

# Protensão Traz Economia para o Escoramento

## PALESTRANTES



### **LUCAS RIBEIRO OLIVEIRA**

- Sócio proprietário da empresa MASP Projetos & Engenharia.
- Engenheiro Civil e Mestre em Engenharia Civil com ênfase em Estruturas pela UFV (Universidade Federal de Viçosa).
- Especialista em Estruturas de Concreto e Fundações pela UNICID/INBEC.
- Atua desde 2014 na área de cálculo e detalhamento de estruturas de concreto armado e protendido, estruturas metálicas e mistas de aço e concreto, alvenaria estrutural, muros de arrimo e projetos de fundações rasas e profundas.



### **GABRIEL DE PAULA PEREIRA**

- Engenheiro Calculista na empresa RM Mais Projeto Estrutural.
- Engenheiro Civil com ênfase em Estruturas pela Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP.
- Atua desde 2020 na área de inovação e análise estrutural de edifícios altos em concreto armado, concreto protendido e alvenaria estrutural.

## INTRODUÇÃO

- FUNÇÃO DO ESCORAMENTO
  - RESISTÊNCIA DO CONCRETO
  - DEFORMAÇÕES INICIAIS E AO LONGO DO TEMPO
  - ESCORA REMANESCENTE
  - DISTRIBUIÇÃO DO PESO DA CONCRETAGEM EM MAIS NÍVEIS DE LAJES)

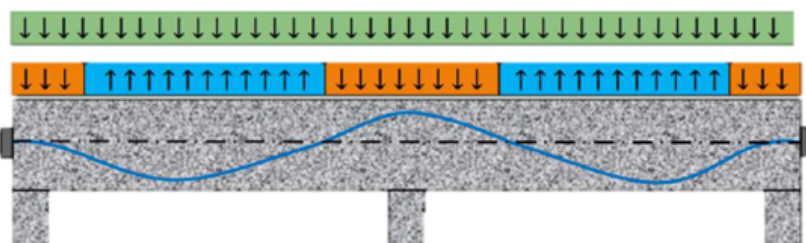


## INTRODUÇÃO

- CUSTO MÉDIO DO SISTEMA DE ESCORAMENTO POR M<sup>2</sup>/DIA
  - DEPENDE DO CICLO DE CONCRETAGEM
  - DEPENDE DA QUANTIDADE DE NÍVEIS ESCORADOS
  - R\$3,50/m<sup>2</sup>/DIA - ESCORAMENTO E CIMBRAMENTO METÁLICO
  - R\$2,00/m<sup>2</sup>/DIA - ESCORAMENTO REMANESCENTE METÁLICO

## INTRODUÇÃO

- DIFERENÇAS NO COMPORTAMENTO CONCRETO ARMADO X PROTENDIDO

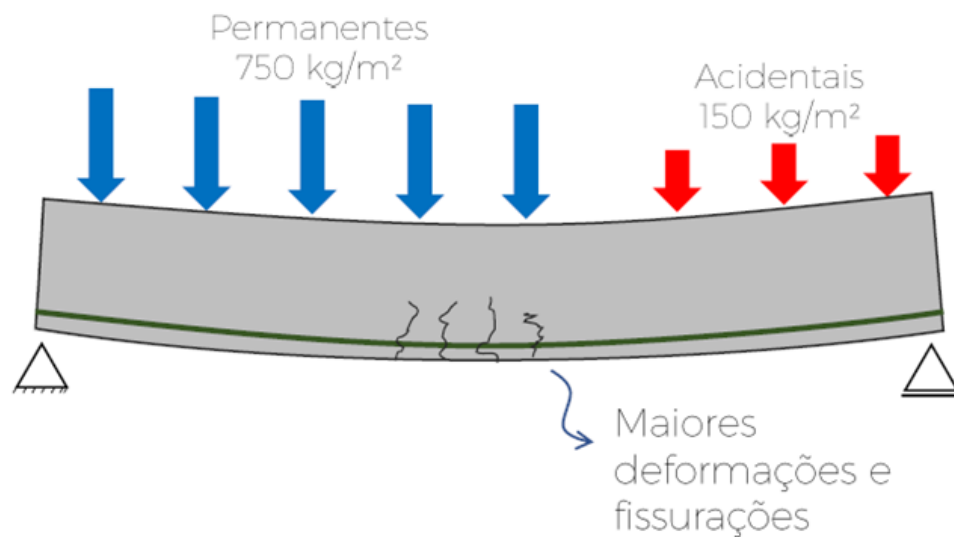


**CONCRETO  
ARMADO**

### CARREGAMENTOS PERMANENTES

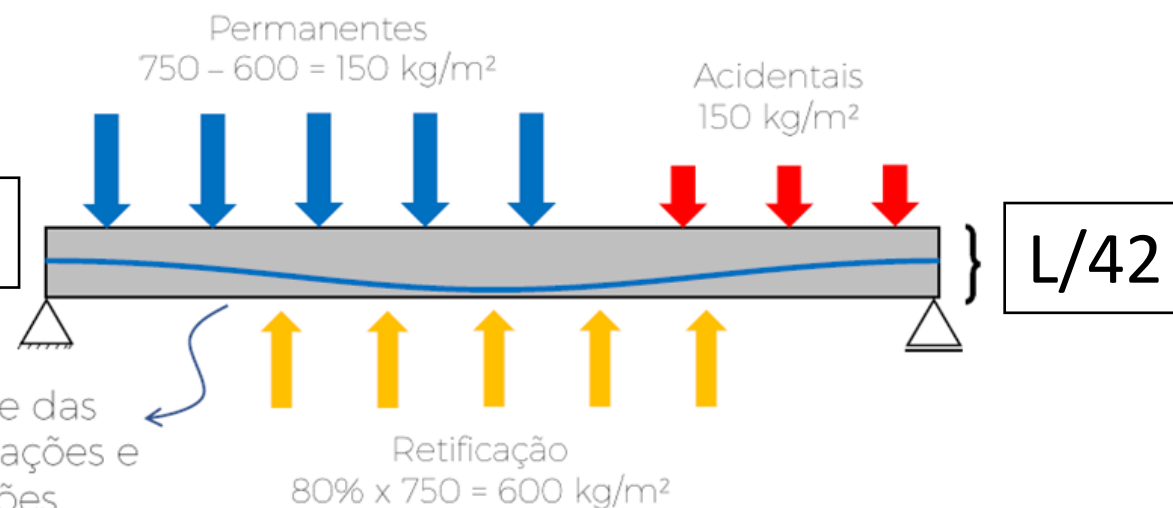
Concreto	500 kg/m <sup>2</sup>
Alvenaria	150 kg/m <sup>2</sup>
Revestimento	100 kg/m <sup>2</sup>
<b>Total</b>	<b>750 kg/m<sup>2</sup></b>

**CONCRETO  
PROTENDIDO**



L/30

Controle das deformações e fissurações



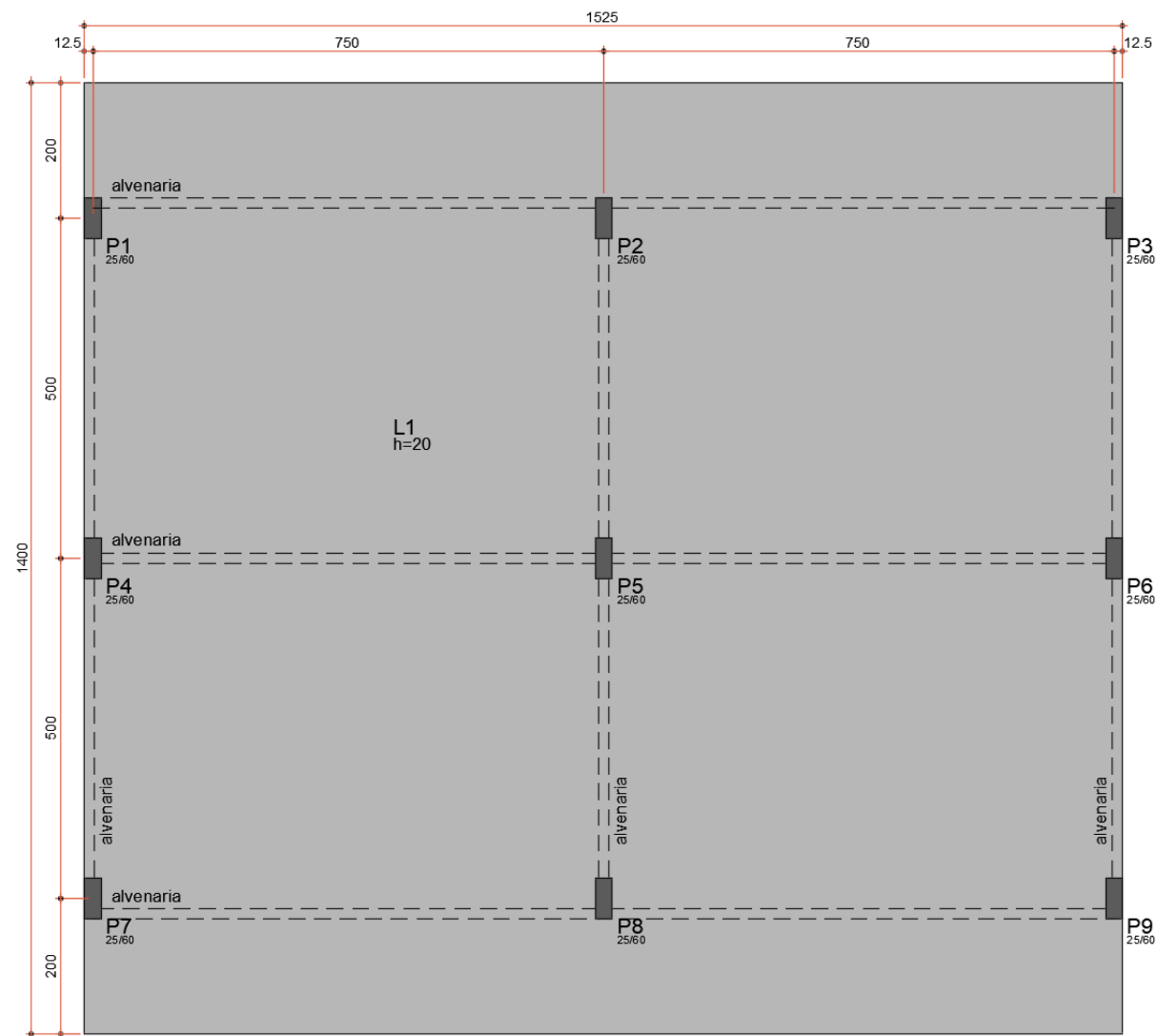
L/42

## INTRODUÇÃO

- OBJETIVO
  - APRESENTAR OS RESULTADOS DE UM ESTUDO DE CASO
    - COMPROVAR QUE O USO DE LAJES LISAS PROTENDIDAS PROMOVE ECONOMIA NO SISTEMA DE ESCORAMENTO
    - MODELO EM ELEMENTOS FINITOS UTILIZANDO O SOFTWARE SAP2000
    - ANÁLISE ESTRUTURAL INCREMENTAL CONSTRUTIVA
      - ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E CARREGAMENTO
      - CONSIDERAÇÃO DO ESCORAMENTO NA ANÁLISE ESTRUTURAL
      - EFEITOS DIFERIDOS NO TEMPO (FLUÊNCIA, RETRAÇÃO, PERDAS DE PROTENSÃO)

## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- LAJE LISA DE CONCRETO PROTENDIDO
  - ALTURA DA LAJE = 20cm
  - PILAR 25X60cm
- LAJE LISA DE CONCRETO ARMADO
  - ALTURA DA LAJE = 20 cm
  - PILAR 25X60cm

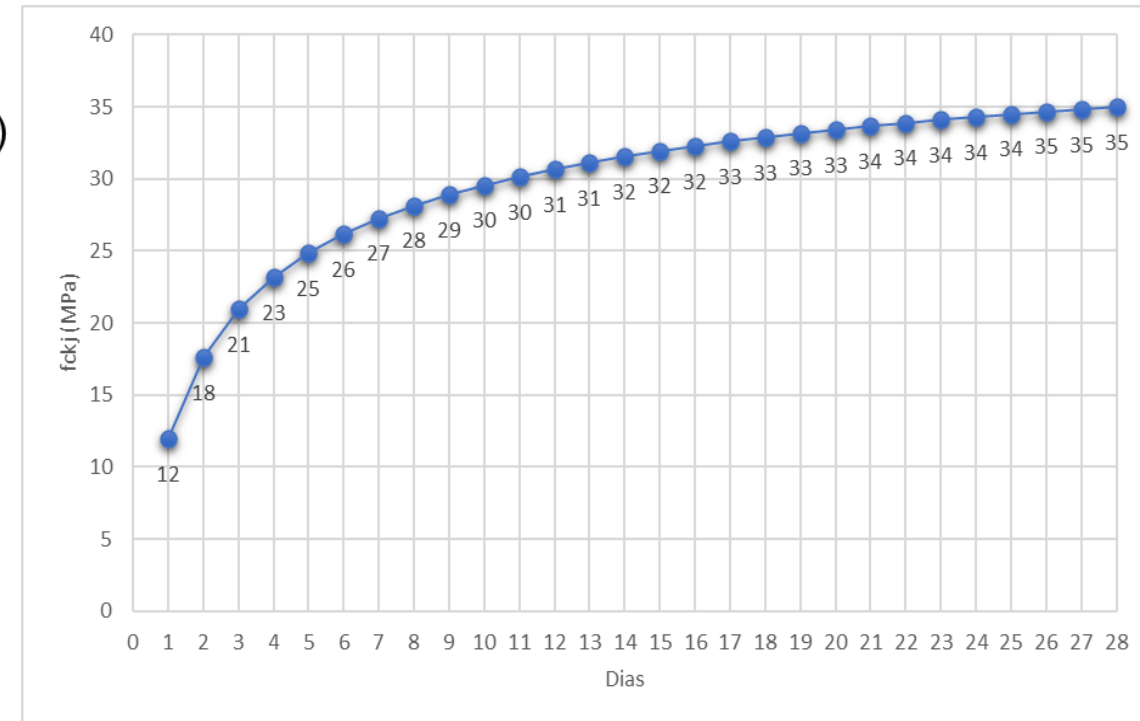


## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- MATERIAIS - CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO
  - $f_{ck} = 35 \text{ MPa}$
  - $f_{ckj=3} = 21 \text{ MPa}$  (PROTENSÃO DA LAJE COM 3 DIAS)
  - CIMENTO ADOTADO = CEB FIP2010 = 42,5N, EQUIVALENTE AO CII DA NBR6118 ( $s = 0,25$ )
  - AGREGADO – GRANITO -  $\alpha_E = 1,0$

$$f_{ckj} = \beta_{cc}(t) \cdot f_{ck}$$

$$\beta_{cc}(t) = \exp\left(s \cdot \left(1 - \left(\frac{28}{t}\right)^{0,5}\right)\right)$$





## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- MATERIAIS - CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO

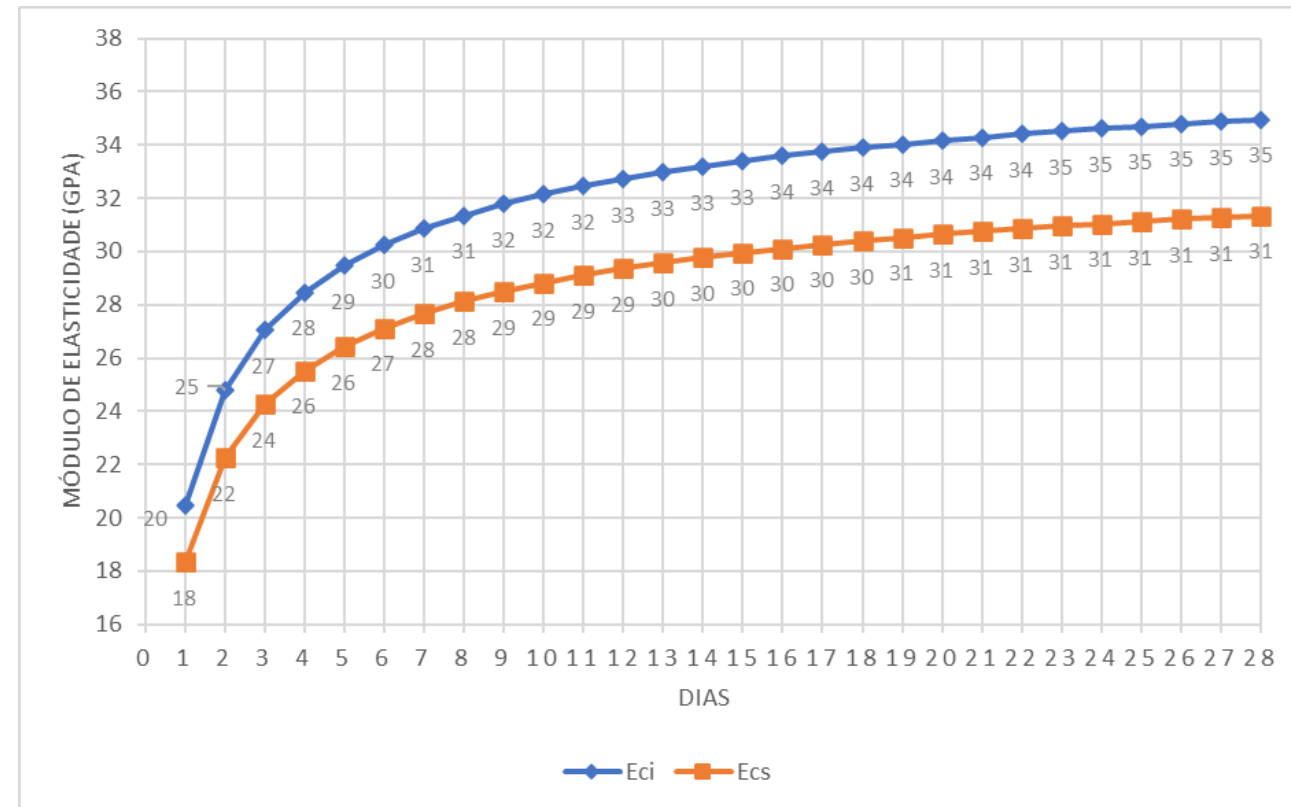
- MÓDULO DE ELASTICIDADE C35

$$E_{ci_{28}} = 21,5 \times 10^3 \cdot \alpha_E \left( \frac{f_{ck} + 8 \text{MPa}}{10} \right)^{\frac{1}{3}} = 34962 \text{ MPa}$$

$$E_{cs_{28}} = \alpha_i \cdot E_{ci} = 0,897 \cdot 34962 = 31361 \text{ MPa}$$

$$E_{ci}(t) = \beta_E(t) \cdot E_{ci}$$

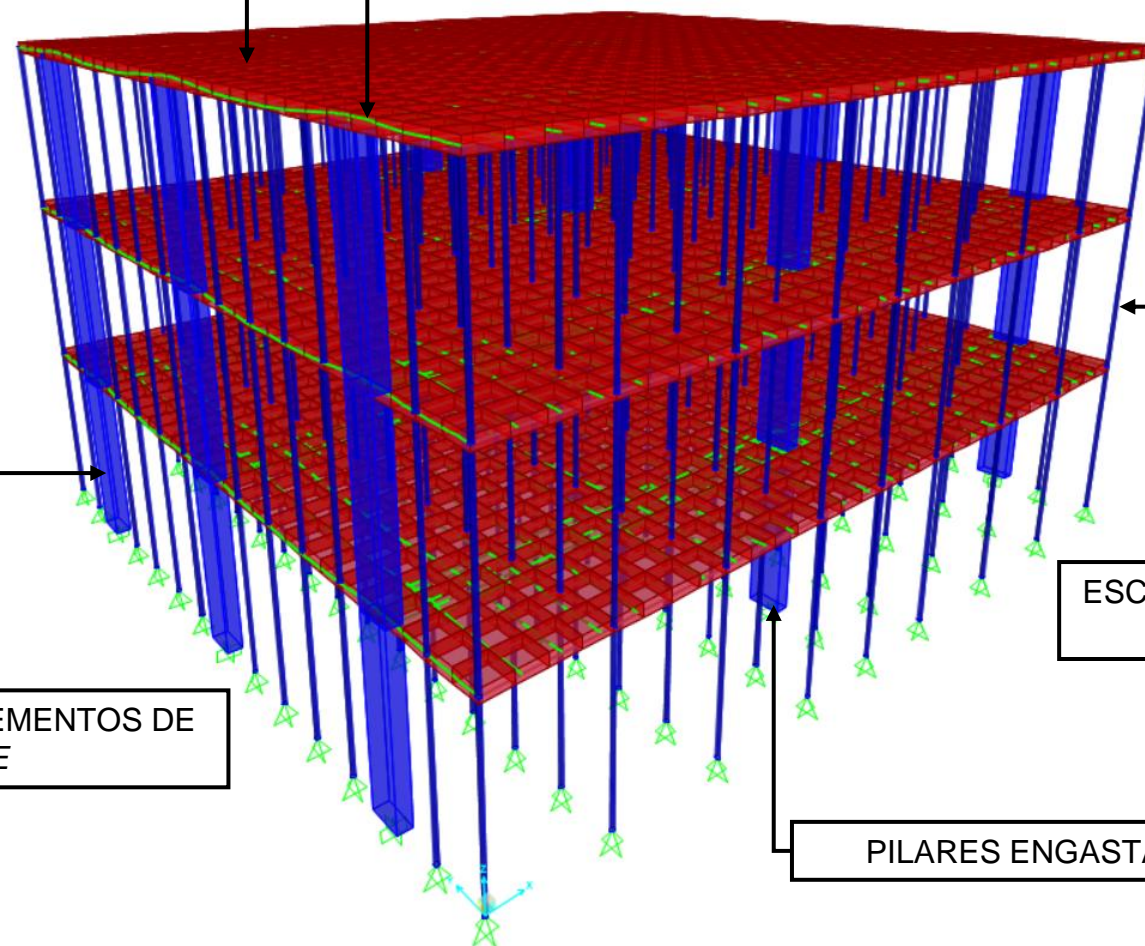
$$\beta_E(t) = (\beta_{cc}(t))^{0,5}$$



## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

LAJES LISAS PROTENDIDAS DISCRETIZADAS EM UMA MALHA DE 50X50CM COM ELEMENTOS DO TIPO *SHELL-THIN*.

CORDOALHAS MODELADAS COM ELEMENTOS DO TIPO *TENDON*



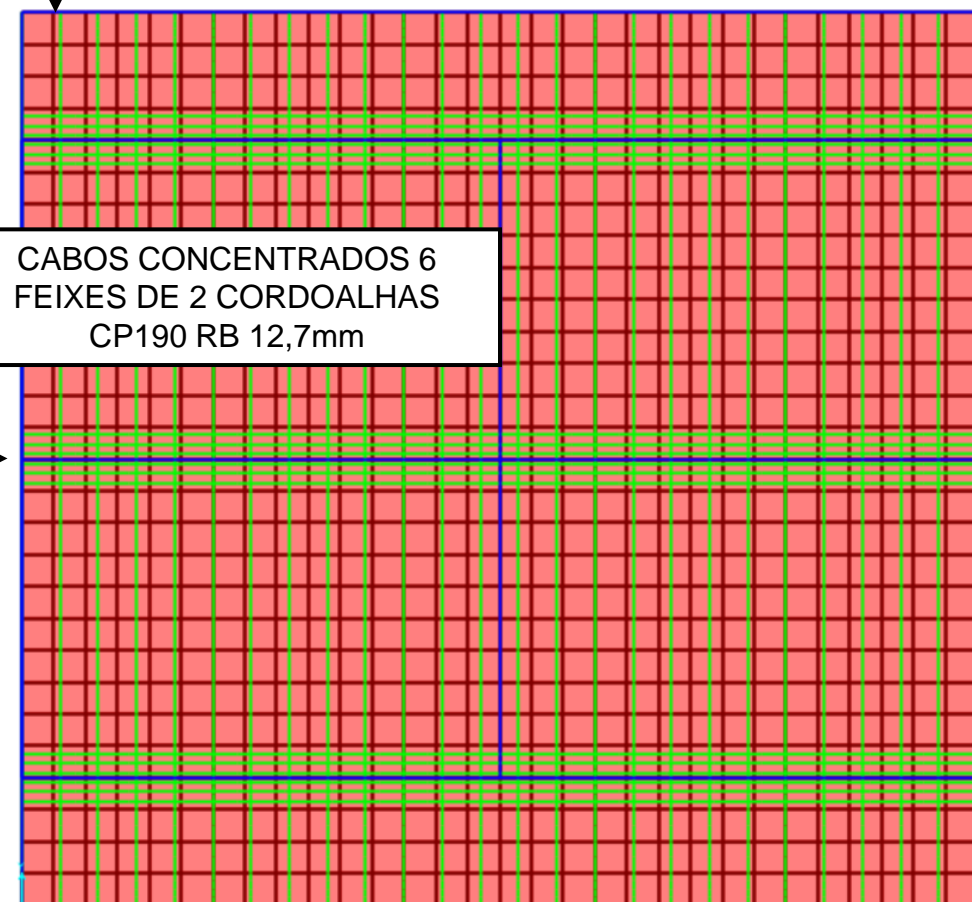
ESCORAS MODELADAS COM ELEMENTOS DE BARRA TIPO *FRAME*

PILARES MODELADOS COM ELEMENTOS DE BARRA TIPO *FRAME*

PILARES ENGASTADOS NA FUNDAÇÃO

## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

CABOS DISTRIBUÍDOS DE 1  
CORDOALHA A CADA 60cm  
CP190 RB 12,7mm



CABOS CONCENTRADOS 6  
FEIXES DE 2 CORDOALHAS  
CP190 RB 12,7mm

TIPO DE ANÁLISE ESTRUTURAL	ANÁLISE INCREMENTAL	ANÁLISE CLÁSSICA
MÁXIMA DISCRETIZAÇÃO DO CABO (M)	1,0	-
OPÇÃO DE MODELAGEM DOS CABOS	CABOS COMO ELEMENTOS	CABOS COMO CARREGAMENTO
ÁREA DO CABO (mm <sup>2</sup> )	98,7	98
TENSÃO INICIAL APLICADA NOS CABOS (MPa)	1503	-
FORÇA APLICADA NOS CABOS (kN)	-	120
COEFICIENTE DE CURVATURA DOS CABOS	0,05	0
COEFICIENTE DE CURVATURA PARASITA (1/m)	0,0005	0
ESCORREGAMENTO NA ANCORAGEM (mm)	6,0	0
PERDA DE PROTENSÃO POR ENCURTAMENTO ELÁSTICO (MPa)	0*	0
PERDA DE PROTENSÃO POR FLUÊNCIA (MPa)	0*	0
PERDA DE PROTENSÃO POR RETRAÇÃO (MPa)	0*	0
PERDA DE PROTENSÃO POR RELAXAÇÃO DO AÇO (MPa)	0*	0

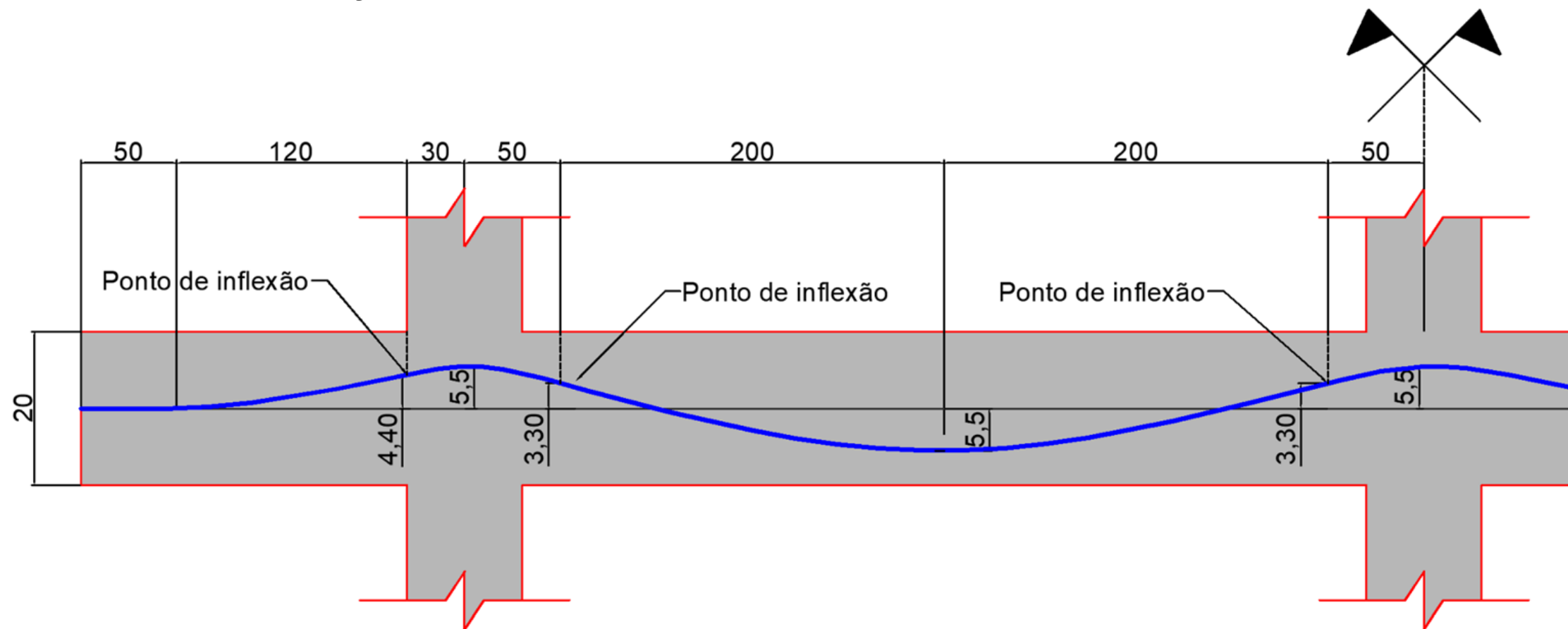
\*AS PERDAS DE PROTENSÃO PROGRESSIVAS SÃO CALCULADAS AUTOMATICAMENTE PELO SAP2000 V20.

