

## LAUDO TÉCNICO 2023 – ANEXO TEATRO IA - UNICAMP

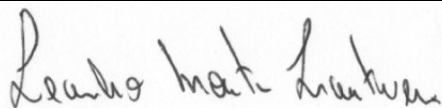
*“O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do autor e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem”*



ELABORADO POR:



**Luiz Carlos de Almeida**  
**ENGENHEIRO CIVIL, CREA 67.956/D**  
**DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL**



**Leandro Mouta Trautwein**  
**ENG. CIVIL, CREA 9012/D**  
**DOUTOR EM ENGENHARIA CIVIL**



**Marcos Alves da Silva**  
**ENG. CIVIL – CREA**  
**Doutorando em Engenharia Civil**

**Campinas, 05 de janeiro de 2023.**

## ÍNDICE

1.	INTERESSADO .....	5
2.	LOCAL.....	5
3.	OBJETIVO .....	5
4.	CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	5
4.1.	INTRODUÇÃO .....	5
4.2.	DESCRIÇÃO DO EDIFÍCIO .....	6
4.3.	DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS REALIZADOS .....	12
5.	PATOLOGIAS .....	17
5.1.	INTRODUÇÃO .....	17
5.2.	APRESENTAÇÃO DAS TRINCAS NA PAREDE PAR01E LAJE DA COBERTURA .....	17
5.3.	INVESTIGAÇÃO DESTRUTIVA NA PAREDE PAR01 .....	27
5.4.	INVESTIGAÇÃO NÃO DESTRUTIVA NA PAREDE PAR01 .....	30
5.1.1.	Ensaio de Esclerometria.....	30
5.1.2.	Ultrassom indireto .....	31
5.1.3.	Resistividade elétrica superficial do concreto.....	32
5.1.4.	Potencial de corrosão .....	33
5.1.5.	Resultados dos ensaios .....	34
5.5.	ESQUEMA DAS ARMADURAS DA PAR01 E DO P04 AS BUILT .....	38
6.	MODELO ESTRUTURAL DO ANEXO AO TEATRO DO IA.....	39
6.1.	CÁLCULO DOS CARREGAMENTOS .....	40
6.2.	CONDIÇÕES DE CONTORNO .....	41
6.3.	MALHA DE ELEMENTOS FINITOS .....	43
6.4.	MODELO CONSTITUTIVO .....	43
6.5.	RESULTADOS .....	45
6.6.	MODELO CONSTRUÍDO - "AS-BUILT" .....	46
6.7.	MODELO COM INSERÇÃO DE DOIS PILARES SOB VIGAS PAREDES PA01 E PAR35 .....	50
7.	CONCLUSÕES.....	53
8.	INTERVENÇÕES E RECOMENDAÇÕES .....	55
9.	OBSERVAÇÃO IMPORTANTE .....	61
10.	REFERÊNCIAS CONSULTADAS .....	62
11.	ANEXOS - DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO.....	64
12.	ANEXOS – DETALHE DAS PLACAS DE BASE DOS PILARES CA1 E CA2.....	74

## ÍNDICE DAS FIGURAS

Figura 1 – Croqui de localização dos módulos. ....	5
Figura 2 – Vista lateral dos dois blocos – Teatro e acesso ao Teatro. ....	6
Figura 3 – Corte esquemático do prédio de acesso ao Teatro. ....	7
Figura 4 – Forma do pavimento térreo do prédio de acesso ao Teatro. ....	7
Figura 5 – Forma do 1º pavimento do prédio de acesso ao Teatro. ....	8
Figura 6 – Vista lateral do bloco de acesso ao Teatro. ....	8
Figura 7 – Identificação dos responsáveis técnicos pelos projetos estruturais. ....	9
Figura 8 – Identificação dos responsáveis técnicos pelos projetos estruturais. ....	9
Figura 9 – Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra. ....	10
Figura 10 – Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra. ....	11
Figura 11 – Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra. ....	12
Figura 12 – Vista externa da parede PAR01 com a trinca. ....	13
Figura 13 – Vista interna da parede PAR01 com a trinca de grande abertura. ....	14
Figura 14 – Armação da parede PAR01 (esquerda) e do pilar P04 (direita). ....	15
Figura 15 – Detalhe do escoramento realizado nas paredes PAR01 e PAR35. ....	15
Figura 16 – Detalhe da cobertura, da trinca na parede PAR01, obtidas pelo drone. ....	16
Figura 17 – Vista interna à esquerda e externa a direita, da parede PAR01. ....	18
Figura 18 – Vista de trecho da parede PAR01 (esquerda) e detalhe ampliado a direita. ....	19
Figura 19 – Vista de um trecho da parede PAR01 com a trinca principal e uma secundária. ....	19
Figura 20 – Vista interna de trechos parede PAR01, com as trincas principal e a secundária. ....	20
Figura 21 – Vista interna da parede PAR01, com deslocamento lateral de 2,50cm. ....	21
Figura 22 – Vista interna da parede PAR01, com deslocamento lateral de 2,50cm. ....	22
Figura 23 – Vista de trecho da parede PAR01 acima da laje com inúmeras barras rompidas por tração. ....	23
Figura 24 – Vista interna da parede PAR01, com duas fissuras, ao lado da trinca principal. ....	24
Figura 25 – Vista superior do encontro das paredes PAR01 e PAR35, com ruína localizada. ....	25
Figura 26 – Vista de um trecho da laje de cobertura, junto a parede PAR01 e PAR36, com trincas em duas direções. ....	26
Figura 27 – Detalhe das duas trincas na laje de cobertura, junto a parede PAR01 e PAR36. ....	26
Figura 28 – Detalhe da realização da incisão no lado interno da parede PAR01. ....	27
Figura 29 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01. ....	27
Figura 30 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01, junto ao pilar P04. ....	28
Figura 31 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01, junto ao pilar P04. ....	29
Figura 32 – Vista interna e croqui da parede PAR01 com as demarcações das áreas. ....	30
Figura 33 – Ensaio de pacometria na parede PAR01. ....	31
Figura 34 – Ensaio de esclerometria na parede PAR01. ....	31
Figura 35 – Calibração do equipamento. ....	32
Figura 36 – Ensaio de ultrassom indireto. ....	32
Figura 37 – Ensaio de resistividade elétrica superficial do concreto. ....	33
Figura 38 – Ensaio de resistividade elétrica superficial do concreto. ....	33
Figura 39 – Gráfico com os resultados do índice esclerométrico. ....	34
Figura 40 – Gráfico com os resultados da velocidade de ultrassom. ....	36

