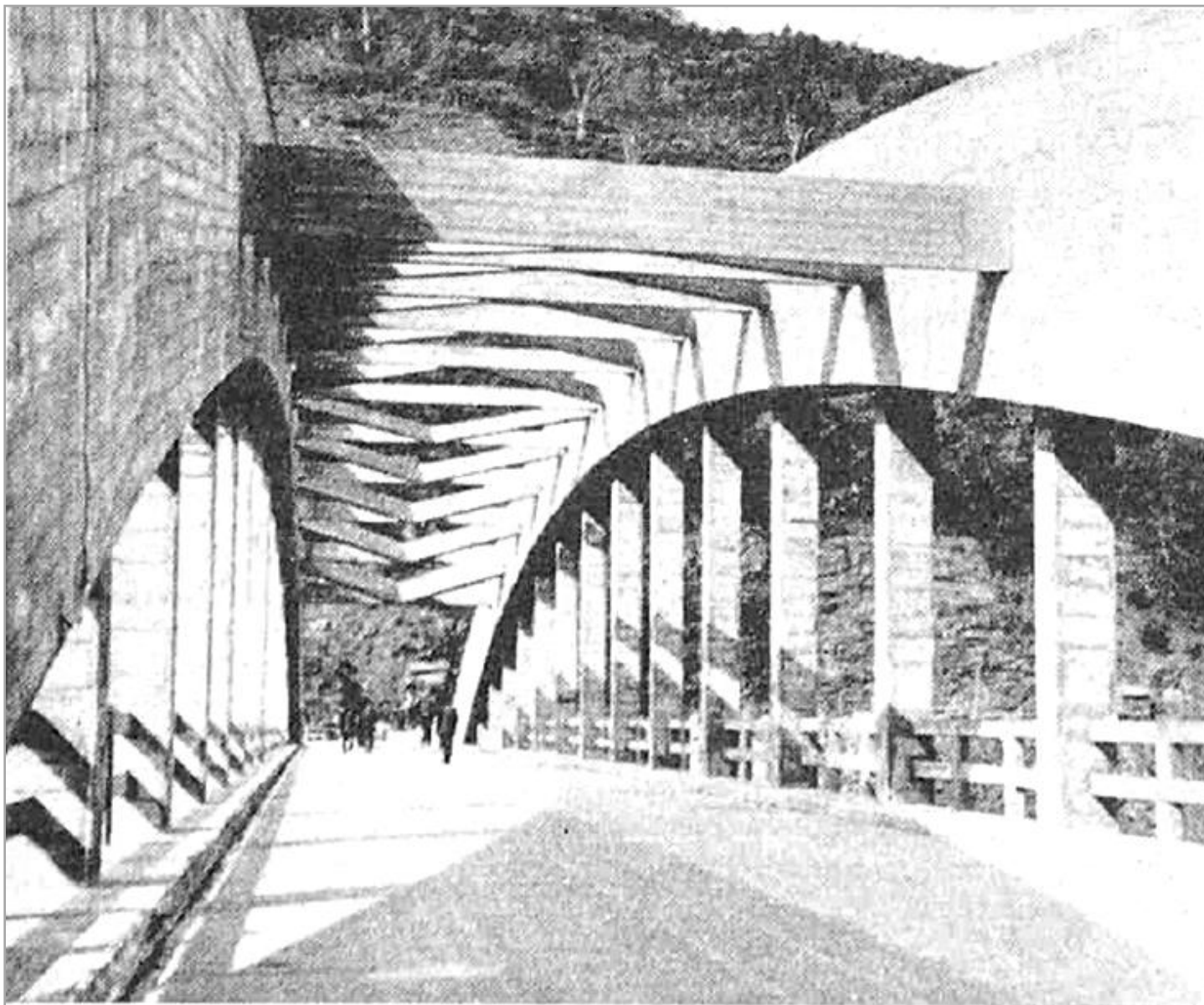
<http://livros01.livrosgratis.com.br/CP008805.pdf>

Dissertação de Mestrado na área de História Regional, na Universidade de Passo Fundo / RS



Inicialmente os arcos foram concretados. Após a deforma dos arcos, foi concretado o tabuleiro, como se vê na foto. Somente após a deforma do tabuleiro, concretaram-se os tirantes pendurais. Isso reduz a fissuração desses tirantes. Construção: CHRISTIANI NIELSEN