- 1 OU 2 CORDOALHAS TIPO CP190 RB MODELADAS COMO UM ÚNICO CABO
- DIÂMETRO = 12,7mm
- SEÇÃO TRANSVERSAL P/ CORDOALHA = 98,7 mm<sup>2</sup>

- CLÁSSICA: FORÇA DE PROTENSÃO ADOTADA EM CADA CORDOALHA = 120 kN
- INCREMENTAL: TENSÃO INICIAL DE PROTENSÃO = 0,88  $f_{pyk}$  = 1503 MPa

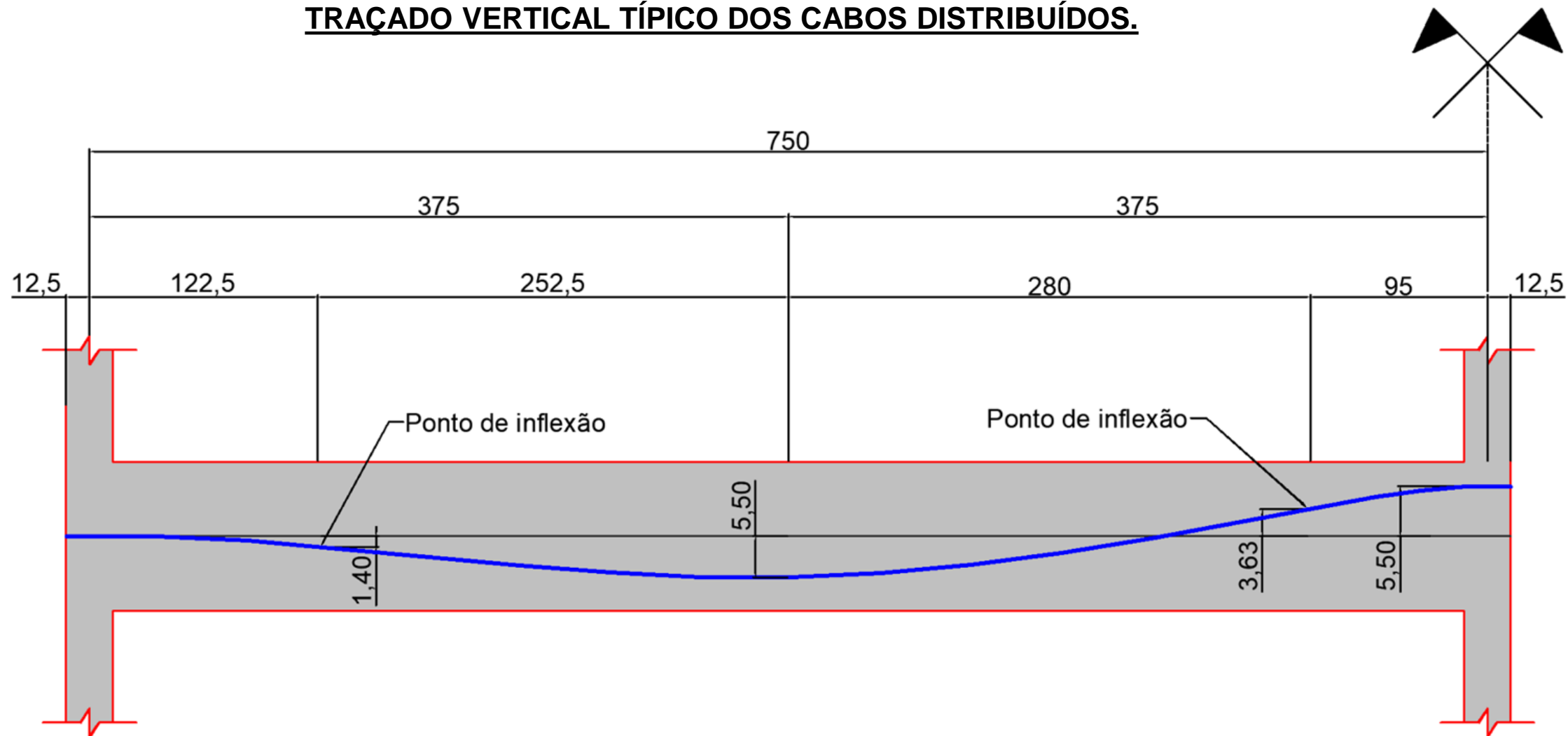
## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

### TRAÇADO VERTICAL TÍPICO DOS CABOS CONCENTRADOS.



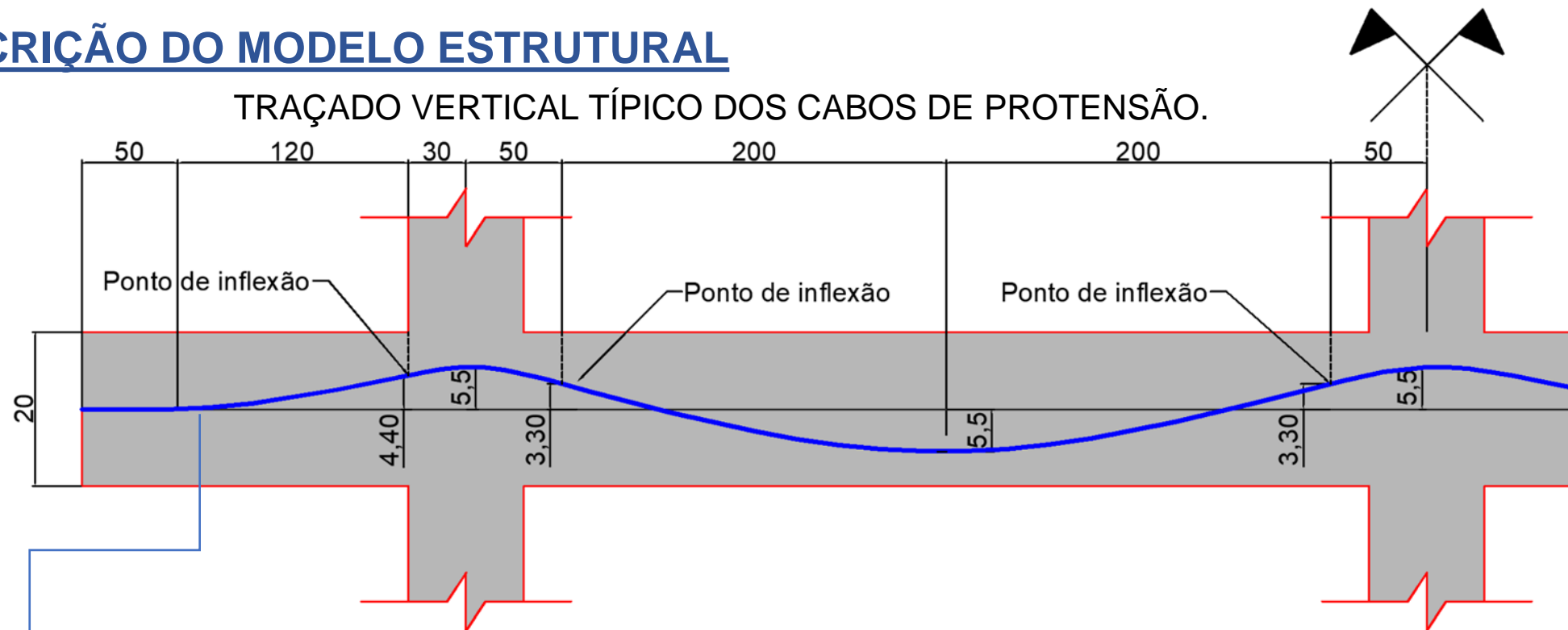
## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

### TRAÇADO VERTICAL TÍPICO DOS CABOS DISTRIBUÍDOS.



## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

TRAÇADO VERTICAL TÍPICO DOS CABOS DE PROTENSÃO.



CABO TIPO *TENDON*  
SAP2000 V20

CABOS DEFINIDOS COMO  
ELEMENTOS - INCREMENTAL

CABOS DEFINIDOS COMO CARGA  
EQUIVALENTE - CLÁSSICA

DISCRETIZAÇÃO AUTOMÁTICA  
PERDAS DE PROTENSÃO  
IMEDIATAS E PROGRESSIVAS  
AUTOMATICAMENTE CALCULADAS

ADOTOU-SE FORÇA DE PROTENSÃO CONSTANTE NO  
CABO COM PERDA DE PROTENSÃO TOTAL DE 20%

ATIVAR PROPRIEDADES DIFERIDAS NO TEMPO  
DO CONCRETO E DO AÇO E INCLUIR DURAÇÕES  
EM DIAS DE CADA ESTÁGIO - (INCREMENTAL)

## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- SELEÇÃO DOS PARÂMETROS DE ANÁLISE PARA CONSIDERAR A VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DEPENDENTES DO TEMPO DOS MATERIAIS NO SAP2000 V20

PARÂMETROS	ELEMENTO ESTRUTURAL	
	CONCRETO	CABOS
TIPO DE MATERIAL	CONCRETO (CONCRETE)	CORDOALHA (TENDON)
	ISOTRÓPICO (ISOTROPIC)	UNI-AXIAL
TIPO DE HISTERESE	KINEMATIC	KINEMATIC
DIAGRAMA TENSÃO-DEFORMAÇÃO	DEFINIDO PELO USUÁRIO	DEFINIDO PELO USUÁRIO
MODELO DE VARIAÇÃO DAS PROPRIEDADES DOS MATERIAIS COM O TEMPO	FIB (2010)	CEB-FIP (1990)
RESISTÊNCIA FCK DO CONCRETO	35 MPa	-
RESISTÊNCIA AO ESCOAMENTO DO AÇO FY	-	1710 Mpa
RESISTÊNCIA À RUPTURA DO AÇO FU	-	1900 Mpa
MÓDULO DE ELASTICIDADE AOS 28 DIAS	34962 MPa	200.000 Mpa
PESO PRÓPRIO	25 kN/m <sup>3</sup>	78,5 kN/m <sup>3</sup>
VARIAÇÃO DO MÓDULO DE ELASTICIDADE	0	-
FLUÊNCIA	0	-
RETRAÇÃO	0	-
TIPO DE ANÁLISE DE FLUÊNCIA	INTEGRAÇÃO COMPLETA	-
TIPO DE CIMENTO	42,5N	-
UMIDADE RELATIVA	80%	-
IDADE DE INÍCIO DA RETRAÇÃO (DIAS)	5	-
ESPESSURA FICTÍCIA H (CM)	20	-
IDADE DE INÍCIO DO CARREGAMENTO (DIAS)	3	-
RELAXAÇÃO DO AÇO DE PROTENSÃO	-	INTEGRAÇÃO COMPLETA
CLASSE CEB-FIP DO AÇO PROTENDIDO	-	2
TENSÃO APLICADA / TENSÃO RESISTENTE DO AÇO		0,80

## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- ESPAÇAMENTO ENTRE ESCORAS DA LAJE EM **CONCRETO ARMADO**:

- SITUAÇÃO 1:

- 1º NÍVEL (LAJE A SER CONCRETADA): 100x200cm
- 2º NÍVEL (ÚLTIMA LAJE CONCRETADA): 200x200cm

- SITUAÇÃO 2:

- 1º NÍVEL (LAJE A SER CONCRETADA): 100x200cm
- 2º NÍVEL (ÚLTIMA LAJE CONCRETADA): 100x200cm
- 3º NÍVEL (PENÚLTIMA LAJE CONCRETADA): 200x200cm
- 4º NÍVEL (ANTEPENÚLTIMA LAJE CONCRETADA): 400x200cm

- ESPAÇAMENTO ENTRE ESCORAS DA **LAJE PROTENDIDA**:

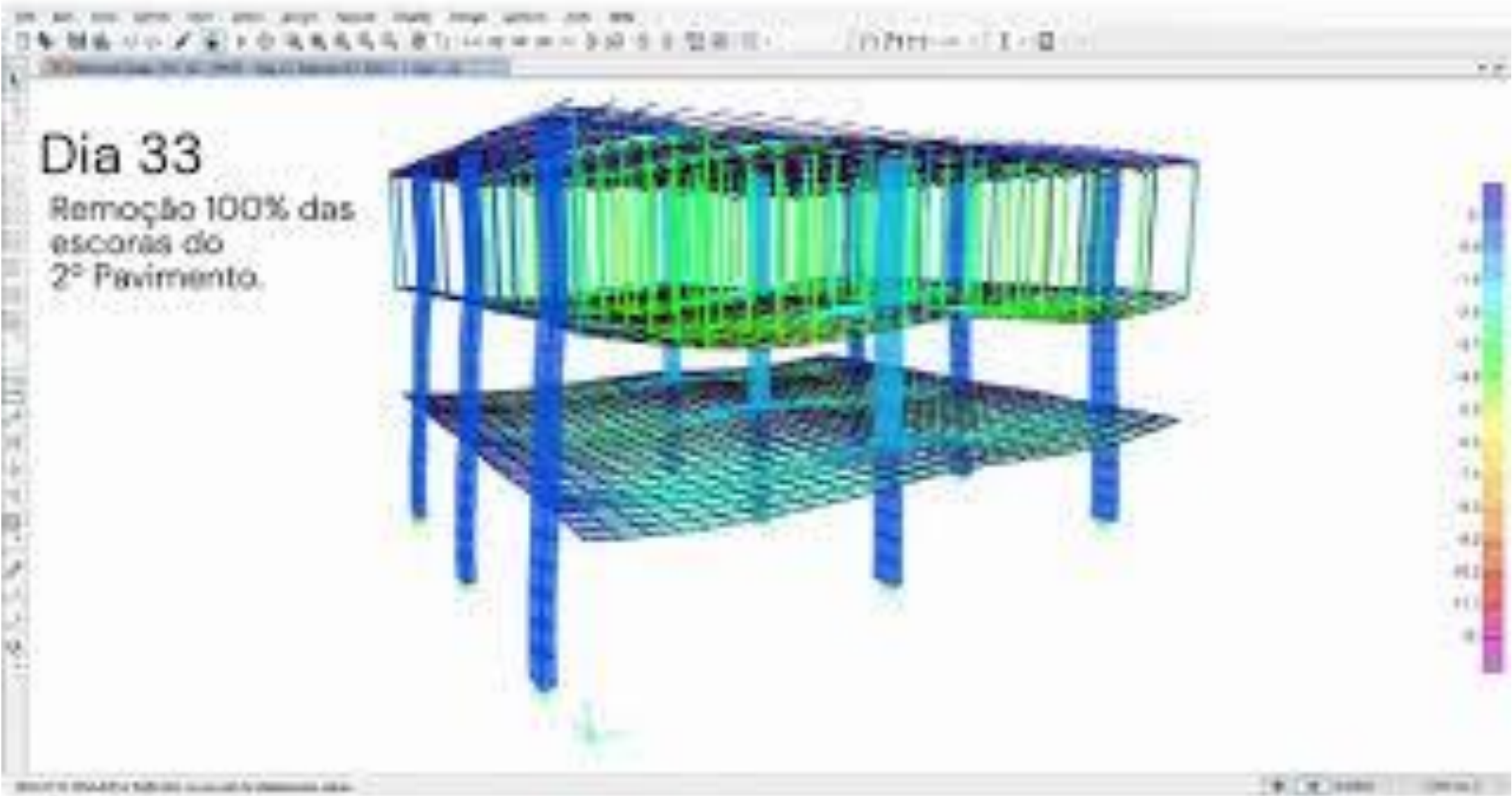
- 1º NÍVEL (LAJE A SER CONCRETADA): 100x200cm
- 2º NÍVEL (ÚLTIMA LAJE CONCRETADA): 200x200cm

CICLO DE  
CONCRETAGEM  
POR LAJE: 7 DIAS  
CORRIDOS.



## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- AÇÕES ADOTADAS DURANTE A **ETAPA DE CONSTRUÇÃO**
  - PESO PRÓPRIO DO CONCRETO: 2.500 kgf/m<sup>3</sup>
  - SOBRECARGA DE OBRA (PESO DAS ESCORAS + CIMBRAMENTOS + CONCRETAGEM) : 250 kgf/m<sup>2</sup>
- AÇÕES ADOTADAS PARA **ANÁLISE ELU e ELS**
  - PESO PRÓPRIO DO CONCRETO: 2.500 kgf/m<sup>3</sup>
  - CARGAS PERMANENTES: 150 kgf/m<sup>2</sup>
  - SOBRECARGA DE SERVIÇO: 150 kgf/m<sup>2</sup>
  - CARGAS DE ALVENARIA: 400 kgf/m



## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

- ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E CARREGAMENTO ADOTADAS NA ANÁLISE INCREMENTAL

FASE	ESTÁGIO	IDADE (DIAS)	OBSERVAÇÃO	ELEMENTOS ESTRUTURAIS ADICIONADOS	AÇÕES APLICADAS
1º PAVIMENTO	1	1	MONTAGEM DOS PILARES - PAV1	PILARES PAV1	-
	2	2	CONCRETAGEM DOS PILARES - PAV1	-	PESO PRÓPRIO: PILARES PAV1
	3	3	ESCORAMENTO 100% E MONTAGEM FÔRMA DA LAJE PAV1.	ADICIONAR ESCORAS DO PAV1	-
	4	5	CONCRETAGEM DA LAJE PAV1.	LAJE PAV1	PESO PRÓPRIO LAJE PAV1 E SOBRECARGA DE OBRA PAV1
2º PAVIMENTO	5	8	MONTAGEM DOS PILARES - PAV2	PILARES PAV2	-
	6	9	CONCRETAGEM DE PILAR PAV2 PROTENSÃO DA LAJE PAV1	-	PESO PRÓPRIO: PILARES PAV2 PROTENSÃO LAJE PAV1
	7	10	ESCORAMENTO 100% E MONTAGEM FÔRMA DA LAJE PAV2	ADICIONAR ESCORAS DO PAV2 RETIRAR 50% ESCORAS PAV1	-
	8	12	CONCRETAGEM DA LAJE PAV2	LAJE PAV2	PESO PRÓPRIO LAJE PAV2 E SOBRECARGA DE OBRA_PAV2. RETIRAR SOBRECARGA DE OBRA_PAV1

## DESCRIÇÃO DO MODELO ESTRUTURAL

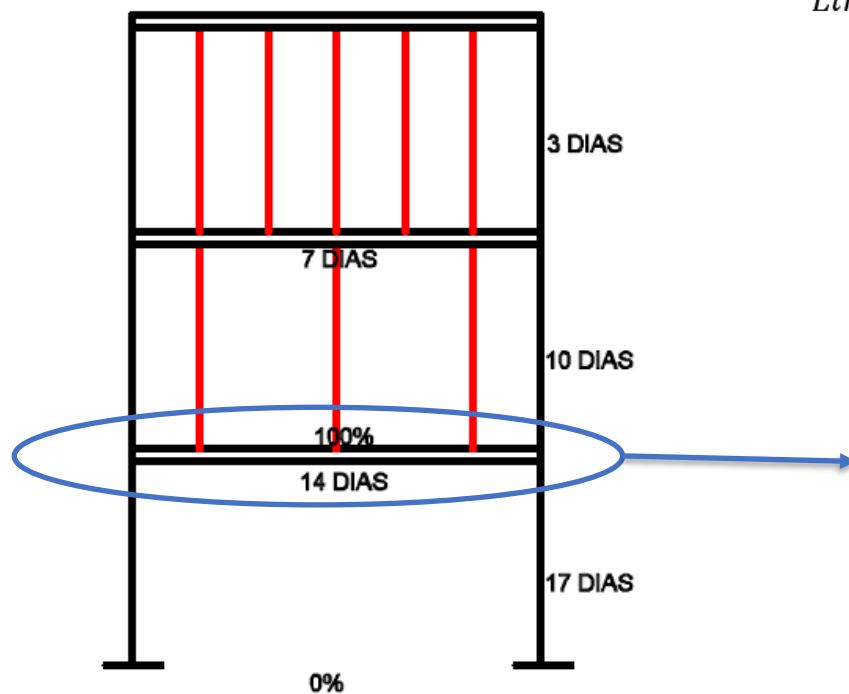
- ETAPAS DE CONSTRUÇÃO E CARREGAMENTO ADOTADAS NA ANÁLISE INCREMENTAL

FASE	ESTÁGIO	IDADE (DIAS)	OBSERVAÇÃO	ELEMENTOS ESTRUTURAIS ADICIONADOS	AÇÕES APLICADAS
3º PAVIMENT O	9	15	MONTAGEM DOS PILARES - PAV3	PILARES PAV3	-
	10	16	CONCRETAGEM DOS PILARES PAV3 PROTENSÃO DA LAJE PAV2	-	PESO PRÓPRIO: PILARES PAV3 PROTENSÃO LAJE PAV2
	11	17	ESCORAMENTO 100% E MONTAGEM DA LAJE PAV3. RETIRADA TOTAL DO ESCORAMENTO LAJE PAV1. RETIRAR 50% DO ESCORAMENTO PAV2	ADICIONAR ESCORAS DO PAV3 RETIRAR 100% ESCORAS DO PAV1. RETIRAR 50% ESCORAS PAV2	-
	12	19	CONCRETAGEM DA LAJE PAV3.	LAJE PAV3	PESO PRÓPRIO LAJE PAV3 E SOBRECARGA DE OBRA_PAV3. RETIRAR SOBRECARGA DE OBRA_PAV2.
	13	23	PROTENSÃO LAJE PAV3	-	PROTENSÃO LAJE PAV3
	13	26	RETIRADA DE ESCORAMENTO PAV2	RETIRAR 100% ESCORAS DO PAV2	-
	14	33	RETIRADA DE ESCORAMENTO PAV3	RETIRAR 100% ESCORAS DO PAV3	RETIRAR SOBRECARGA SC1_PAV3.
SC + CP	15	93	APLICAÇÃO DAS CARGAS PERMANENTES E ACIDENTAIS	-	CARGAS PERMANENTES DE REVESTIMENTO E ALVENARIA + SOBRECARGA DE SERVIÇO
FINAL	16	10000	DURAÇÃO TOTAL DA ANÁLISE IGUAL A 10000 DIAS	-	-

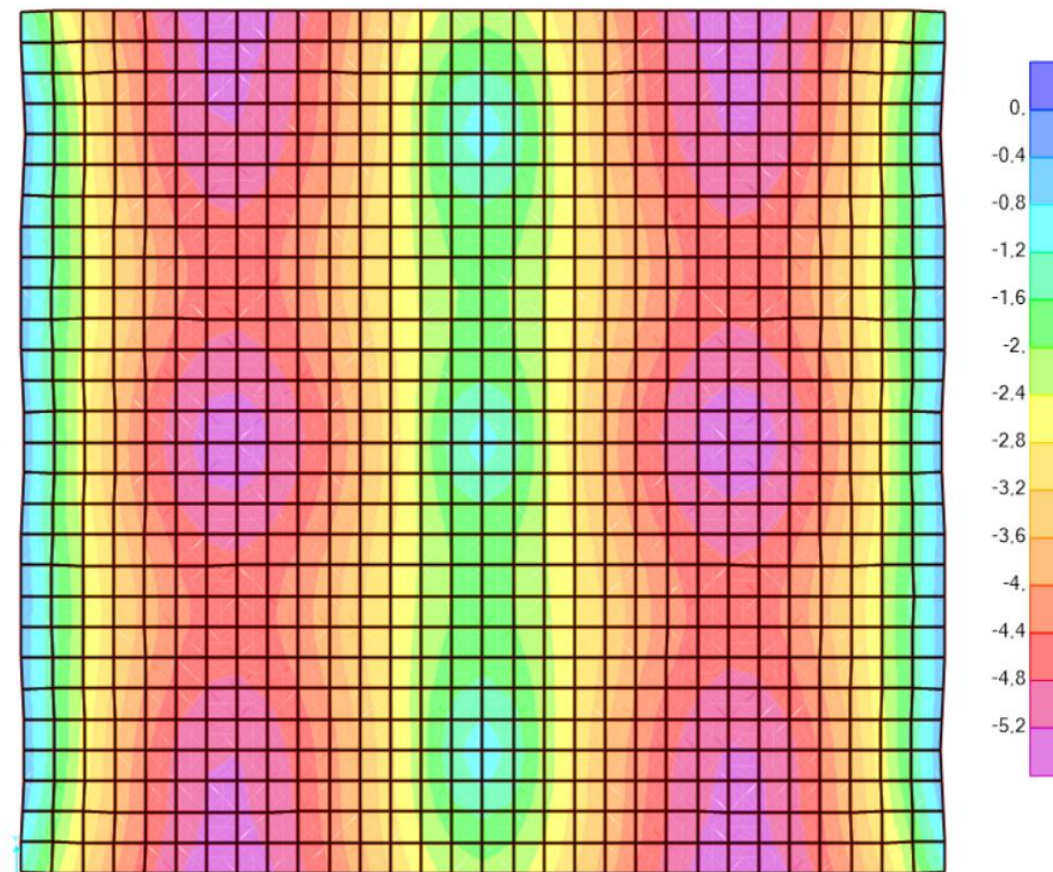
## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A **ETAPA DE CONSTRUÇÃO**

$$\text{Limite} = L/250 = 7500/250 = 30\text{mm} \quad \text{COMB. RARA: } 1,0\text{PP}+1,0\text{CP}+1,0\text{SC}$$



DIA 19 – SEXTA-FEIRA  
CONCRETAGEM DA LAJE PAV3. PESO PRÓPRIO  
LAJE PAV3 E SOBRECARGA DE OBRA DO PAV3.  
RETIRAR SOBRECARGA DE OBRA DO PAV2.  
**MOMENTO CRÍTICO PARA A LAJE PAV1**

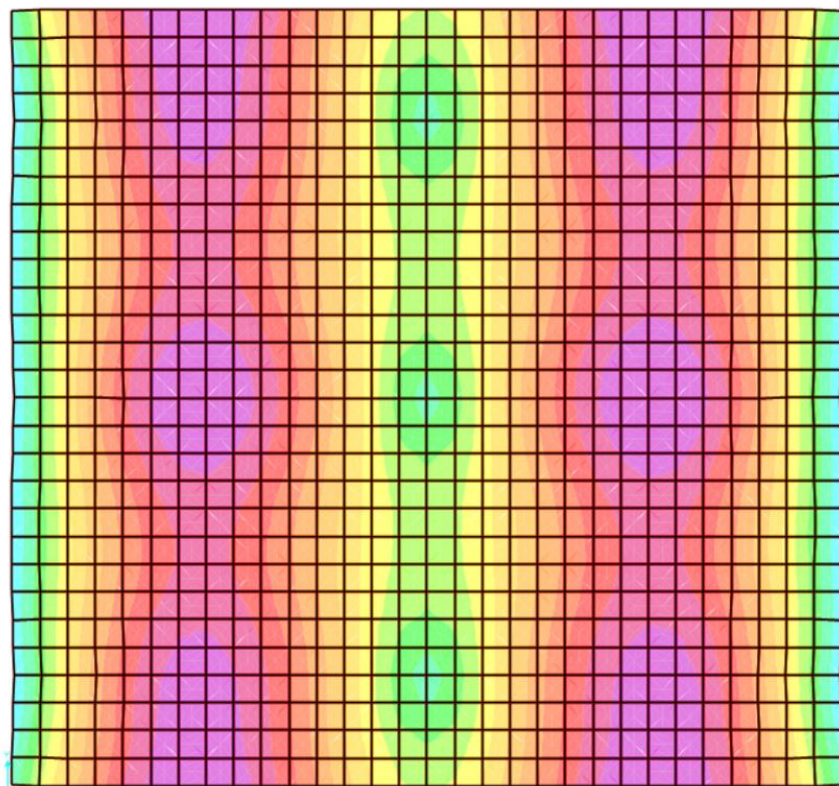


FLECHAS (mm) DA LAJE DO PAV1 PAVIMENTO, NO  
DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)