Figura 41 – Gráfico com os resultados da resistividade elétrica superficial. ....	37
Figura 42 – Esquema das armaduras encontradas na obra na união da parede PAR01 e PAR02 com o pilar P04. ....	39
Figura 43 – Croqui da distribuição de cargas da laje de cobertura. ....	41
Figura 44 – Macromodelo e carregamento proveniente da cobertura. ....	42
Figura 45 – Malha de elementos finitos do modelo. ....	43
Figura 46 – Somatório das reações de apoio ao final de cada intervalo. ....	46
Figura 47 – Configuração deformada do modelo "as-built". ....	47
Figura 48 – Curva carga-deslocamento e padrão de fissuração. ....	47
Figura 49 – Evolução da fissuração no pilar P04. ....	48
Figura 50 – Escoamento da armadura no pilar P04. ....	48
Figura 51 – Reações de apoio dos pilares. ....	49
Figura 52 – Redistribuição de esforços e erros atrelados ao modelo não-linear. ....	49
Figura 53 – Configuração deformada do modelo com adição do novo pilar. ....	50
Figura 54 – Curva carga-deslocamento e padrão de fissuração após a adição do novo pilar. ....	50
Figura 55 – Padrão de fissuração no pilar P04 e parede Par01 após a adição do novo pilar. ....	51
Figura 56 – Tensões nas armaduras no modelo após a adição do novo pilar. ....	51
Figura 57 – Reação dos pilares e erros atrelados ao modelo não-linear após a adição do novo pilar. ....	52
Figura 58 – Croqui com estacas de reforço da fundação para a inserção de dois novos pilares. ...	56
Figura 59 – Croqui da PAR01 com a inserção de pilar de reforço. ....	57
Figura 60 – Croqui da PAR35 com a inserção de pilar de reforço. ....	58
Figura 61 – Croqui com a inserção de dois pilares de reforço. ....	58
Figura 62 – Croqui de regularização da parede e injeção de epóxi na trinca. ....	59
Figura 63 – Esquema de reforço da viga parede PAR01 e pilar P04 com fibra de carbono. ....	59
Figura 64 – Croqui com corte e vista superior do reforço da PAR01 e pilar P4 com fibra de carbono. ....	60
Figura 65 – Esquema de reforço da laje cobertura com fibra de carbono. ....	60

# LAUDO TÉCNICO 2023 - ANEXO TEATRO IA UNICAMP

*“O conteúdo e as conclusões aqui apresentados são de responsabilidade exclusiva do autor e não representam a opinião da Universidade Estadual de Campinas nem a comprometem”*

## 1. INTERESSADO

Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Diretoria Executiva de Planejamento Integrado - DEPI

A/C Tecgº Lucas Oriolo da DEPI

## 2. LOCAL

Rua Elis Regina, 50 – Quadra 16, conforme mostrado na Figura 1.

Cidade Universitária Zeferino Vaz – Distrito Barão Geraldo Campinas – SP, Brasil.

Código da Obra: IA-Teatro.



Figura 1 – Croqui de localização dos módulos.

## 3. OBJETIVO

Investigar as causas que deram origem a falha estrutural (trincas de grande abertura) localizadas na parede lateral do Prédio de acesso principal ao Teatro Laboratório do Instituto de Artes da UNICAMP, avaliar as condições estruturais e propor soluções para os problemas estruturais encontrados.

## 4. CONSIDERAÇÕES GERAIS

### 4.1. Introdução

O trabalho foi realizado atendendo a solicitação do Tecgº Lucas Oriolo da DEPI, o qual apresentou o problema estrutural na parede lateral do Anexo do Teatro do IA. Foram também disponibilizados colaboradores para fazer o acompanhamento da inspeção visual e os devidos registros fotográficos.

## 4.2. Descrição do edifício

Trata-se de um edifício concebido em dois módulos – (i) módulo principal: Teatro e (ii) módulo Anexo: prédio de acesso ao Teatro, composto de 3 pavimentos, mezanino, cobertura geral e um subsolo, conforme mostram as Figura 2, Figura 3, Figura 4, Figura 5 e Figura 6.

A grande parte da estrutura do Teatro (módulo principal) e do prédio de acesso (módulo Anexo) é em concreto armado, com lajes maciças para os pisos (apoiados em vigas de concreto). Porém, no pavimento cobertura, a laje é composta por uma pré-laje protendida alveolar com capa de concreto executado em obra, esta apoiada em treliças metálicas. O fechamento dos módulos foi executado com paredes de concreto armado com 25cm de espessura. A maioria das vigas, na parte interna, está apoiada em pilares também de concreto armado. A fundação foi executada em blocos de concreto armado sobre estacas, com vigas baldrame.

Completando a estrutura do Teatro e do Anexo, foram projetados elementos metálicos de apoio, como pilares e tirantes que são de extrema importância para o equilíbrio e estabilidade estrutural.

A cobertura foi projetada em estrutura metálica para receber telhas com isolamento térmico e acústico, e também algumas estruturas internas auxiliares foram executadas em elementos metálicos.