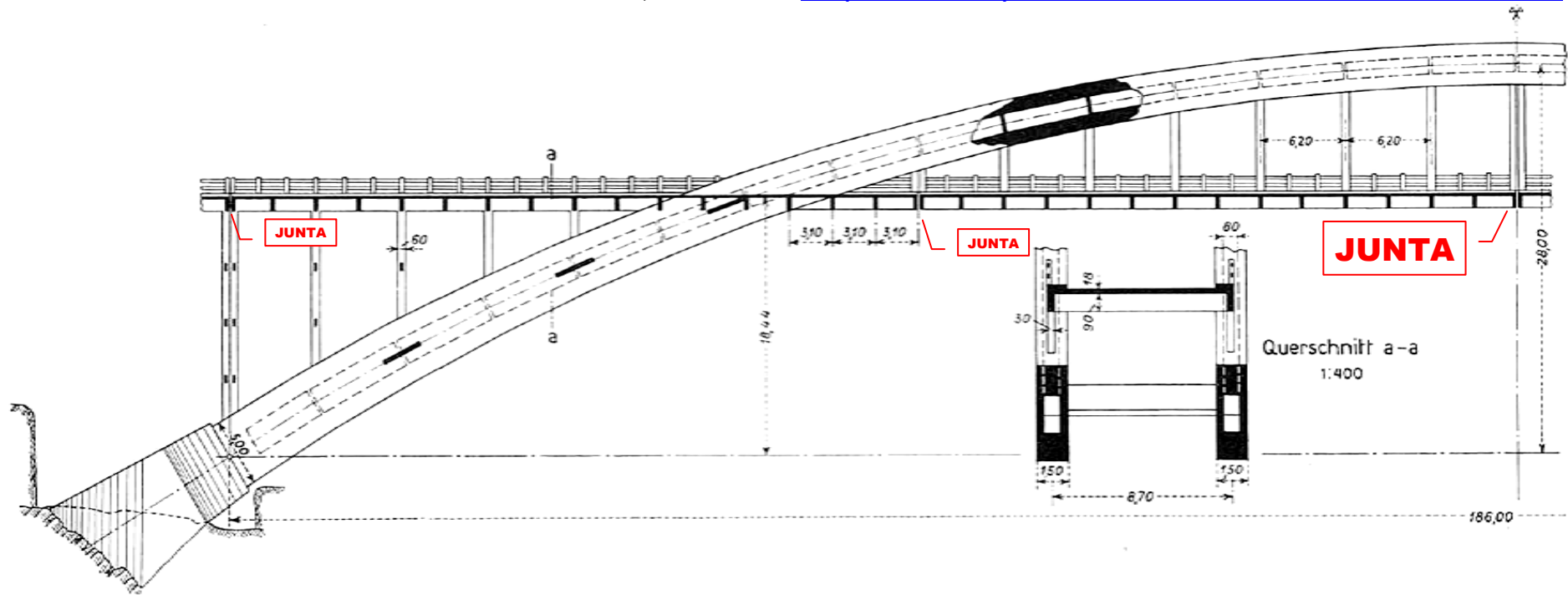
PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS : ATRAVESSANDO



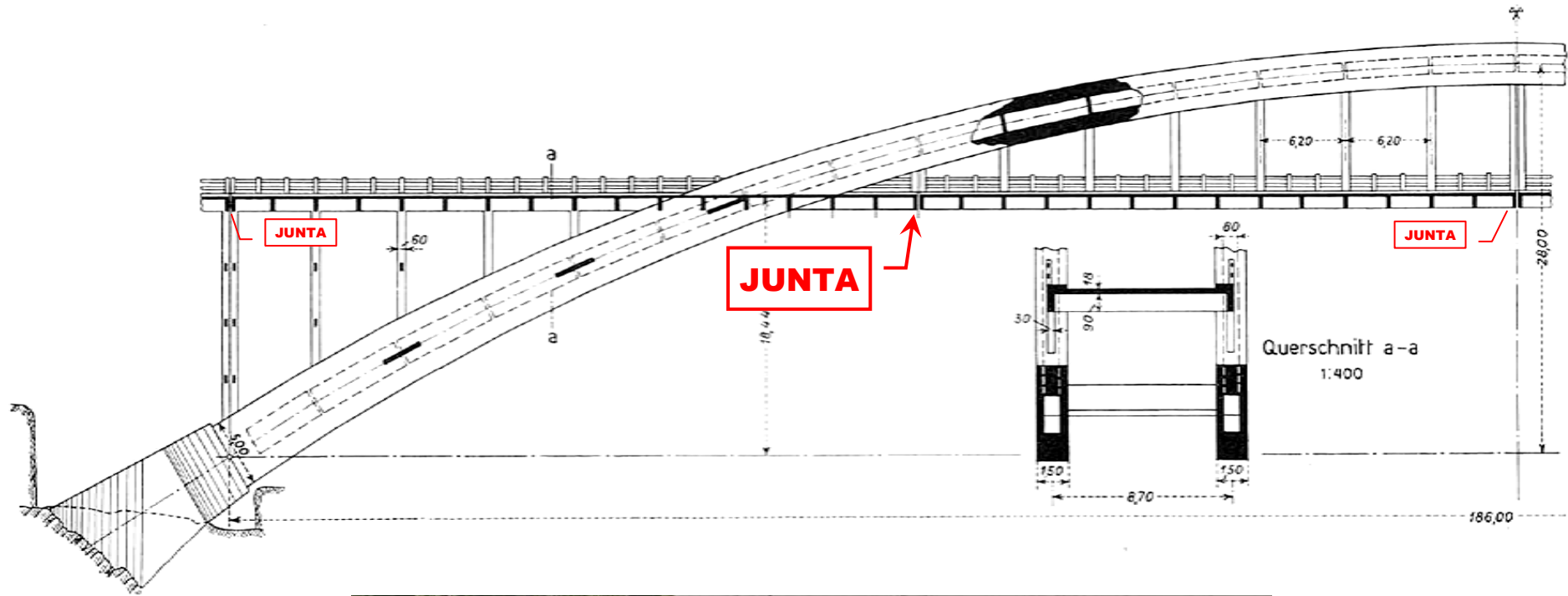
<https://www.e-periodica.ch/digbib/view?pid=sbz-002:1955:73::1878> ; página 292 e seguintes