## RESULTADOS

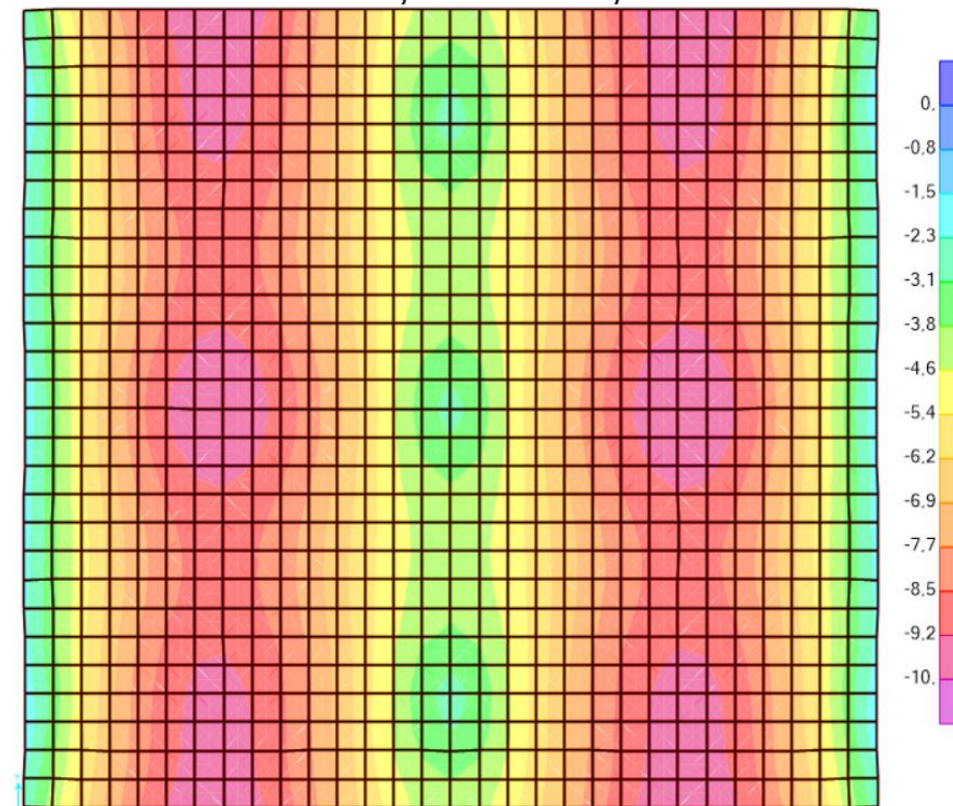
- VERIFICAÇÃO DAS FLECHAS DA **LAJE PROTENDIDA** DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO**

$$\text{Limite} = L/250 = 7500/250 = 30\text{mm}$$



FLECHAS (mm) DA LAJE DO **PAV1**, NO DIA DA APLICAÇÃO DAS CARGAS SC+CP (DIA 92)

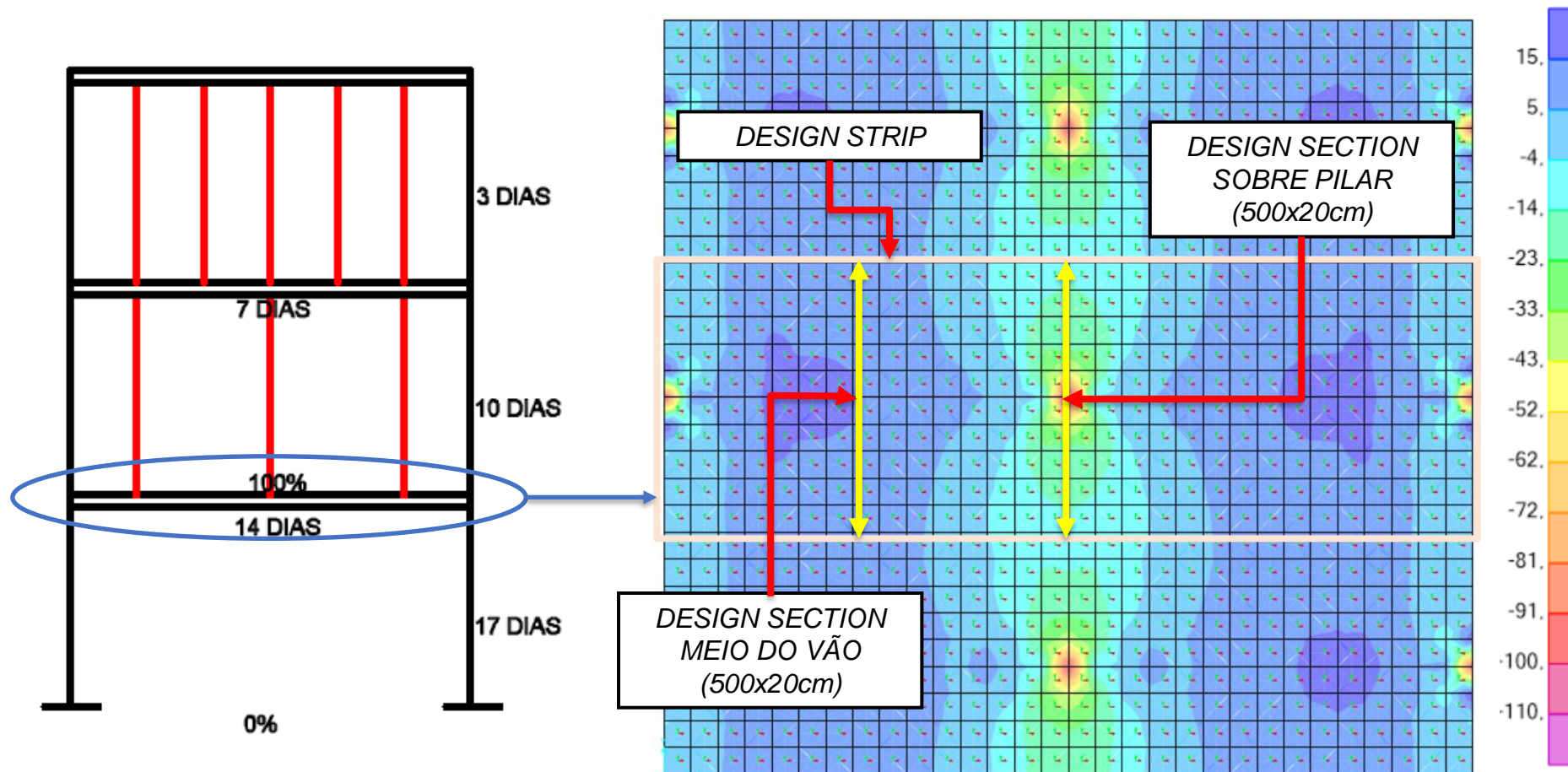
$$\text{Limite} = L/250 = 7500/250 = 30\text{mm}$$



FLECHAS (mm) DA LAJE DO **PAV1**, NO TEMPO INFINITO

## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A ETAPA DE CONSTRUÇÃO



MOMENTO FLETOR EM X (kNm/m) DO **PAV1**, NO DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)

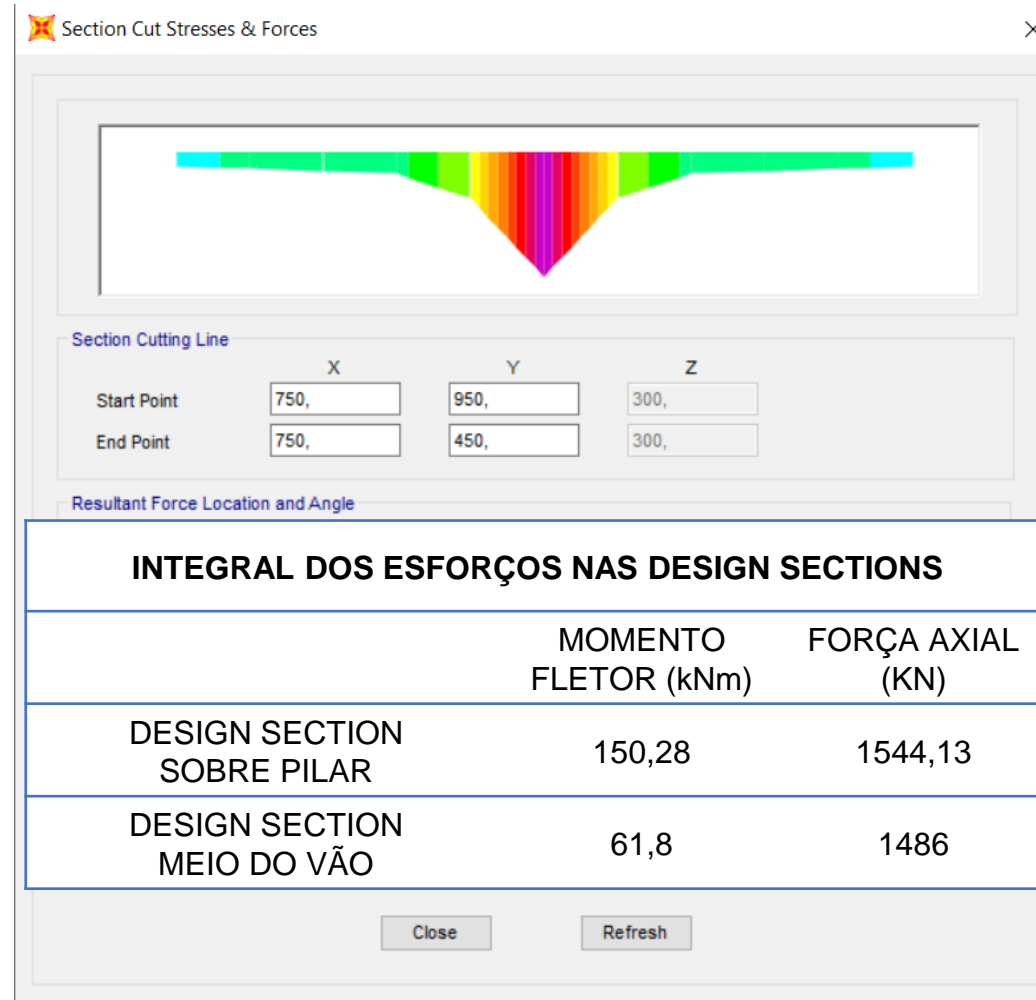
## RESULTADOS

### • VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A ETAPA DE CONSTRUÇÃO

- $f_{ck_{14}} = 32 \text{ MPa}$
- $f_{ctk,lim} = 0,315 \cdot (f_{ckj})^{\frac{2}{3}}$
- $f_{c,lim} = 0,6f_{ckj}$

DESIGN SECTION MEIO DO VÃO	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	0,4	3,18	14%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-3,3	-19,2	17%

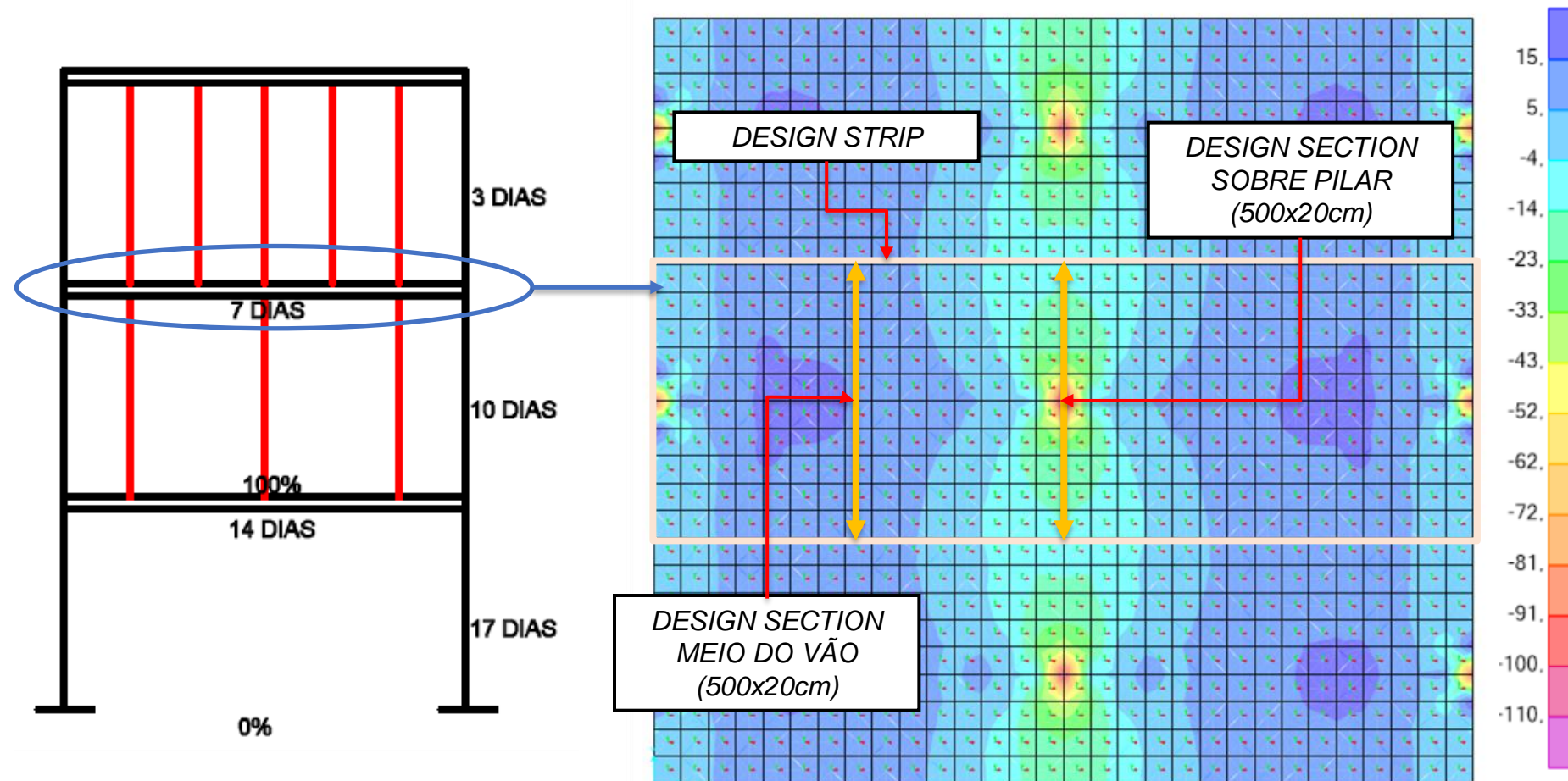
DESIGN SECTION SOBRE PILAR	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	3,0	3,18	93%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-6,1	-19,2	32%





## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A **ETAPA DE CONSTRUÇÃO**



MOMENTO FLETOR EM X (kNm/m) DO **PAV2**, NO DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)