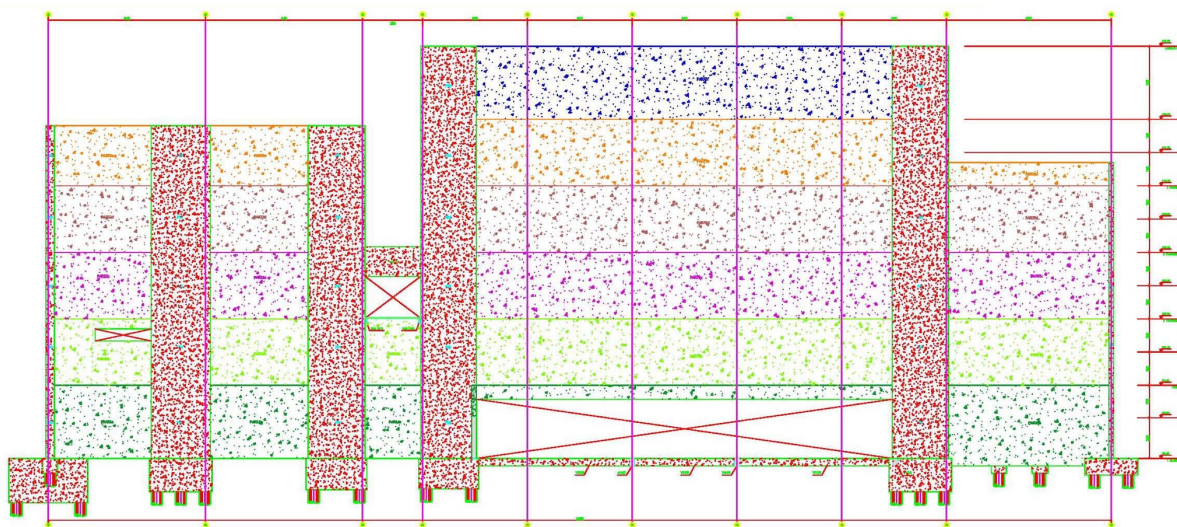
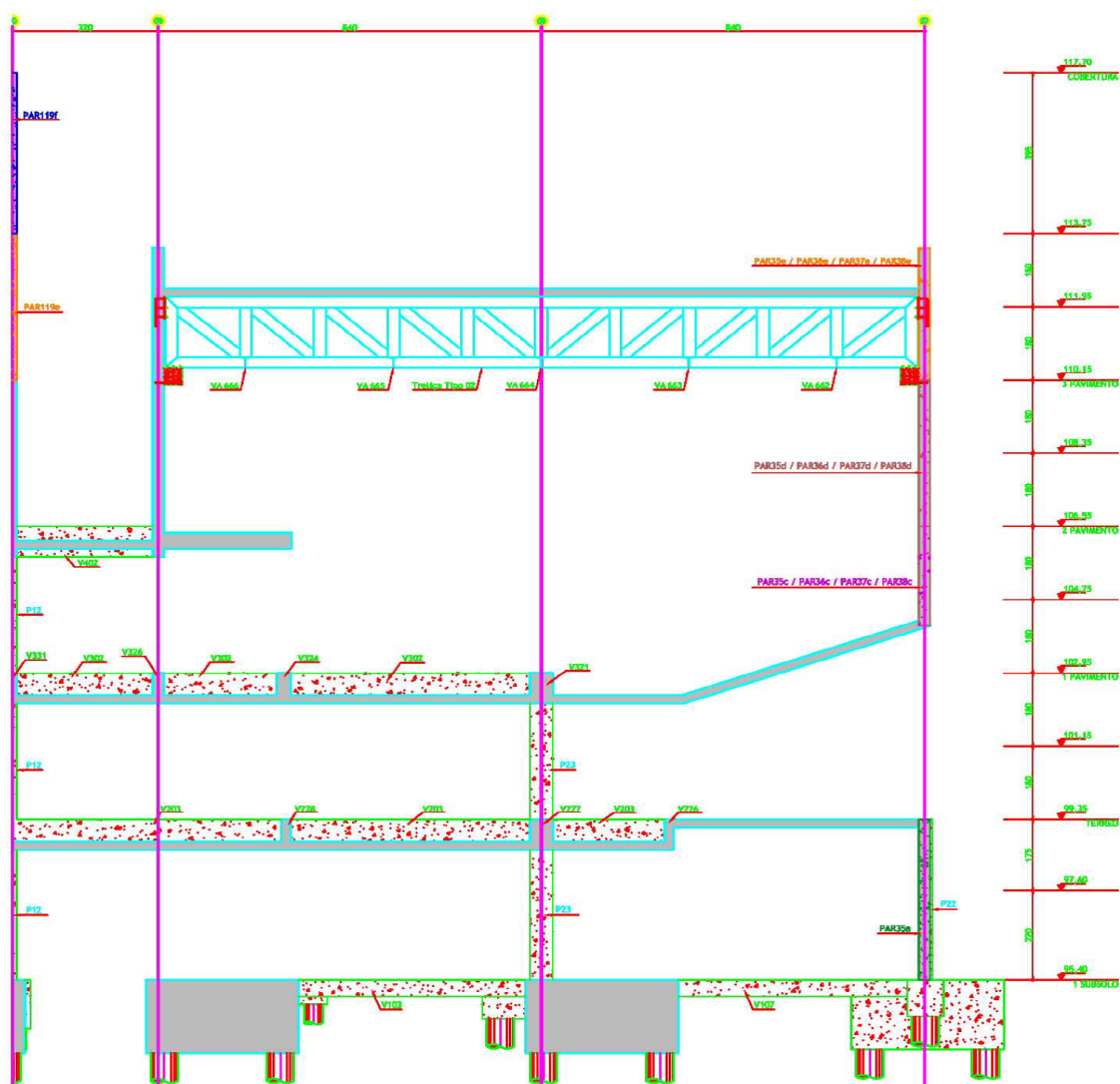
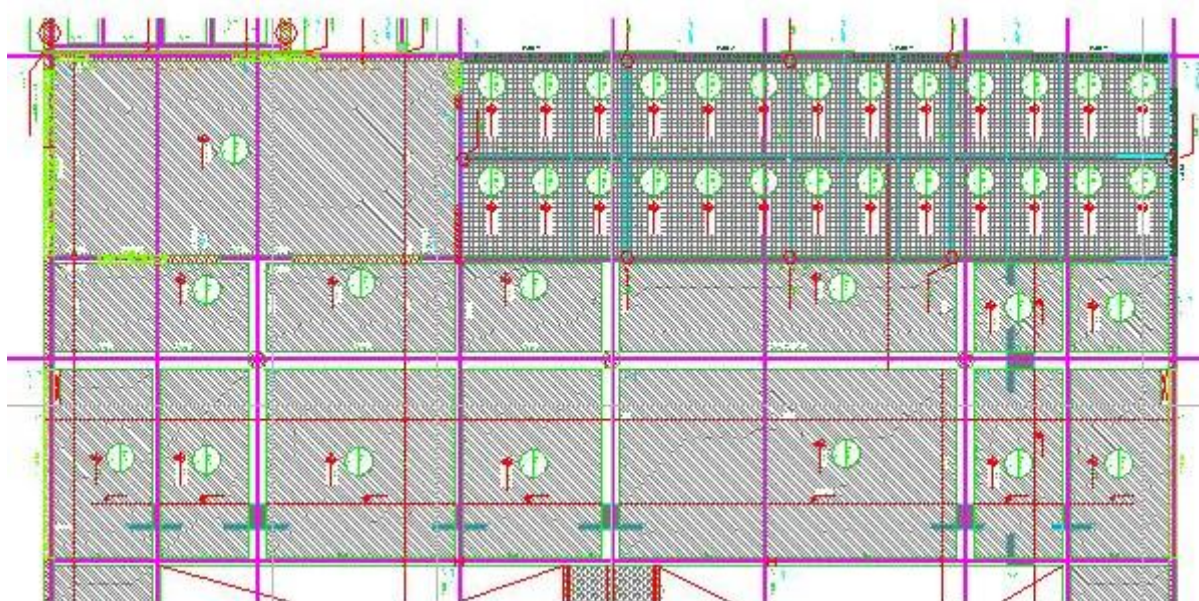


Figura 2 – Vista lateral dos dois blocos – Teatro e acesso ao Teatro.