JUNTAS NO TABULEIRO DA PONTE

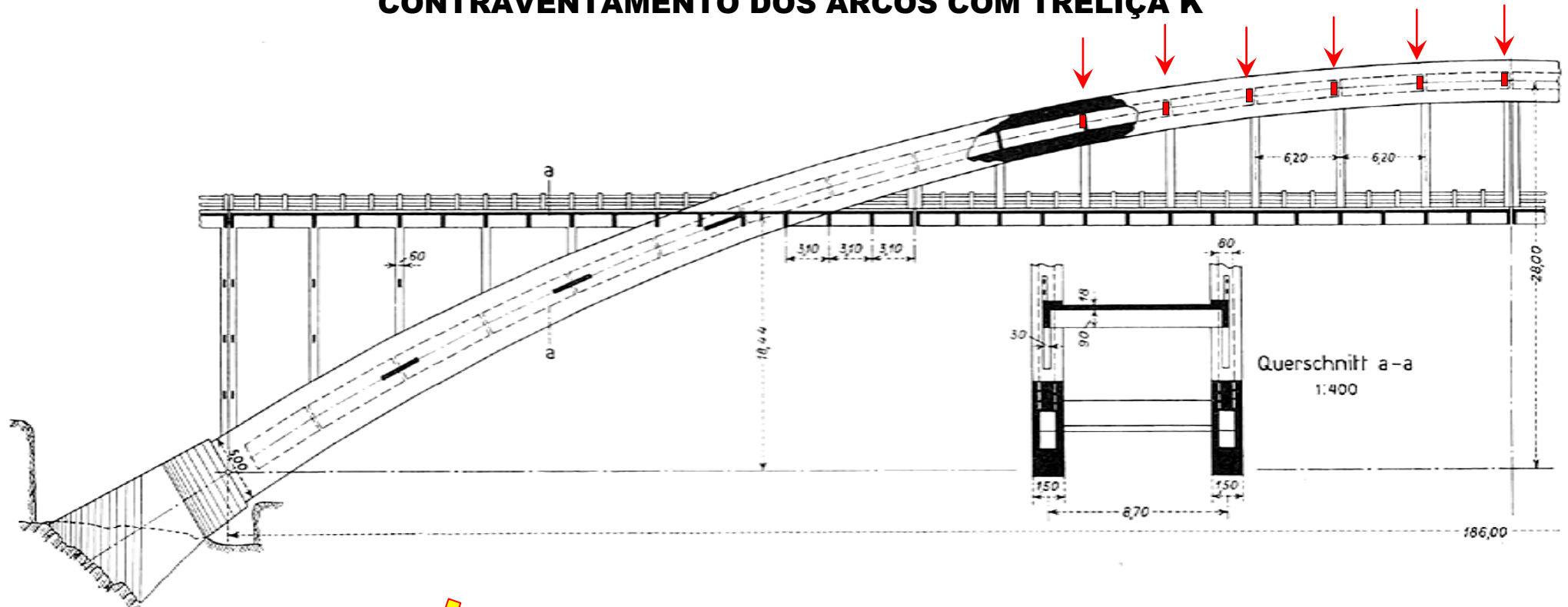
O TRÁFEGO ATUAL É INTENSO = FADIGA ; VER >> <https://www.youtube.com/watch?v=dX2KJY4M9mA>



JUNTAS NO TABULEIRO DA PONTE



CONTRAVENTAMENTO DOS ARCOS COM TRELIÇA K



PÁGINA EM BRANCO

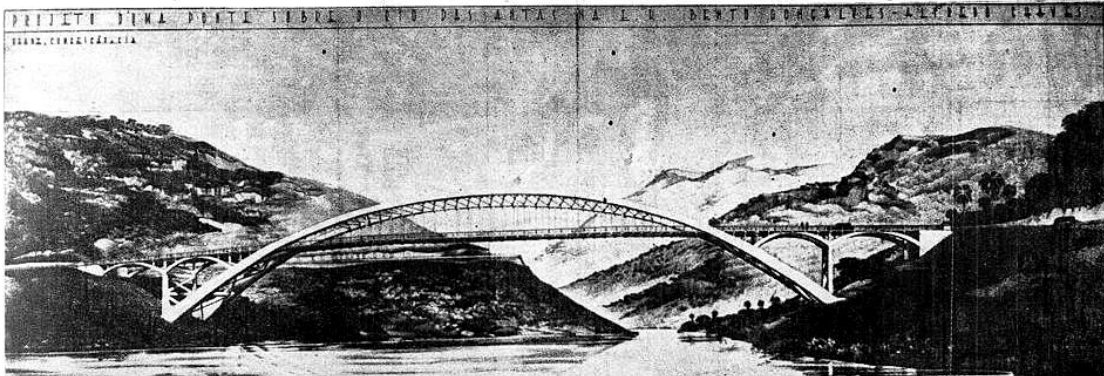
ANEXO 3 : O ESCORAMENTO DA PRIMEIRA PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS RUIU DURANTE A CONSTRUÇÃO

HISTÓRIA - 1942 / 1944 - O PROJETO DESSA PONTE, TAMBÉM ERA UM ARCO.