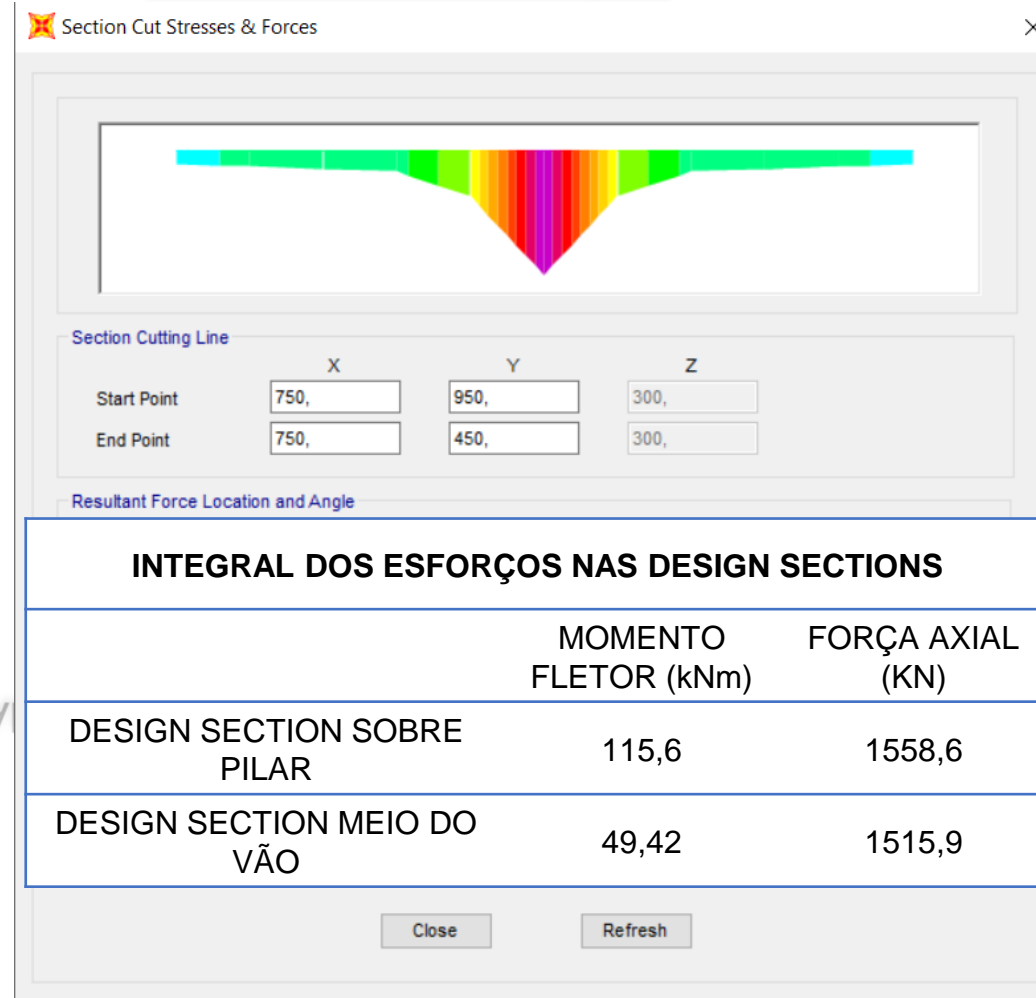
## RESULTADOS

### • VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A ETAPA DE CONSTRUÇÃO

- $f_{ck7} = 27 \text{ MPa}$
- $f_{ctk,lim} = 0,315 \cdot (f_{ckj})^{\frac{2}{3}}$
- $f_{c,lim} = 0,6f_{ckj}$

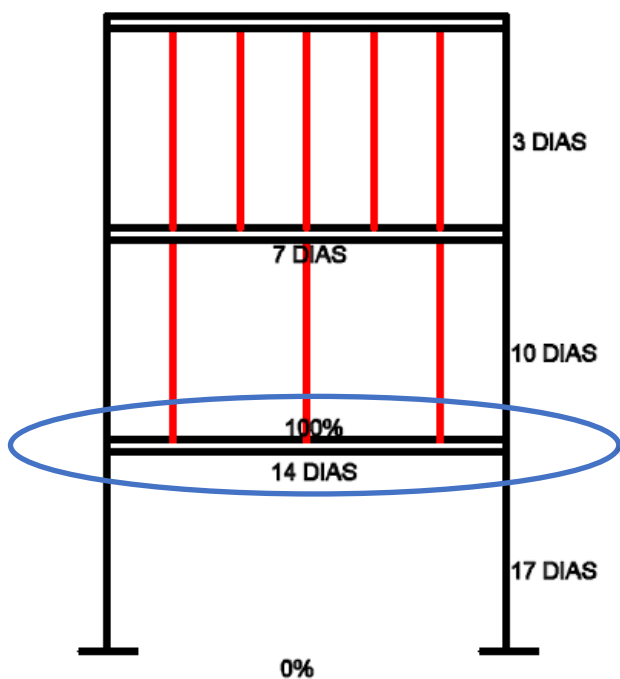
DESIGN SECTION MEIO DO VÃO	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	0,0	2,84	0%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-3,0	-16,2	18,5%

DESIGN SECTION SOBRE PILAR	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	1,9	2,84	67%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-5,0	-16,2	31%



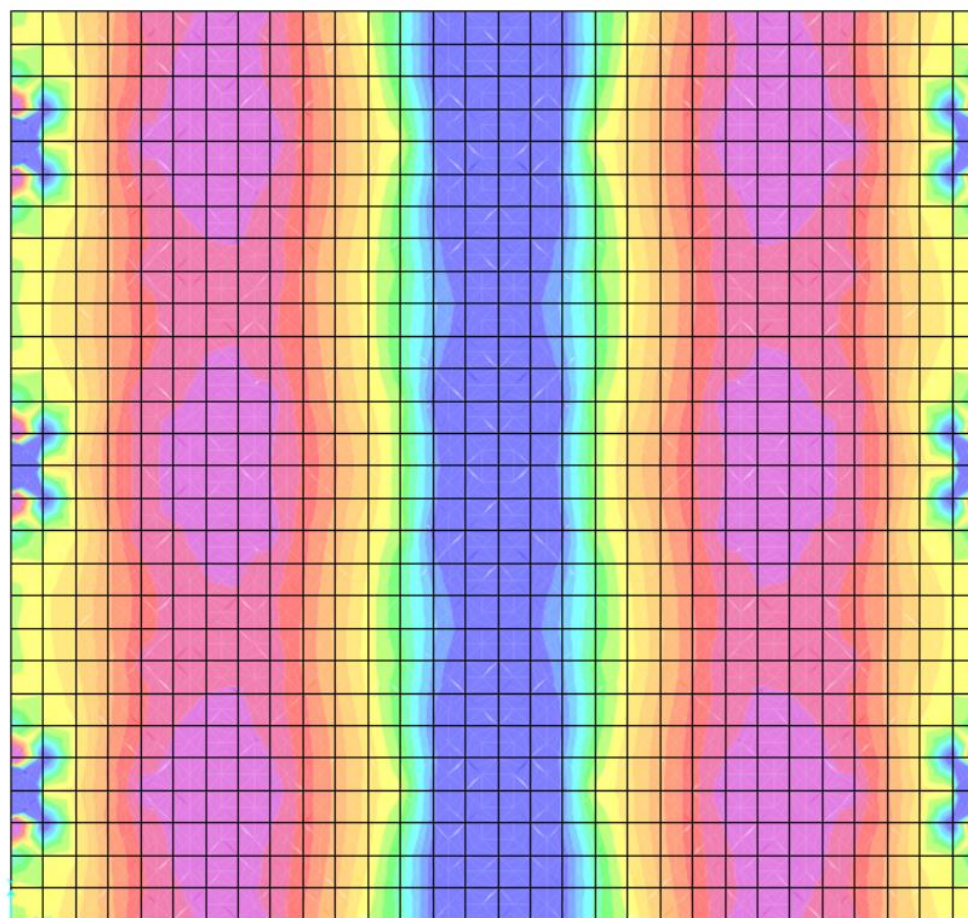
## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA **LAJE DE CONCRETO ARMADO** DURANTE A **ETAPA DE CONSTRUÇÃO**

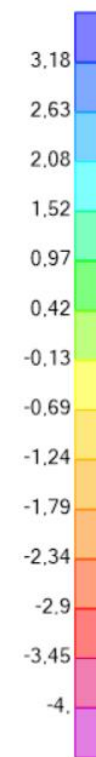


- $f_{ck_{14}} = 32 \text{ MPa}$

- $f_{ctk,lim} = 0,315 \cdot (f_{ckj})^{\frac{2}{3}} = 3,18 \text{ MPa}$



TENSÕES NA FACE SUPERIOR DA LAJE EM X(MPa) DO **PAV1**, NO DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)



EM AZUL = TRECHOS DA LAJE COM TENSÃO DE TRAÇÃO ACIMA DO LIMITE

LAJE FISSURADA NA ETAPA DE CONSTRUÇÃO

NÃO ATENDE AOS CRITÉRIOS PRÉ-ESTABELECIDOS

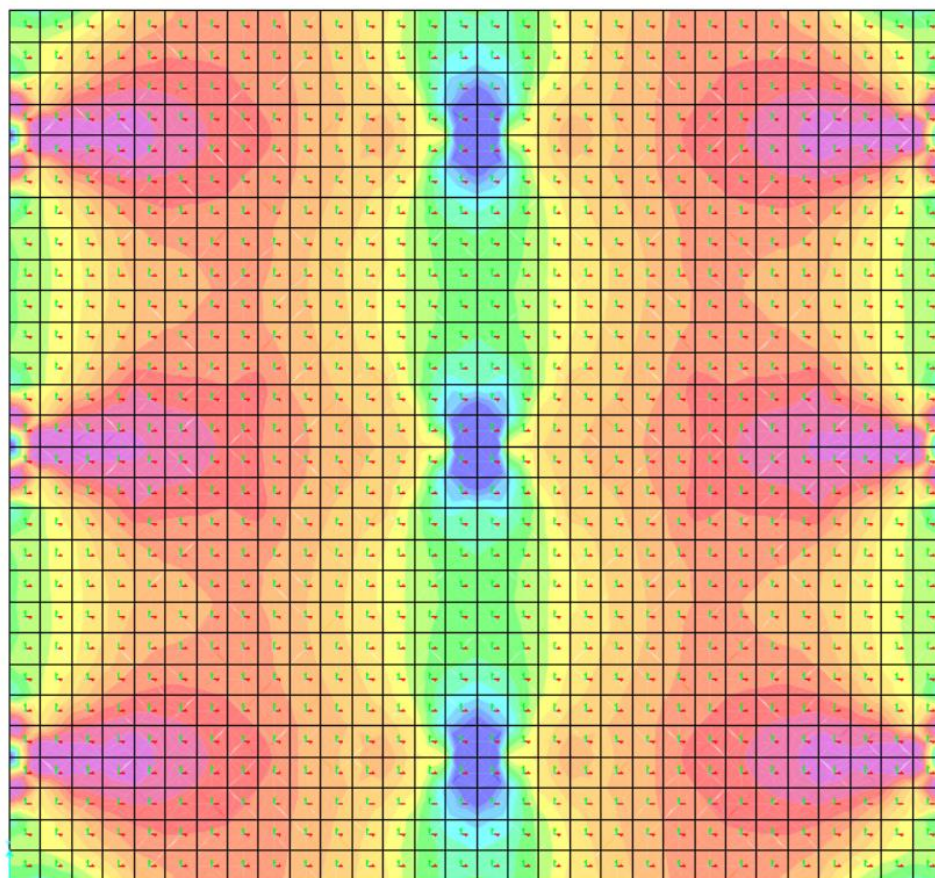
AUMENTAR NÚMERO DE PAVIMENTOS ESCORADOS -

SEGUIR PADRÃO ESTABELECIDO PELA **ABECE**

## RESULTADOS

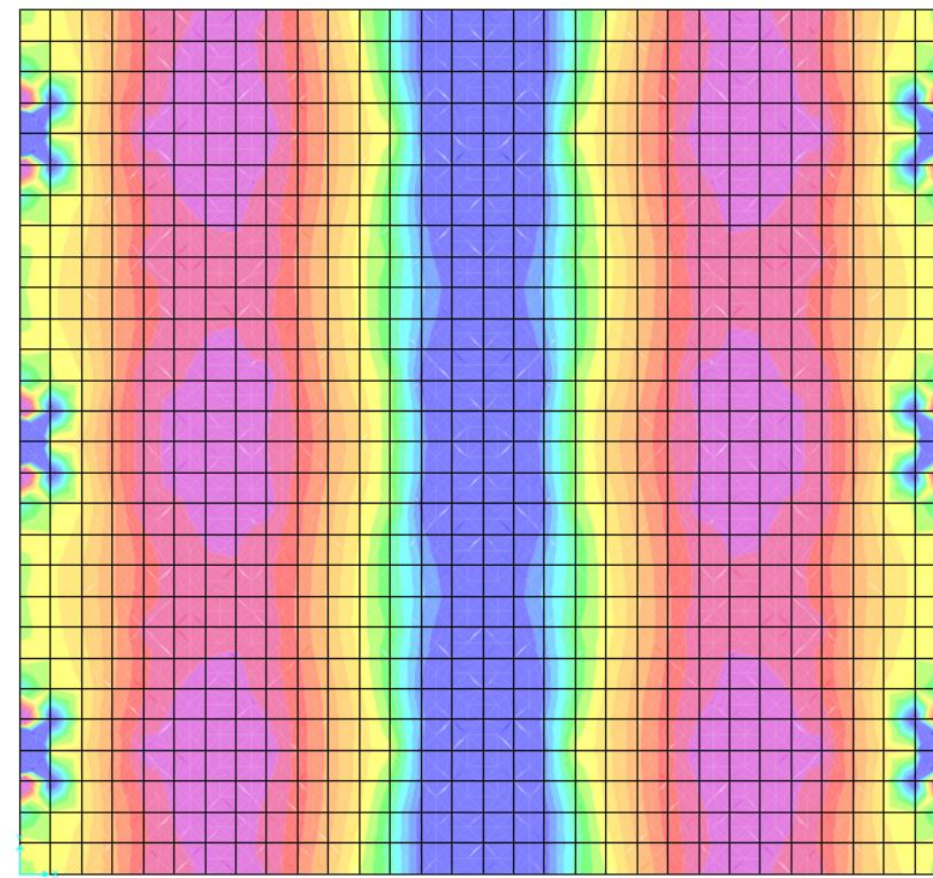
- COMPARAÇÃO DAS TENSÕES DURANTE A ETAPA DE CONSTRUÇÃO

**LAJE PROTENDIDA**



TENSÕES NA FACE SUPERIOR DA LAJE EM X(MPa) DO PAV1, NO DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)