**Figura 3 – Corte esquemático do prédio de acesso ao Teatro.**



**Figura 4 – Forma do pavimento térreo do prédio de acesso ao Teatro.**

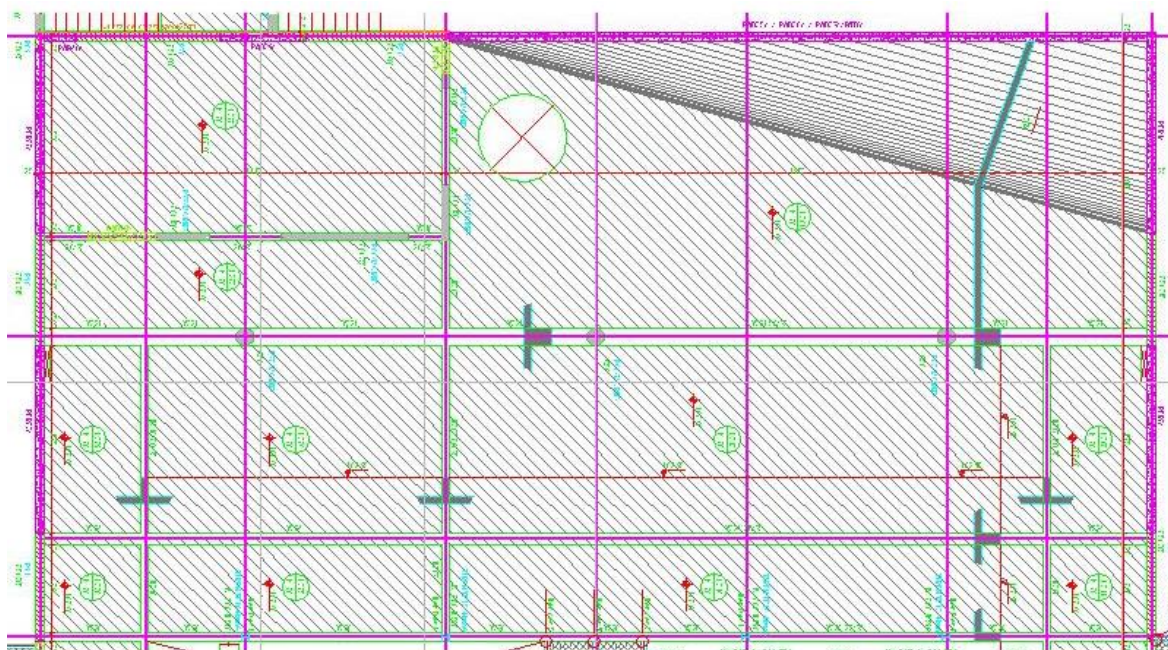


Figura 5 –Forma do 1º pavimento do prédio de acesso ao Teatro.

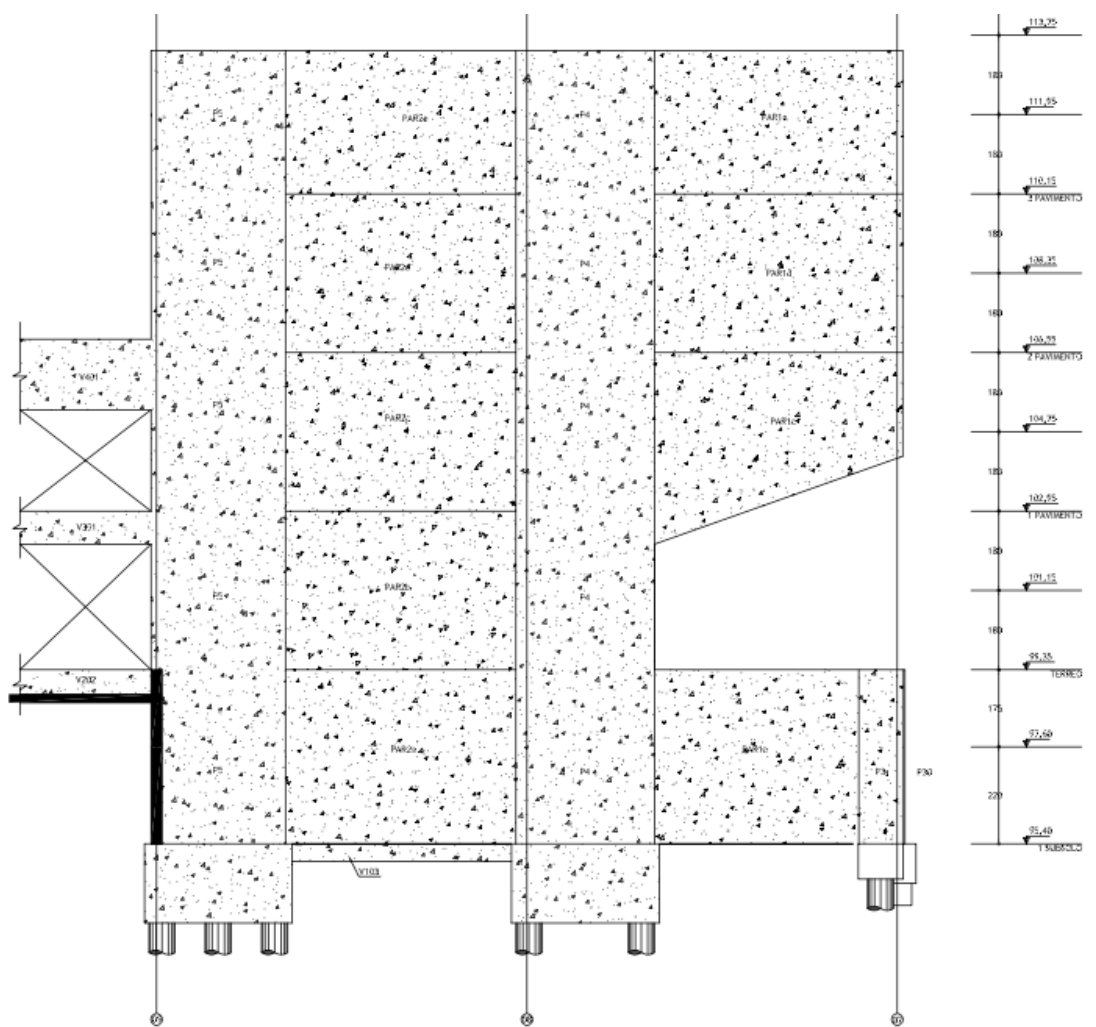


Figura 6– Vista lateral do bloco de acesso ao Teatro.

Os projetos estruturais são de responsabilidade da empresa GRIFA ENGENHARIA com CREA de nº 0655499, cujos engenheiros civis responsáveis técnicos são o Eng.º

Marcelo Facchini CREA 0655466, como pode ser observado na Figura 7 e o Eng.º Tarsis Rafael Silva Travassos Oliveira, conforme indicado na cópia da ART mostrada na Figura 8, subcontratados pela JCH Gerenciamento, Projetos e Obras Ltda. (Figura 7).