JORNAL "A CRUZ" - 9 / 8 / 1942 - página 5

Uma grande obra da Engenharia Brasileira

Ponte de Concreto Armado sobre o Rio das Antas,
no Estado do Rio Grande do Sul

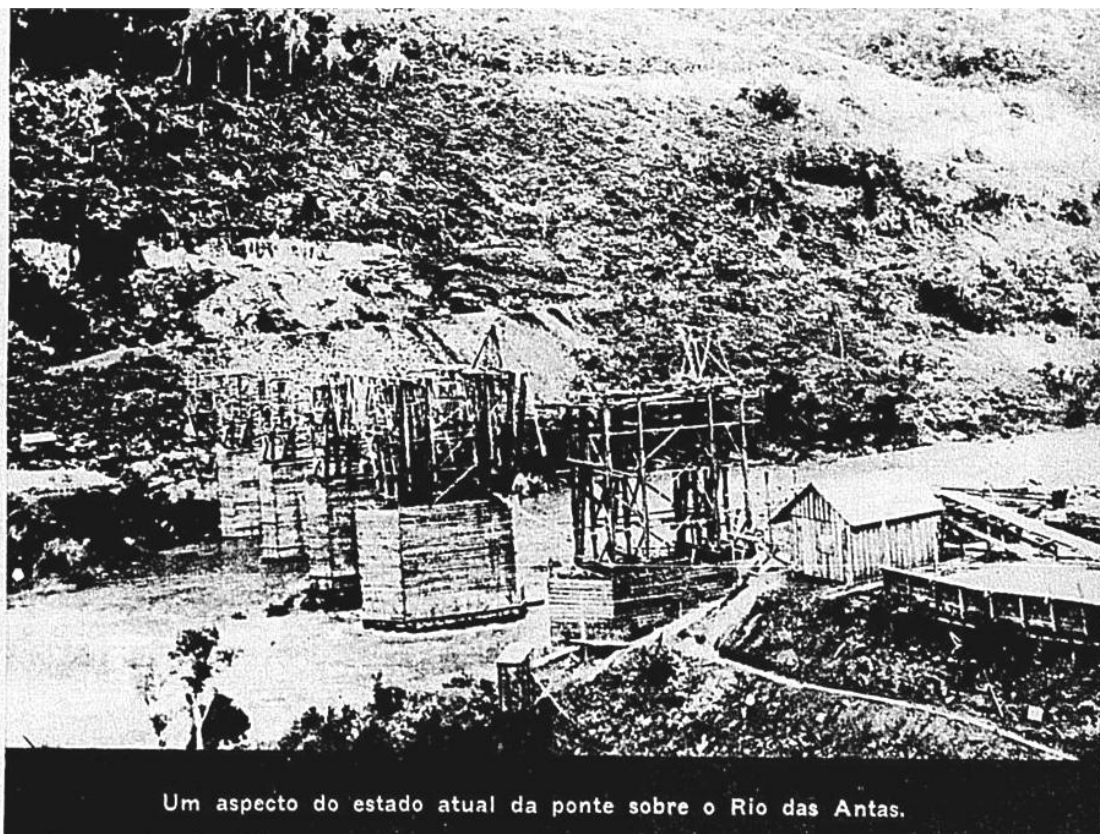


ENTRE AS PONTES DESSE TIPO, CONSTRUÍDAS NO MUNDO, É A SEGUNDA NA EXTENSÃO DE VÃO LIVRE. POIS MEDE 186 METROS; O VÃO MAIOR NESSE TIPO DE PONTE, CONSTRUÍDO ATÉ HOJE, É DE 200 METROS E ENCONTRA-SE NA ESPANHA.

O FORMIDÁVEL VOLUME D'ÁGUA E A VELOCIDADE QUE ESTA TOMA NA OCASIÃO DAS CHEIAS, TORNAM O RIO DAS ANTAS UM DOS MAIS PERIGOSOS DO ESTADO, E FORAM ESSAS DIFICULDADES QUE LEVARAM OS TÉCNICOS A ESCOLHER ESSE TIPO DE PONTE COMO O MAIS CONVENIENTE E ECONÔMICO.