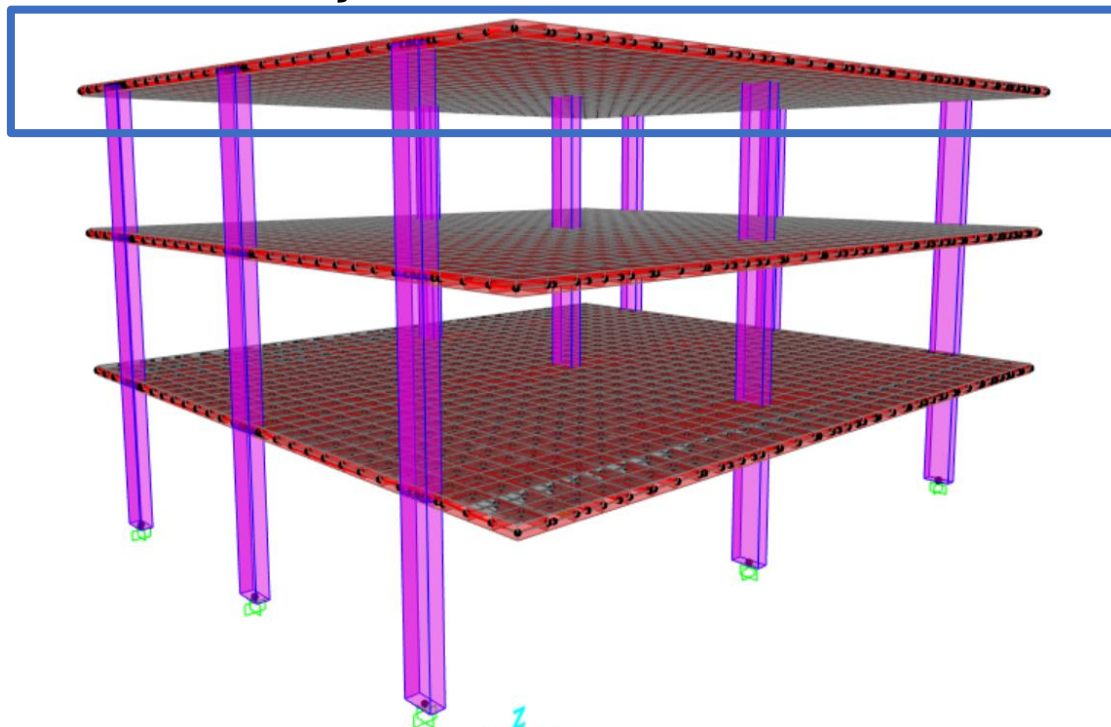
**LAJE DE CONCRETO ARMADO**



TENSÕES NA FACE SUPERIOR DA LAJE EM X(MPa) DO PAV1, NO DIA DA CONCRETAGEM DA LAJE DO PAV3 (DIA 19)

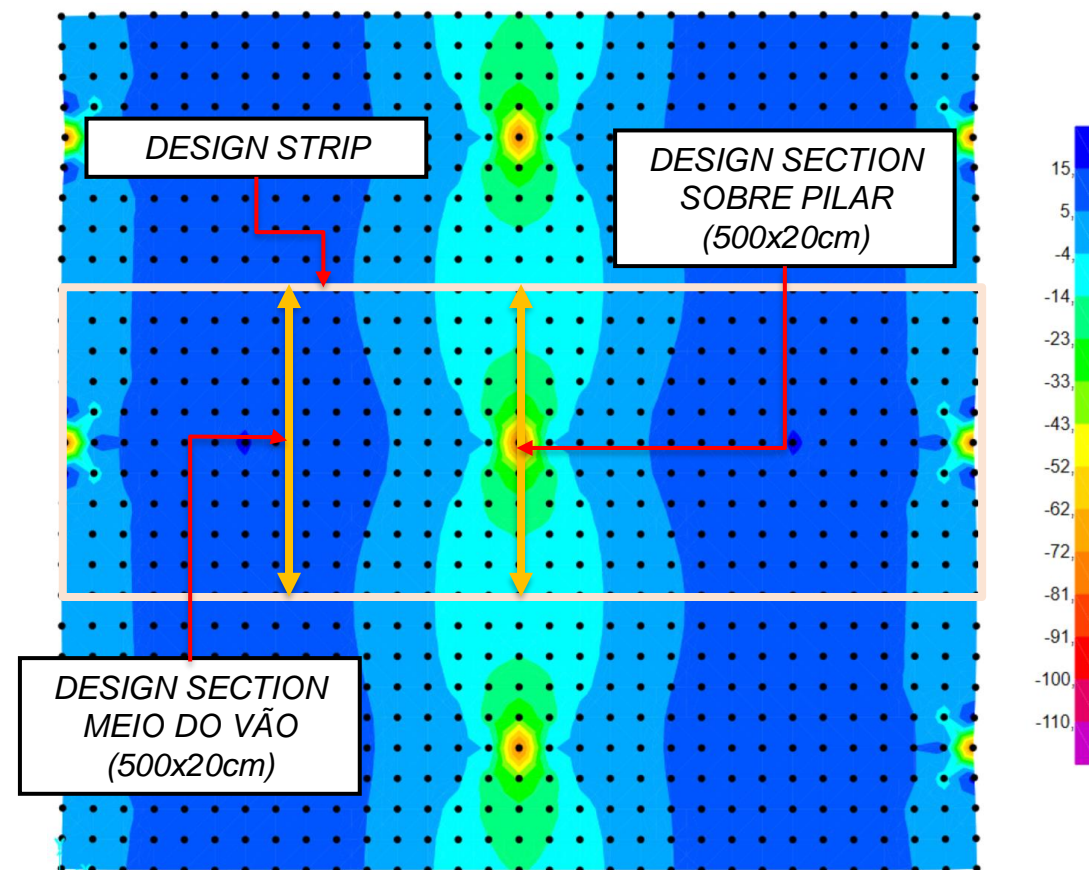
## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO**



- AÇÕES ADOTADAS PARA **ANÁLISE ELU e ELS**
- CARGAS PERMANENTES: 150 kgf/m<sup>2</sup>
- SOBRECARGA DE SERVIÇO: 150 kgf/m<sup>2</sup>
- CARGAS DE ALVENARIA: 400 kgf/m

COMB. FREQ: 1,0PP+1,0CP+0,6SC



MOMENTO FLETOR EM X (kNm/m) DO **PAV3**, NO DIA DA APLICAÇÃO DAS CARGAS SC+CP (DIA 92)

## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO**

- $f_{ck_{28}} = 35 \text{ MPa}$

- $f_{ctk,lim} = 0,315 \cdot (f_{ckj})^{\frac{2}{3}} = 3,37 \text{ MPa}$

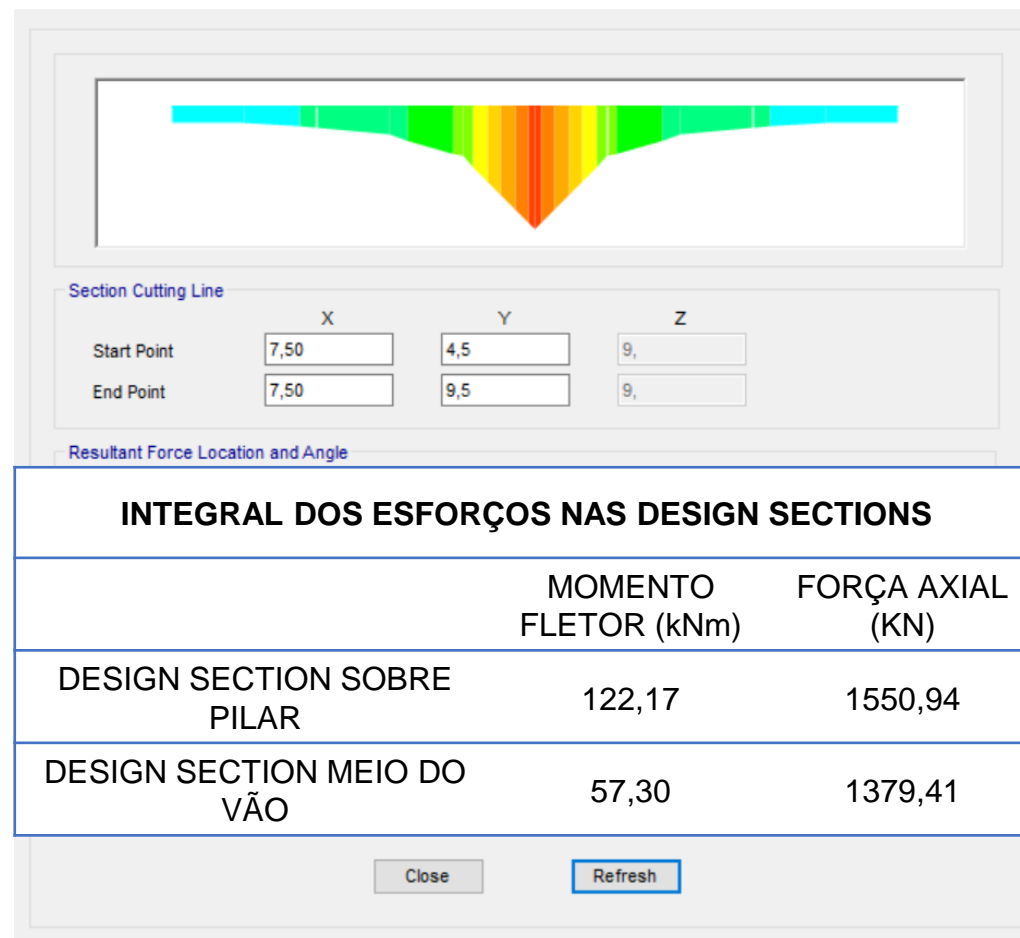
- $f_{c,lim} = 0,6 \cdot f_{ckj} = 21 \text{ MPa}$

DESIGN SECTION MEIO DO VÃO	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	0,3	3,37	9%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-3,1	-21	15%

DESIGN SECTION SOBRE PILAR	SOLICITANTE	LIMITE	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	2,1	3,37	62%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-5,2	-21	25%

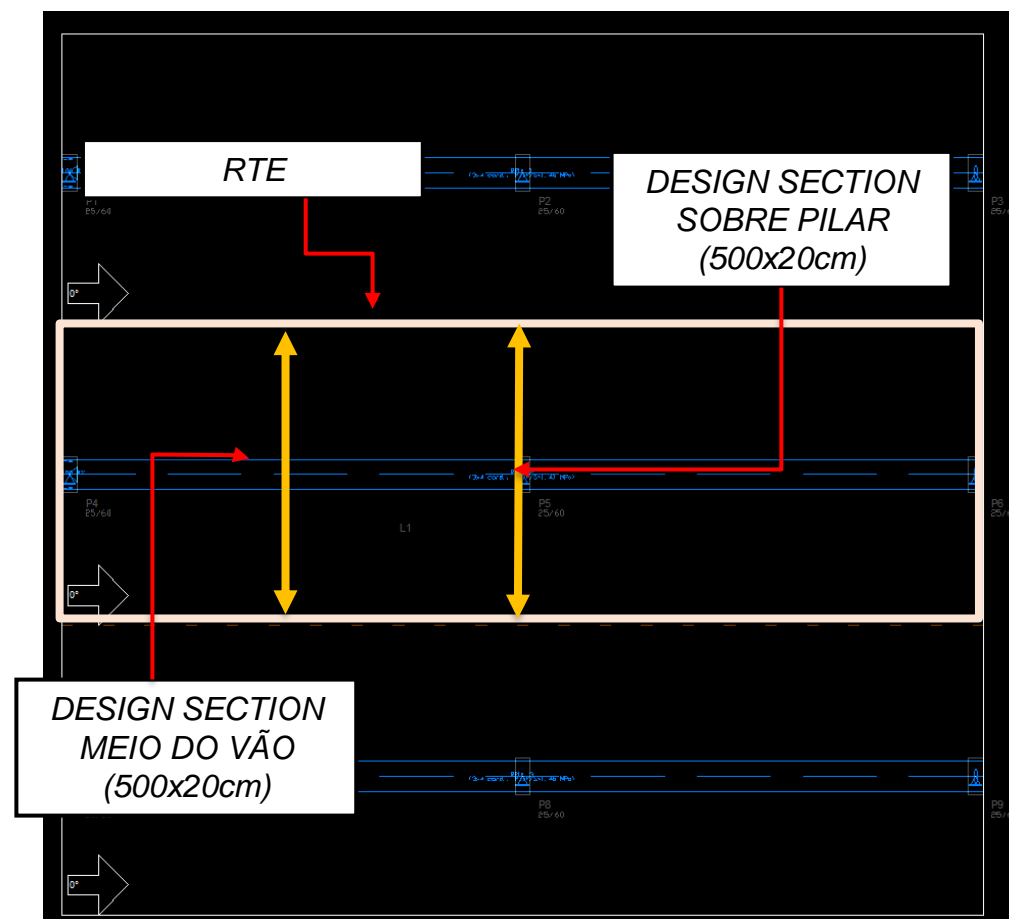
COMB. FREQ: 1,0PP+1,0CP+0,6SC

S Section Cut Stresses & Forces



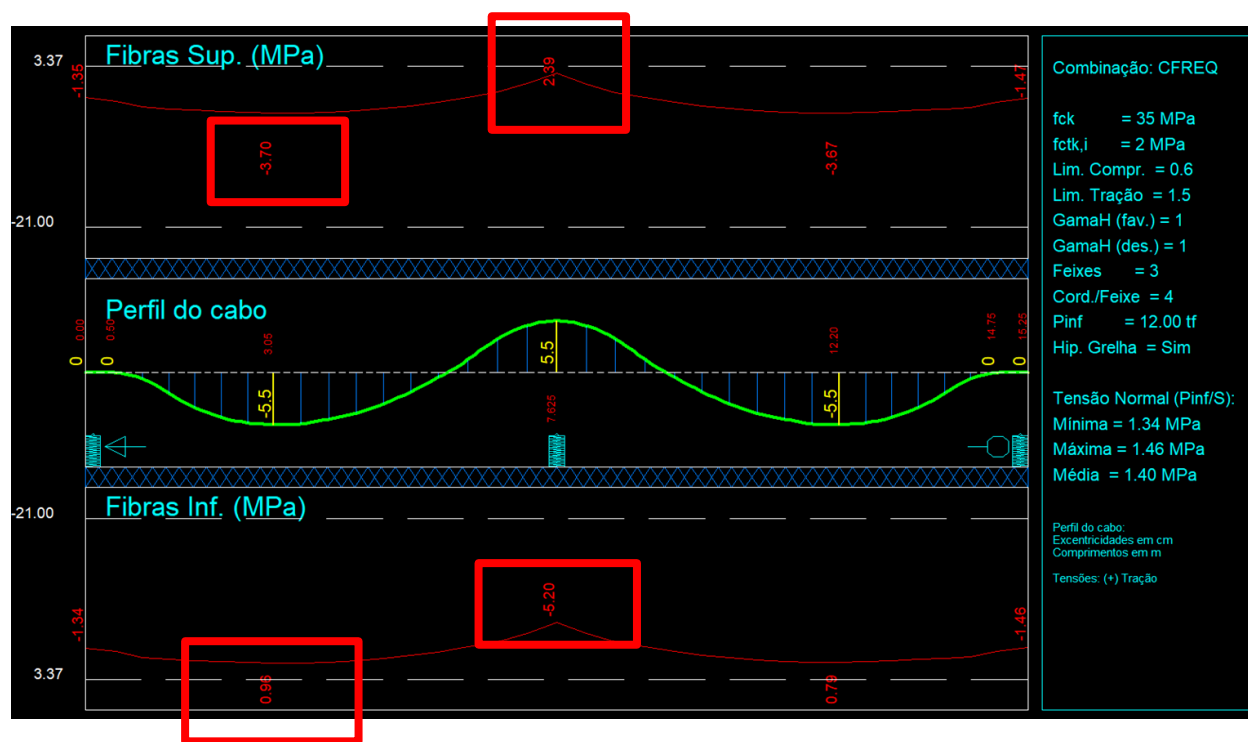
## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA **LAJE PROTENDIDA** DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO**



## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS TENSÕES DA LAJE PROTENDIDA DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO**



DESIGN SECTION MEIO DO VÃO	SOLICITANTE SAP2000	SOLICITANTE TQS	PORCENTAGEM SAP/TQS
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	0,3	0,96	32%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-3,1	-3,70	84%

DESIGN SECTION SOBRE PILAR	SOLICITANTE SAP2000	SOLICITANTE TQS	PORCENTAGEM
TENSÃO MÁXIMA DE TRAÇÃO (MPa)	2,1	2,39	88%
TENSÃO MÁXIMA DE COMPRESSÃO (MPa)	-5,20	-5,20	100%



## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES DA **LAJE PROTENDIDA** DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO (90 DIAS)**

**COMB. DEF.DIF: 1,05.(PP-PROT)+1,3.CP < 10 mm**

DEFORMAÇÃO OBTIDA (MODELO LINEAR ELÁSTICO) = 3,62mm

DEFORMAÇÃO OBTIDA (MODELO ANÁLISE INCREMENTAL) = 3,3mm

Para o cálculo da flecha diferida, será utilizada a tabela 17.1 da ABNT NBR 6118:2014,

Considerando que o desescoramento 100% será realizado após 10 dias ( $t_i=0,23$  meses),  $\xi_{t_i=0,23} = 0,25$ .