Autor/cria do Projeto	CREA	DATA	VISTO
GRIFA ENGENHARIA	0655499	09/10/2009	
Eng.º Responsável Marcelo Facchini			

Figura 7 – Identificação dos responsáveis técnicos pelos projetos estruturais.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO ESTADO DE SÃO PAULO Av. Brig. Faria Lima, 1059 - Pinheiros - São Paulo - SP CEP 01452-920 Tel.: 0800 17 18 11			
ART		1- Nº DA ART	
Anotação de Responsabilidade Técnica Lei Federal Nº. 6.496 de 07/12/77		92221220100313563	
CONTRATADO			
2 - Nº DO CREA DO PROFISSIONAL 5062134028		3 - Nº DO CPF DO PROFISSIONAL 71472487249	
4 - NOME DO PROFISSIONAL TARSIS RAFAEL SILVA TRAVASSOS OLIVEIRA		5 - TÍTULO DO PROFISSIONAL Engenheiro Civil	
ART			
6 - TIPO DE ART 1-Obra/Serviço	7 - VINCULADA A ART Nº	8 - HÁ OUTRAS ARTS VINCULADAS 1 - Não	
9 - ALTERAÇÃO/COMPL./SUBST. DA ART 1 - Não		10 - SUBEMPREITADA 1 - Não	
ANOTAÇÃO			
11 - CLASSIFICAÇÃO DA ANOTAÇÃO 1 - Responsabilidade Principal	12 - ÁREA DE ATUAÇÃO 6 - Civil, Fortificação E Construção	13 - TIPO DE CONTRATADO 1- Pessoa Jurídica	
EMPRESA CONTRATADA			
14 - Nº DE REGISTRO NO CREA 0655433		15 - NOME COMPLETO GRIFA ENGENHARIA LTDA	
16 - CGC/CNPJ 05800395000120		17 - CLASSIFICAÇÃO 1-Empresa Privada	
CONTRATANTE			
18 - NOME DO CONTRATANTE DA OBRA / SERVIÇO JCH Gerenciamento, Projetos e Obras Ltda.		19 - TELEFONE P/ CONTATO (11)44287688	20 - CPF/CNPJ 55484383000160
DADOS DA OBRA / SERVIÇO OBJETO DO CONTRATO			
21 - ENDEREÇO DA OBRA / SERVIÇO Rua Ellis Regina, n. 50, Quadra 16, Campinas		22 - CEP 13083-854	
CLASSIFICAÇÃO			
23 - NATUREZA 1A1015	24 - UNIDADE 15	25 - QUANTIFICAÇÃO 4600	26 - ATIVIDADES TÉCNICAS 37
27 - DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS SOB SUA RESPONSABILIDADE OU DO CARGO/FUNÇÃO Projeto de estrutura e fundações, em estrutura de concreto armado, aço e madeira, para o edifício denominado Teatro Laboratório Unicamp.			
RESUMO DO CONTRATO			
Nº E ESCOPO DO CONTRATO, CONDIÇÕES, PRAZO, CUSTOS, ETC... P08417; 081943;			
28 - VALOR DO CONTRATO 2.200,00	29 - DATA DO CONTRATO 03/11/2008	30 - DATA INÍCIO DA EXECUÇÃO 03/11/2008	31 - 10% ENTIDADE DE CLASSE 66
		32 - VALOR DA ART A PAGAR 30,00	
ASSINATURA			
Declaro não ser aplicável, dentro das atividades assumidas nesta ART e nos termos aqui anotados, o atendimento às regras de acessibilidade previstas nas Normas Técnicas de Acessibilidade da ABNT e na legislação específica, em especial o Decreto nº. 5.296/2004, para os projetos de construção, reforma ou ampliação de edificações de uso público ou coletivo, nos espaços urbanos ou em mudança de destinação (usos) para estes fins.			
33 - LOCAL E DATA São Paulo 01/02/2010	PROFISSIONAL Tarsis Rafael Silva Travassos Oliveira	CONTRATANTE JCH Gerenciamento, Projetos e Obras Ltda.	

Figura 8 – Identificação dos responsáveis técnicos pelos projetos estruturais.

A execução da obra é de responsabilidade da construtora ESTETO ENGENHARIA E COMÉRCIO LTDA., com sede à Rua Guaicurus, 708 – Água Branca – São Paulo, SP. Os engenheiros civis responsáveis técnicos pela execução da obra do Teatro, são:


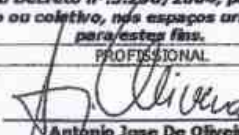
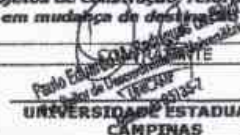
- Eng.º Frederico Carlos Krejici, CREA nº 0600452037 – responsável principal;
- Eng.º Antonio José de Oliveira, CREA nº 0600639934 – Corresponsável;
- Eng.º Marcelo Soares de Camargo, CREA nº 0601421814 – Corresponsável e Residente na Obra;

Na Figura 9, Figura 10 e Figura 11 estão apresentadas as cópias das ART's dos responsáveis técnicos pela execução da obra

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO ESTADO DE SÃO PAULO			
Av. Dr. Faria Lima, 1059 - Pinheiros - São Paulo - SP CEP 01452-920 Tel.: 0800 17 18 11			
<b>ART</b>		<b>1- Nº DA ART</b>	
Anotação de Responsabilidade Técnica Lei Federal Nº. 5.496 de 07/12/77		<b>92221220110601078</b>	
<b>CONTRATADO</b>			
2 - Nº DO CREA DO PROFISSIONAL <b>0600452037</b>		3 - Nº DO CPF DO PROFISSIONAL <b>75922075800</b>	
4 - NOME DO PROFISSIONAL <b>FREDERICO CARLOS KREJICI</b>		5 - TÍTULO DO PROFISSIONAL <b>Engenheiro Civil</b>	
<b>ART</b>			
6 - TIPO DE ART <b>1-Obra/Serviço</b>	7 - VINCULADA A ART Nº	8 - HÁ OUTRAS ARTS VINCULADAS <b>1 - Não</b>	
9 - ALTERAÇÃO/COMPL./SUBST. DA ART <b>1 - Não</b>		10 - SUBEMPREGADA <b>1 - Não</b>	
<b>ANOTAÇÃO</b>			
11 - CLASSIFICAÇÃO DA ANOTAÇÃO <b>1 - Responsabilidade Principal</b>	12 - ÁREA DE ATUAÇÃO <b>6 - Civil, Fortificação e Construção</b>	13 - TIPO DE CONTRATADO <b>1 - Pessoa Jurídica</b>	
<b>EMPRESA CONTRATADA</b>			
14 - Nº DE REGISTRO NO CREA <b>0273572</b>	15 - NOME COMPLETO <b>ESTETO ENGENHARIA E COMERCIO LTDA</b>		
16 - CGC/CNPJ <b>52220894000129</b>	17 - CLASSIFICAÇÃO <b>1-Empresa Privada</b>		
<b>CONTRATANTE</b>			
18 - NOME DO CONTRATANTE DA OBRA / SERVIÇO <b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>		19 - TELEFONE P/ CONTATO <b>(19)35214461</b>	20 - CPF/CNPJ <b>46068425000133</b>
<b>DADOS DA OBRA / SERVIÇO OBJETO DO CONTRATO</b>			
21 - ENDEREÇO DA OBRA / SERVIÇO <b>RUA ELIS REGINA, 50</b>		22 - CEP <b>13083-854</b>	
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
23 - NATUREZA <b>1A1009</b>	24 - UNIDADE <b>15</b>	25 - QUANTIFICAÇÃO <b>4880</b>	26 - ATIVIDADES TÉCNICAS <b>25</b>
27 - DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS SOB SUA RESPONSABILIDADE OU DO CARGO/FUNÇÃO <b>OBRAS CIVIS DE INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZAÇÃO E COBERTURA DO TEATRO - LABORATORIO DO IA - INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP</b>			
<b>RESUMO DO CONTRATO</b>			
Nº E ESCOPO DO CONTRATO, CONDIÇÕES, PRAZO, CUSTOS, ETC...			
<b>OBJETO: EXECUCAO DE ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE OBRA: INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZACAO E COBERTURA DO TEATRO - LABORATORIO DO IA - INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP CONFORME CONTRATO N. 153/2011 PRAZO DE EXECUCAO: 18 MESES</b>			
<b>Data de efetiva participação do profissional: 13/06/2011</b>			
28 - VALOR DO CONTRATO <b>6.267.203,56</b>	29 - DATA DO CONTRATO <b>16/05/2011</b>	30 - DATA INÍCIO DA EXECUÇÃO <b>13/06/2011</b>	31 - 10% ENTIDADE DE CLASSE <b>68</b>
		32 - VALOR DA ART A PAGAR <b>533,00</b>	
<b>ASSINATURA</b>			
Declaro ser de minha responsabilidade técnica, dentro das atividades assumidas nesta ART e nos termos aqui anotados, o atendimento às regras de acessibilidade previstas nas Normas Técnicas de Acessibilidade da ABNT e na legislação específica, em especial o Decreto nº.5.296/2004, para os projetos de construção, reforma ou ampliação de edificações de uso público ou coletivo, nos espaços urbanos ou em mudança de destinação (usos) para estes fins.			
33 - LOCAL E DATA  <b>Sao Paulo 31/05/2011</b>		CONTRATANTE  <b>Paulo Eduardo M. Rodrigues da Silva UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>	