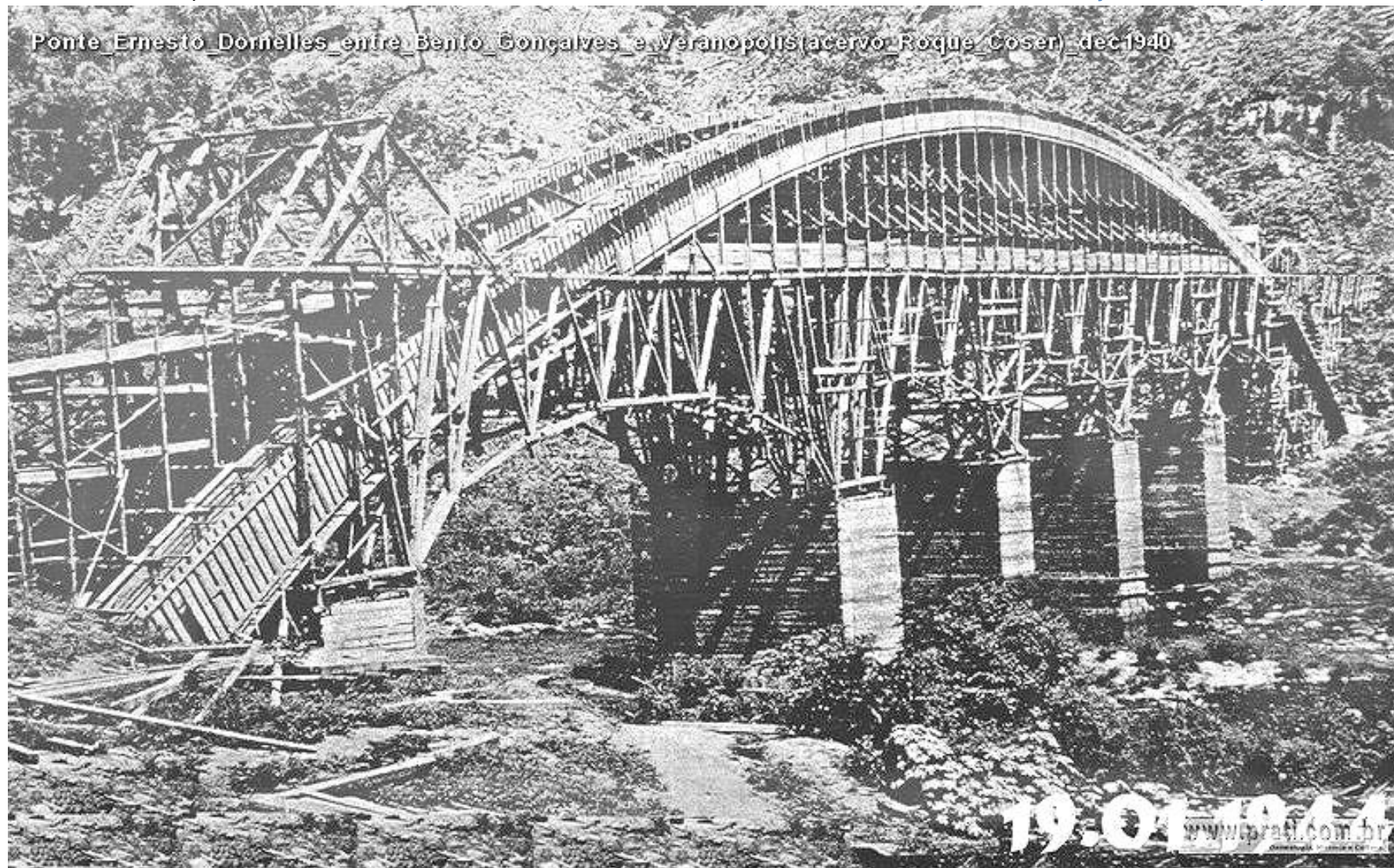
ESSA NOTÁVEL OBRA, QUE FAZ PARTE DO PLANO QUE O DEPARTAMENTO DE ESTRADAS DE RODAGEM DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL ESTÁ EXECUTANDO, FOI PROJETADA NO ESCRITÓRIO TÉCNICO DA FIRMA **DAHNE, CONCEIÇÃO & CIA.** — QUE CONTRATOU TAMBÉM A CONSTRUÇÃO

JORNAL - "A NOITE" 6/7/1943



HISTÓRIA - 1942 / 1944 - ESCORAMENTO ANTES DA RUPTURA

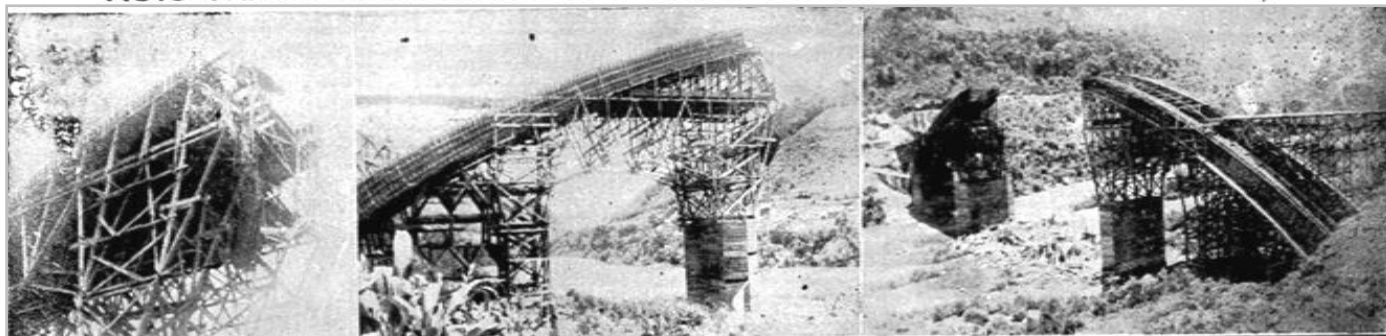
Acervo Roque Coser - FOTOS ANTIGAS DO R.G.SUL - [Ponte Ernesto Dornelles entre Bento Gonçalves e Veranópolis](#)



<http://prati.com.br/fotosantigas/albums>

JORNAL "DIÁRIO DA NOITE" - 19 / JANEIRO / 1944

RUIU MAIS UM PILAR DA PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS



PORTO ALEGRE, 21 (Meridional) — Ruiu ontem mais um pilar da ponte sobre o rio das Antas, desabando mais uma parte da sua estrutura de madeira, numa extensão de 40 metros. O vão que ficou bem no centro da ponte, tem 80 metros de extensão, sendo que as extremidades, em ambos os lados do rio, ainda estão intactas.