Supondo que os pisos e alvenarias sejam executados 90 dias pós a concretagem, temos  $t_f = 3$  meses, ou seja,  $\xi_{t_f} = 0,95$ .

Portanto,  $\Delta\xi = \xi_{t_f} - \xi_{t_i} = 0,95 - 0,25 = 0,7$ .

Fator de redução  $\psi_1 = 0,6$  para ações acidentais (edifício comercial).

**COMB. DEF. (90 dias):**

$(1+0,7).(PP-PROT)+CP+0,6SC$

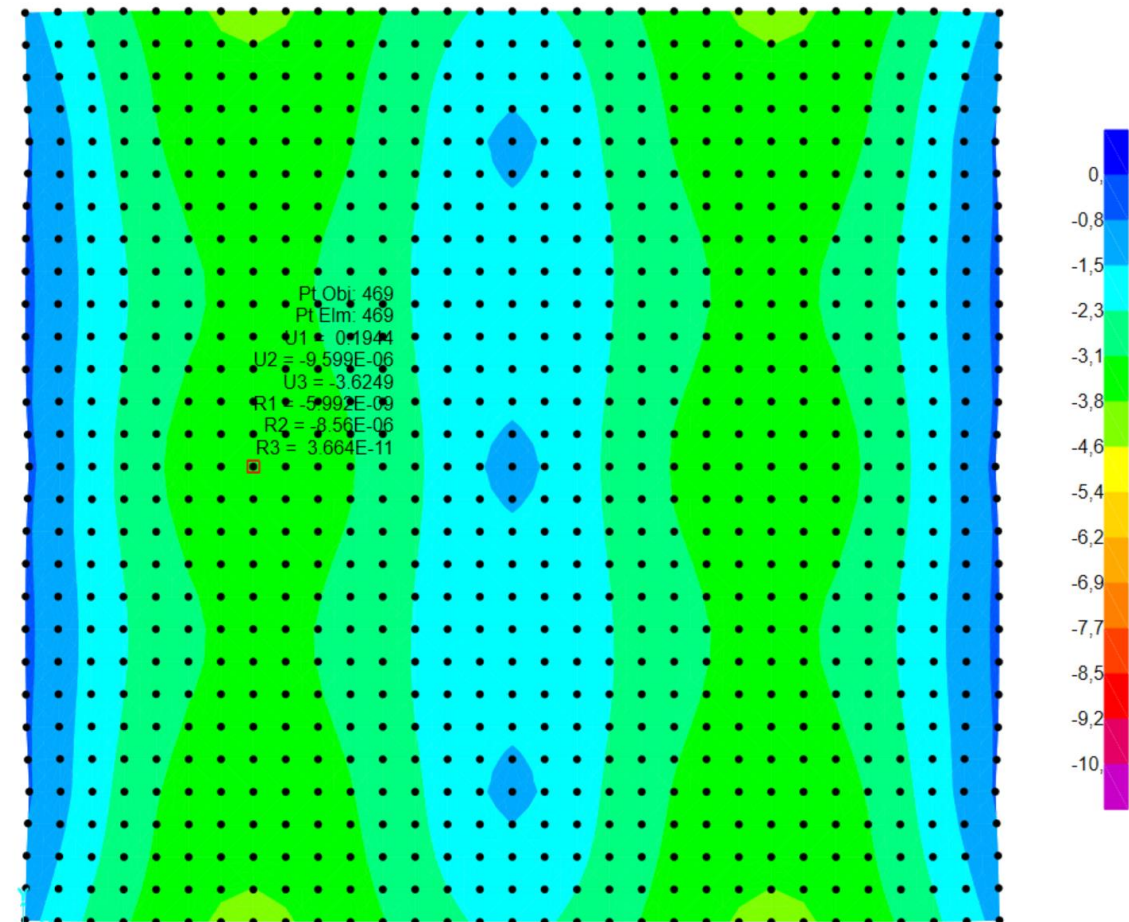
$(1,7).(PP-PROT)+CP+0,6SC$

**COMB. DEF. (70 meses):**  $(1+(2-0,25)).(PP-PROT)+(1+(2-0,7)).CP+0,6SC$

$2,75.(PP-PROT)+2,3.CP+0,6SC$

**COMB. DEF.DIF: DEF. (70 meses) - DEF. (90 dias) < 10 mm**

$1,05.(PP-PROT)+1,3.CP < 10$  mm (ALVENARIAS)



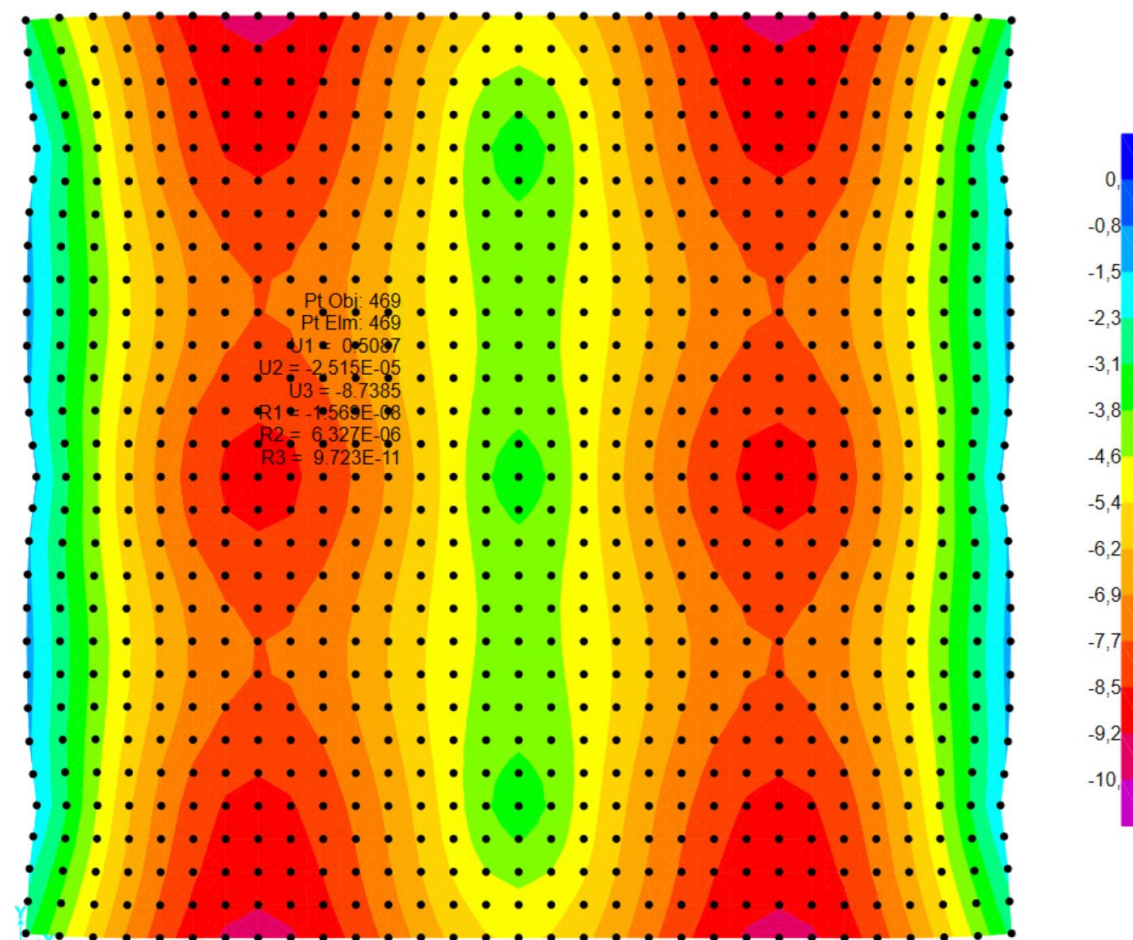
## RESULTADOS

- VERIFICAÇÃO DAS DEFORMAÇÕES DA **LAJE PROTENDIDA** DURANTE A **ETAPA DE SERVIÇO (70 meses)**

**COMB. DEF.LENTA: 2,75(PP-PROT) +2,3.CP+0,6SC < L/250**

DEFORMAÇÃO OBTIDA (MODELO LINEAR ELÁSTICO) = 8,74mm

DEFORMAÇÃO OBTIDA (MODELO ANÁLISE INCREMENTAL) = 9,8mm



## RESULTADOS

- COMPARAÇÃO DOS CUSTOS COM ESCORAMENTO

### LAJE PROTENDIDA

2 PAVIMENTOS ESCORADOS - LAJE PROTENDIDA - CUSTO DE ESCORAMENTO - CICLO DE CONCRETAGEM DE 7 DIAS			
	DIAS	CUSTO/DIA/m <sup>2</sup>	CUSTO/m <sup>2</sup>
ESCORAMENTO 100%	7	R\$ 3,50	R\$ 24,50
ESCORAMENTO 50%	7	R\$ 1,25	R\$ 8,75
TOTAL			<b><u>R\$ 33,25</u></b>

### LAJE DE CONCRETO ARMADO

4 PAVIMENTOS ESCORADOS - CUSTO DE ESCORAMENTO - LAJE CONCRETO ARMADO - CICLO DE CONCRETAGEM DE 7 DIAS			
	DIAS	CUSTO/DIA/m <sup>2</sup>	CUSTO/m <sup>2</sup>
ESCORAMENTO 100%	7	R\$ 3,50	R\$ 24,50
ESCORAMENTO 100%	7	R\$ 2,50	R\$ 17,50
ESCORAMENTO 50%	7	R\$ 1,25	R\$ 8,75
ESCORAMENTO 25%	7	R\$ 0,63	R\$ 4,38
TOTAL			<b><u>R\$ 55,13</u></b>

LAJE PROTENDIDA  
LAJE DE CONCRETO ARMADO

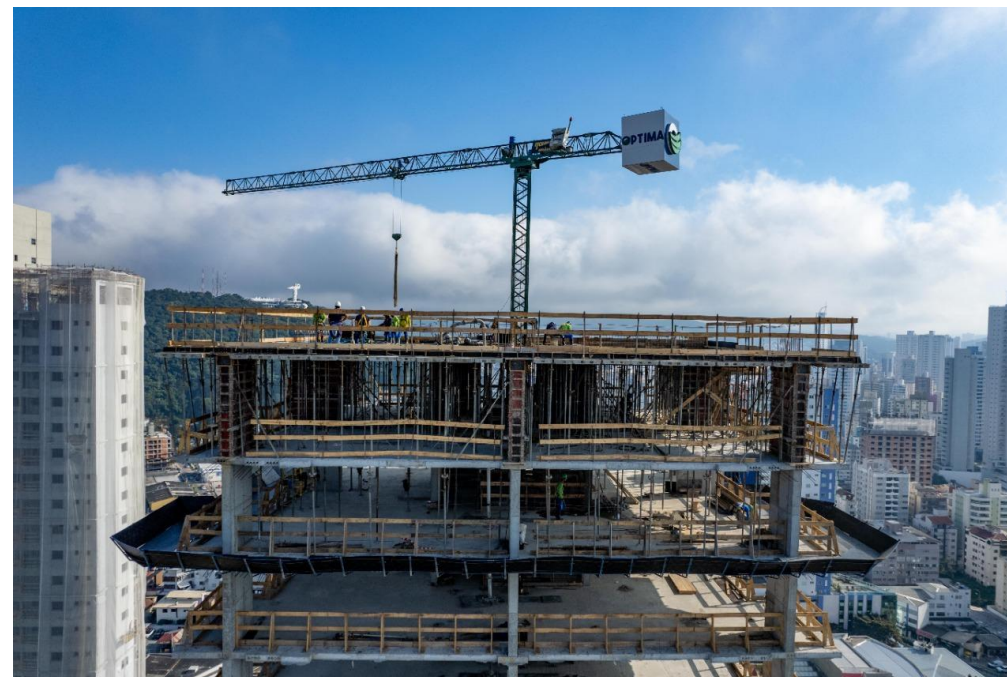
**40 % DE ECONOMIA  
NO ESCORAMENTO**

## LAJE DE CONCRETO ARMADO



<https://www.ulmaconstruction.com.br/pt-br/formas-e-escoramentos/escoras-torres-escoramento>

## LAJE PROTENDIDA



Créditos: Optima Estrutural

LAJE PROTENDIDA  
LAJE DE CONCRETO ARMADO →

**40 % DE ECONOMIA**  
**NO ESCORAMENTO**

## ESTUDOS FUTUROS

- APLICAÇÃO DO ESTUDO EM TIPOLOGIAS REAIS DE PROJETO E VERIFICAÇÃO DOS LIMITES MÁXIMOS DA PROPOSTA.
- ESTUDO PARAMÉTRICO ATRAVÉS DE PROGRAMAÇÃO (API SAP2000).
  - VARIAÇÃO DO PÉ DIREITO.
  - VARIAÇÃO DOS VÃOS.
  - VARIAÇÃO DO  $F_{ck}$ .
  - VARIAÇÃO DAS DIMENSÕES DE LAJE E PILARES.
  - VARIAÇÃO DA QUANTIDADE DE PAVIMENTOS.
  - ENTRE OUTROS.
- ENSAIOS LABORATORIAIS E *IN LOCO* NA OBRA UTILIZANDO CÉLULAS DE CARGA NAS ESCORAS PARA VALIDAÇÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ATRAVÉS DA ANÁLISE COMPUTACIONAL.