Obs:  
- O comprovante deverá ser anexado a ART para comprovação de quitação  
- A ART deverá ser devidamente assinada pelo profissional  
- Linha digitável:

Figura 9 – Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra.

 <b>CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA, ARQUITETURA E AGRONOMIA DO ESTADO DE SÃO PAULO</b> Av. Brig. Faria Lima, 1059 - Pinheiros - São Paulo - SP CEP 01452-920 Tel.: 0800 17 18 11			
<b>ART</b> Anotação de Responsabilidade Técnica Lei Federal Nº. 6.496 de 07/12/77		<b>1- Nº DA ART</b> <b>92221220110614872</b>	
<b>CONTRATADO</b>			
<b>2 - Nº DO CREA DO PROFISSIONAL</b> <b>0600639934</b>		<b>3 - Nº DO CPF DO PROFISSIONAL</b> <b>94825424872</b>	
<b>4 - NOME DO PROFISSIONAL</b> <b>ANTONIO JOSE DE OLIVEIRA</b>		<b>5 - TÍTULO DO PROFISSIONAL</b> <b>Engenheiro Civil</b>	
<b>ART</b>			
<b>6 - TIPO DE ART</b> <b>1-Obra/Serviço</b>	<b>7 - VINCULADA A ART Nº</b> <b>922212201106001078</b>	<b>8 - HÁ OUTRAS ARTs VINCULADAS</b> <b>1 - Não</b>	
<b>9 - ALTERAÇÃO/COMPL./SUBST. DA ART</b> <b>2 - Sim</b>		<b>10 - SUBEMPREITADA</b> <b>1 - Não</b>	
<b>ANOTAÇÃO</b>			
<b>11 - CLASSIFICAÇÃO DA ANOTAÇÃO</b> <b>2 - Co-Responsabilidade</b>	<b>12 - ÁREA DE ATUAÇÃO</b> <b>6 - Civil, Fortificação E Construção</b>	<b>13 - TIPO DE CONTRATADO</b> <b>1 - Pessoa Jurídica</b>	
<b>EMPRESA CONTRATADA</b>			
<b>14 - Nº DE REGISTRO NO CREA</b> <b>0273572</b>	<b>15 - NOME COMPLETO</b> <b>ESTETO ENGENHARIA E COMERCIO LTDA</b>		
<b>16 - CGC/CNPJ</b> <b>52220894000129</b>	<b>17 - CLASSIFICAÇÃO</b> <b>1- Empresa Privada</b>		
<b>CONTRATANTE</b>			
<b>18 - NOME DO CONTRATANTE DA OBRA / SERVIÇO</b> <b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>		<b>19 - TELEFONE P/ CONTATO</b> <b>(19)35214461</b>	<b>20 - CPF/CNPJ</b> <b>46068425000133</b>
<b>DADOS DA OBRA / SERVIÇO OBJETO DO CONTRATO</b>			
<b>21 - ENDEREÇO DA OBRA / SERVIÇO</b> <b>RUA ELISA REGINA, 50</b>			<b>22 - CEP</b> <b>13083-854</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>			
<b>23 - NATUREZA</b> <b>1A1009</b>	<b>24 - UNIDADE</b> <b>15</b>	<b>25 - QUANTIFICAÇÃO</b> <b>4890</b>	<b>26 - ATIVIDADES TÉCNICAS</b> <b>25</b>
<b>27 - DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS SOB SUA RESPONSABILIDADE OU DO CARGO/FUNÇÃO</b> <b>OBRA CIVIS PARA EXECUCAO DA ETAPA DA CONSTRUCAO DE OBRA: INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZACAO E COBERTURA DO TEATRO - LABORATORIO DO IA - INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP</b>			
<b>RESUMO DO CONTRATO</b>			
<b>Nº E ESCOPO DO CONTRATO, CONDIÇÕES, PRAZO, CUSTOS, ETC...</b> <b>OBJETO: EXECUCAO DA ETAPA DA CONSTRUCAO DE OBRA: INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZACAO E COBERTURA DO TEATRO - LABORATORIO DO IA - INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP CONFORME CONTRATO N. 153/2011 PRAZO DE EXECUCAO: 18 MESES</b> <b>Data de efetiva participação do profissional: 13/06/2011</b>			
<b>28 - VALOR DO CONTRATO</b> <b>8.267.203,56</b>	<b>29 - DATA DO CONTRATO</b> <b>16/05/2011</b>	<b>30 - DATA INÍCIO DA EXECUÇÃO</b> <b>13/06/2011</b>	<b>31 - 10% ENTIDADE DE CLASSE</b> <b>68</b>
			<b>32 - VALOR DA ART A PAGAR</b> <b>33,00</b>
<b>ASSINATURA</b>			
Declaro ser de minha responsabilidade técnica, dentro das atividades assumidas nesta ART e nos termos aqui anotados, o atendimento às regras de acessibilidade previstas nas Normas Técnicas de Acessibilidade da ABNT e na legislação específica, em especial o Decreto nº 5.296/2004, para os projetos de construção, reforma ou ampliação de edificações de uso público ou coletivo, nos espaços urbanos ou em mudança de destinação (usos) para estes fins.			
<b>33 - LOCAL E DATA</b> <b>Sao Paulo</b> <b>02/06/2011</b>	<b>PROFISSIONAL</b>  <b>Antonio Jose De Oliveira</b>		 <b>PAULO EDUARDO DE ALMEIDA</b> <b>DIRETOR DE ENGENHARIA</b> <b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>

Obs:  
 - O comprovante deverá ser anexado a ART para comprovação de quitação  
 - A ART deverá ser devidamente assinada pelo profissional  
 - Linha digitável:

Figura 10– Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra.