A parte que dá para Alfredo Chaves, desde o primeiro desabamento, apresentava pouca segurança, pois as pedras colocadas antes no leito da ponte, não puderam ser removidas, dado o perigo que isso apresentava. Pouco a pouco a armação foi cedendo, acabando por ruir fragorosamente. Os escombros são de tal monta,

que apesar das últimas chuvas que encheram bastante o rio, a correnteza não conseguiu carregá-los.

Regressaram a esta capital os engenheiros do D. A. E. R., designados para proceder ao inquerito tendente a apurar as causas do desmoronamento. Procede-se ao trabalho de remoção dos escombros, findo o qual, os técnicos do D. A. E. R. voltarão aos

serviços de inspeção, afim de colher os elementos indispensáveis às suas conclusões.

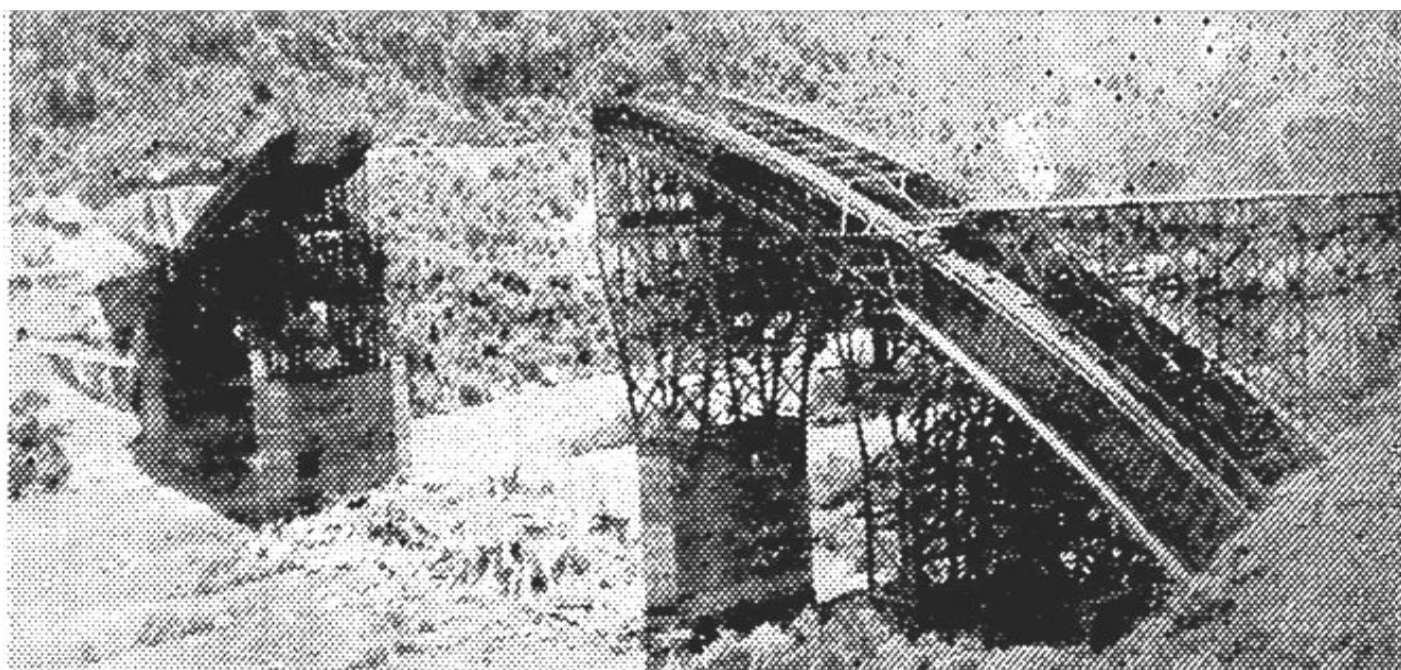
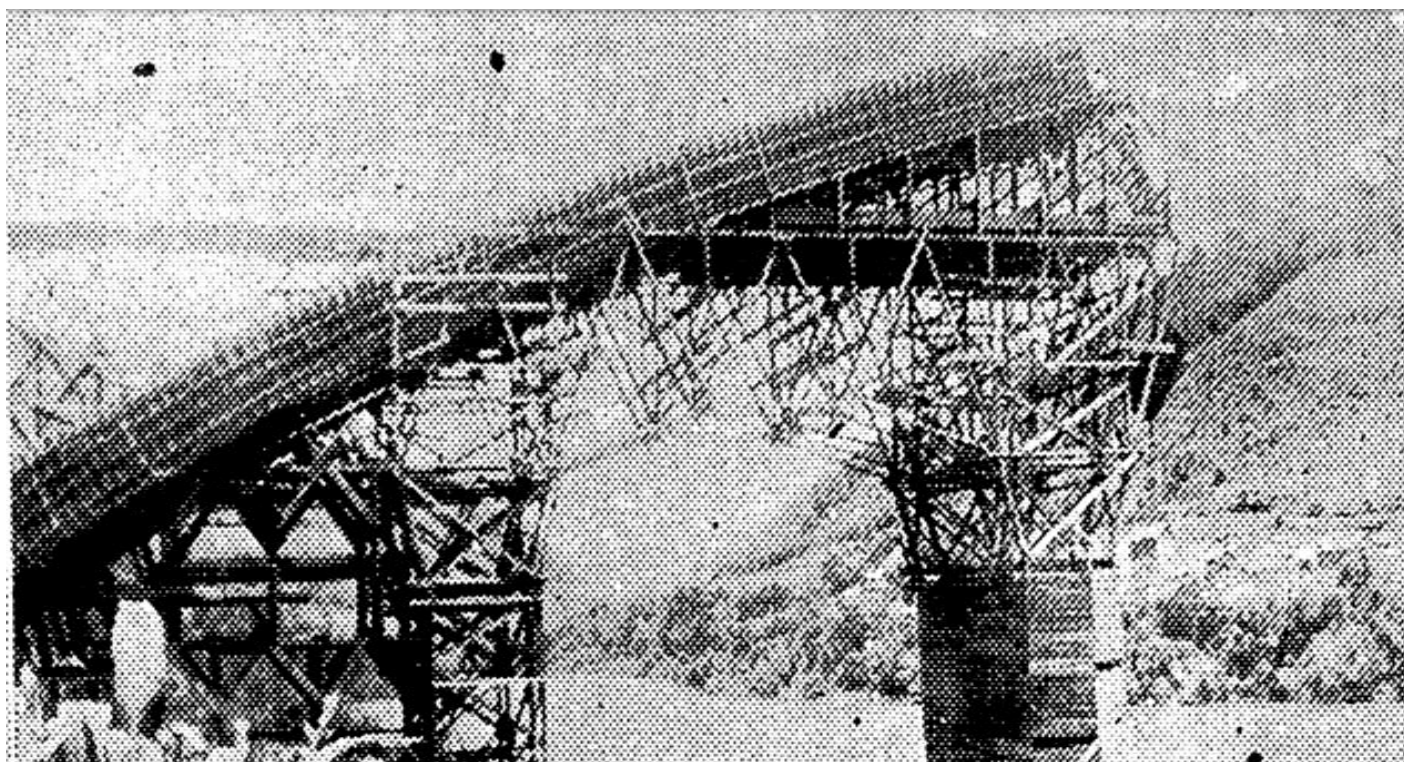
O cliché acima fixa perspectivas da grandiosa obra, colhidas pelos "Diários Associados" em Bento Gonçalves, vendo-se uma das extremidades do arco, um aspecto dos escombros em meio do rio, formando verdadeira barreira ao curso das águas.

HISTÓRIA - 1942 / 1944 - ESCORAMENTO APÓS A RUPTURA



PORTO ALEGRE, 21 (Meridional) — Ruiu ontem mais um pilar da ponte sobre o rio das Antas, desabando mais uma parte da sua estrutura de madeira, numa extensão de 40 metros. O vão que ficou bem no centro da ponte, tem 80 metros de extensão, sendo que as extremidades, em ambos os lados do rio, ainda estão intactas.

HISTÓRIA - 1942 / 1944



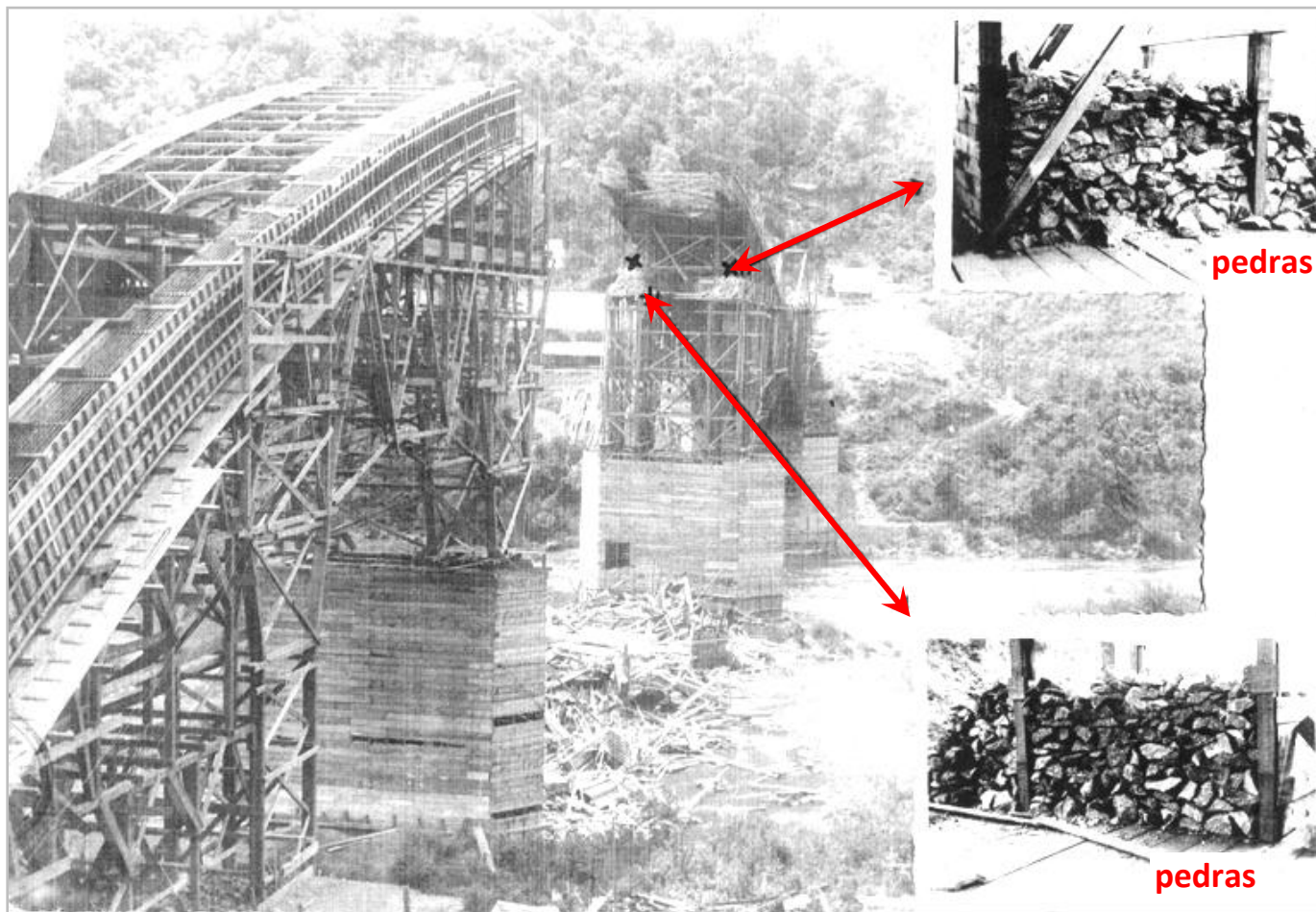
O cliché acima fixa perspectivas da grandiosa obra, colhidas pelos "Diários Associados" em Bento Gonçalves, vendo-se uma das extremidades do arco, um aspecto dos escombros em meio do rio, formando verdadeira barreira ao curso das águas.

+ + +

2006 = Gilmar Antonio Detogni - A Travessia - A Construção da Ponte do Rio das Antas - 1942 – 1952

<http://livros01.livrosgratis.com.br/CP008805.pdf>

Dissertação de Mestrado na área de História Regional, na Universidade de Passo Fundo / RS



(20 — 6 — 43) DIARIO CAEIOCA

...

Para reduzir o efeito das deformações do eixo do arco das influências parasitarias resultantes das variações de temperatura, da retração e da contração elastica, foi previsto um interessante sistema de três articulações provisórias e o carregamento previo dos arcos, em formas apropriadas com lastro de seixos rolados cujo peso deverá ser equivalente ao peso do proprio arco e que irão sendo retirados á medida que a concretagem for avançando.

O controle do decimbramento deverá ser rigoroso e será feito com a completa aparelhagem de que dispõe o Instituto Nacional de Tecnologia.

...

Serão ainda estudados, em modelos recortados em celuloide e por foto-elasticidade, alguns pontos das estruturas que parecem mais delicadas, parti-

cularmente as articulações, para determinação da distribuição das tensões antes da concretagem das articulações inferiores. Todos esses estudos serão de

grande utilidade no calculo das contra-flexas e na orientação do decimbramento, afim de que, após sua execução, o arco mantenha o eixo teorico.

DIÁRIO DE NOTÍCIAS 11 JUNHO 1944

CAUSA DA RUPTURA :

FLAMBAGEM DAS COLUNAS DO ESCORAMENTO

Rio Grande do Sul

O INQUERITO ACERCA DO DESABAMENTO DA PONTE SOBRE O RIO DAS ANTAS

PORTO ALEGRE, 10 (A. N.) — Foi encaminhado ao secretário de Obras Públicas, hoje, o parecer emitido pelos técnicos do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem sobre as causas que determinaram o desabamento da ponte, em construção, no rio das Antas. Os engenheiros do D. S. E. R., opinaram pela absoluta irresponsabilidade da firma construtora, classificando o acidente como "apenas mais uma vítima do atraso em que ainda se encontra a ciência contemporânea quanto ao cálculo das peças que suportam o esforço de compressão".

PÁGINA EM BRANCO

2017 - TRÁFEGO INTENSO NA PONTE

Ver: <https://www.youtube.com/watch?v=3ucAQpTCqIA>



Ainda são visíveis os blocos de fundação das torres do escoramento.



As cheias mostram que a ponte em arco, sem pilares, é a estrutura correta.