CONSELHO REGIONAL DE ENGENHARIA E AGRONOMIA				
Av. Heli, Faria Lima, 1059 - Pinheiros - São Paulo - SP CEP 01452-900 Tel - 0800 17 18 11				
<b>ART</b> Anotação de Responsabilidade Técnica Lei Federal Nº. 6.496 de 07/12/77		<b>1- Nº DA ART</b> <b>92221220120398148</b>		
<b>CONTRATADO</b>				
<b>2 - Nº DO CREA DO PROFISSIONAL</b> <b>0601421814</b>		<b>3 - Nº DO CPF DO PROFISSIONAL</b> <b>05653042838</b>		
<b>4 - NOME DO PROFISSIONAL</b> <b>MARCELO SOARES DE CAMARGO</b>		<b>5 - TÍTULO DO PROFISSIONAL</b> <b>Engenheiro Civil</b>		
<b>ART</b>				
<b>6 - TIPO DE ART</b> <b>1 - Obra / Serviço</b>	<b>7 - VINCULADA A ART Nº</b> <b>922212201106001078</b>	<b>8 - HÁ OUTRAS ARTs VINCULADAS</b> <b>1 - Não</b>		
<b>9 - ALTERAÇÃO/COMPL./SUBST. DA ART</b> <b>2 - Sim</b>		<b>10 - SUBEMPREGADA</b> <b>1 - Não</b>		
<b>ANOTAÇÃO</b>				
<b>11 - CLASSIFICAÇÃO DA ANOTAÇÃO</b> <b>3 - Substituição</b>	<b>12 - ÁREA DE ATUAÇÃO</b> <b>5 - Civil, Fortificação E Construção</b>	<b>13 - TIPO DE CONTRATADO</b> <b>1 - Pessoa Jurídica</b>		
<b>EMPRESA CONTRATADA</b>				
<b>14 - Nº DE REGISTRO NO CREA</b> <b>0273572</b>	<b>15 - NOME COMPLETO</b> <b>ESTETO ENGENHARIA E COMERCIO LTDA</b>			
<b>16 - CGC/CNPJ</b> <b>52220894000129</b>	<b>17 - CLASSIFICAÇÃO</b> <b>1 - Empresa Privada</b>			
<b>CONTRATANTE</b>				
<b>18 - NOME DO CONTRATANTE DA OBRA / SERVIÇO</b> <b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>		<b>19 - TELEFONE P/ CONTATO</b> <b>(19)35214461</b>	<b>20 - CPF/CNPJ</b> <b>46088425000133</b>	
<b>DADOS DA OBRA / SERVIÇO OBJETO DO CONTRATO</b>				
<b>21 - ENDEREÇO DA OBRA / SERVIÇO</b> <b>Rua Elia Regina, 50</b>				<b>22 - CEP</b> <b>13063-854</b>
<b>CLASSIFICAÇÃO</b>				
<b>23 - NATUREZA</b> <b>1 A1009</b>	<b>24 - UNIDADE</b> <b>15</b>	<b>25 - QUANTIFICAÇÃO</b> <b>4880</b>	<b>26 - ATIVIDADES TÉCNICAS</b> <b>25</b>	
<b>27 - DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS EXECUTADOS SOB SUA RESPONSABILIDADE OU DO CARGO/FUNÇÃO</b>				
<b>OBRA CIVIL PARA EXECUÇÃO DA ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE OBRA:</b> <b>INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZAÇÃO E COBERTURA DO TEATRO-LABORATÓRIO DO IA- INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP.</b>				
<b>RESUMO DO CONTRATO</b>				
<b>Nº E ESCOPO DO CONTRATO, CONDIÇÕES, PRAZO, CUSTOS, ETC...</b> <b>EXECUÇÃO DA ETAPA DA CONSTRUÇÃO DE OBRA: INFRAESTRUTURA, SUPERESTRUTURA, IMPERMEABILIZAÇÃO E COBERTURA DO TEATRO-LABORATÓRIO DO IA- INSTITUTO DE ARTES DA UNICAMP CONFORME CONTRATO N.153/2011. PRAZO DE EXECUÇÃO: 18 MESES. SUBSTITUINDO ENG. ANTONIO JOSE DE OLIVEIRA, ART 92221220110614872.</b> <b>Data de efetiva participação do profissional: 20/04/2012</b>				
<b>28 - VALOR DO CONTRATO</b> <b>8.267.203,56</b>	<b>29 - DATA DO CONTRATO</b> <b>16/05/2011</b>	<b>30 - DATA INÍCIO DA EXECUÇÃO</b> <b>13/06/2011</b>	<b>31 - 10% ENTIDADE DE CLASSE</b> <b>15</b>	<b>32 - VALOR DA ART A PAGAR</b> <b>46,00</b>
<b>ASSINATURA</b>				
<b>Declaro ser de minha responsabilidade técnica, dentro das atividades assumidas nesta ART e nos termos aqui anotados, o atendimento às regras de acessibilidade previstas nas Normas Técnicas de Acessibilidade da ABNT e na legislação específica, em especial o Decreto nº. 5.296/2004, para os projetos de construção, reforma ou ampliação de edificações de uso público ou coletivo, nos espaços urbanos ou em mudança de destinação (uso) para estes fins.</b>				
<b>33 - LOCAL E DATA</b> <b>Campinas</b> <b>24/04/2012</b>	<b>PROFISSIONAL</b>  <b>Marcelo Soares De Camargo</b>		<b>CONTRATANTE</b> <b>UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS</b>	

Obs:  
 - O comprovante deverá ser anexado a ART para comprovação de quitação  
 - A ART deverá ser devidamente assinada pelo profissional  
 - Linha digitável

Figura 11– Identificação dos responsáveis técnicos pela execução da obra.

#### 4.3. Descrição dos trabalhos realizados

No dia 05 de abril de 2022 foi realizada uma inspeção visual detalhada no trecho da parede PAR01, com um levantamento fotográfico das patologias encontradas em especial a ruptura parcial na junção da parede PAR01 com o pilar P04 com abertura de uma grande trinca e que estão apresentadas nas fotos das Figura 12 e Figura 13.



Figura 12 – Vista externa da parede PAR01 com a trinca.



Figura 13 – Vista interna da parede PAR01 com a trinca de grande abertura.

Durante a visita ao local da ruína parcial, foi levantada suspeita que poderia ser um detalhe de armadura inadequado ou ausente que levou a ruptura das armaduras. A verificação ao projeto estrutural poderia dar pistas deste entendimento. Na Figura 14 está apresentados um trecho do projeto de armação da parede PAR01 (esquerda) e do pilar P04 (direita) sem o detalhe de ancoragem da parede PAR01 no interior do pilar.

No dia 6 de abril de 2022, a partir dos projetos estruturais do Teatro Laboratório do IA UNICAMP, procurou-se entender a concepção estrutural deste local onde ocorreu a ruptura da armadura com aparecimento de trinca de grande abertura. Desta análise, foi solicitado ao Tecgº Lucas Oriolo da DEPI, em **caráter de urgência**, o escoramento em 3 pontos do

balanço, **devido aoisco eminente de ruína**, o qual foi finalizado em julho de 2022, como pode ser observado nas fotos das Figura 15.

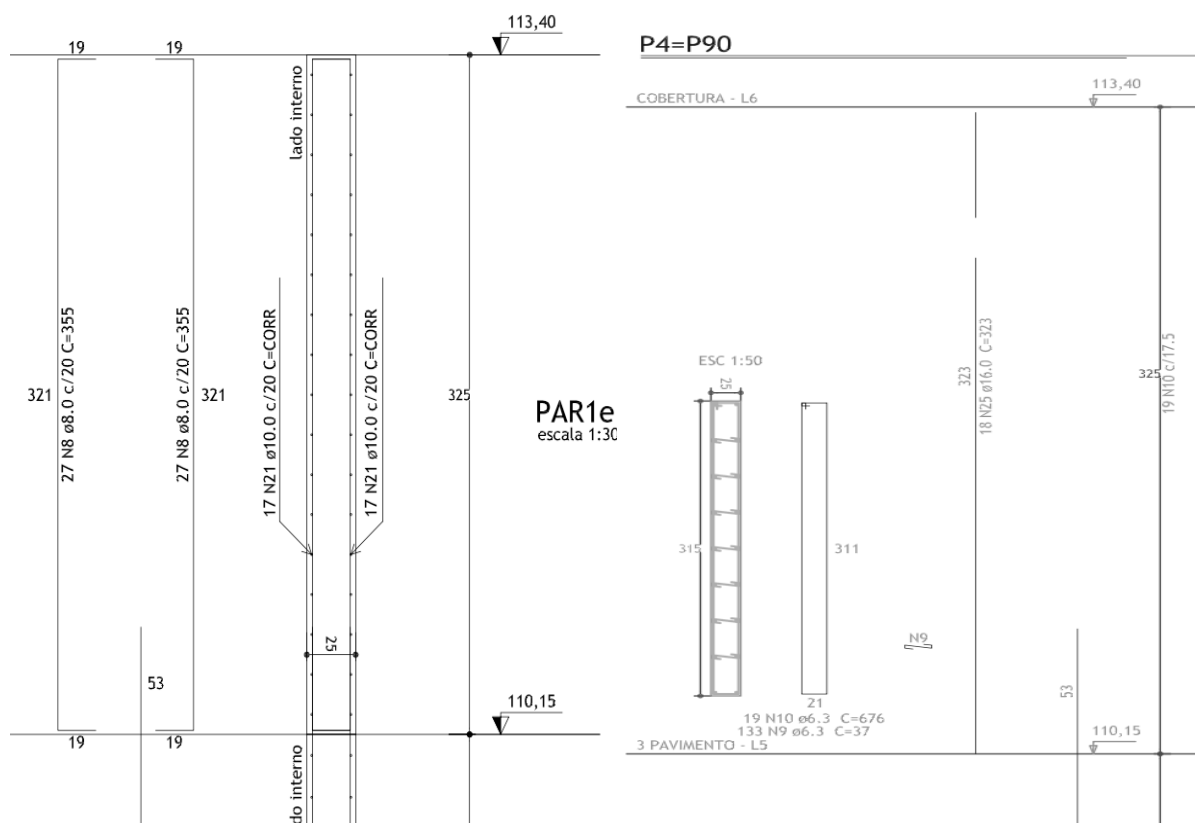


Figura 14 –Armação da parede PAR01 (esquerda) e do pilar P04 (direita).



Figura 15 – Detalhe do escoramento realizado nas paredes PAR01 e PAR35.

No dia 19 de abril de 2022 com o auxílio de técnicos da Prefeitura do Campus da Unicamp, foi realizado um levantamento fotográfico completo das paredes e cobertura do Anexo do Teatro do IA, para a averiguação das manifestações patológicas da estrutura de concreto armado. Como exemplo do levantamento pode-se verificar as fotos da Figura 16. Descrições mais detalhadas deste levantamento serão apresentadas mais adiante neste Laudo.



Figura 16 – Detalhe da cobertura, da trinca na parede PAR01, obtidas pelo drone.

Desta análise, elaborou-se um roteiro para a vistoria do prédio em busca das causas do aparecimento de uma trinca na parede lateral do Anexo do Teatro denominada no projeto estrutural como PAR01 (ver Figura 6).

Na semana de 14 a 18 de julho de 2022, a equipes do LABMEM da FECFAU e do Departamento de Estruturas da Universidade Federal de Uberlândia realizaram os levantamentos necessários para a continuidade dos trabalhos, com inspeções não destrutivas e algumas inserções nas paredes para validar as hipóteses. Para este trabalho foi disponibilizado pela Unicamp uma equipe de auxiliares.

Para melhor entender o comportamento estrutural, foram realizadas modelagens da estrutura do Anexo do prédio de acesso ao Teatro, no programa computacional de elementos finitos ATENA v.5, considerando as condições de contorno, os carregamentos (peso próprio da estrutura) e seus efeitos sobre a estrutura.

Por meio de análises criteriosas e minuciosas no projeto estrutural, e das modelagens numéricas realizadas no programa computacional, pôde-se entender o estado de deformação encontrado na estrutura do prédio de acesso ao Teatro.

## 5. PATOLOGIAS

---

### 5.1. Introdução

---

Após as vistorias, inspeções e investigações realizadas no prédio de acesso ao Teatro Laboratório do IA UNICAMP, foi possível constatar origens distintas das manifestações patológicas, sendo oriunda dos vícios de construção e de falha no projeto estrutural. Estas serão apresentadas em vasta documentação fotográfica e através de diversos relatórios extraídos das modelagens estruturais realizadas.

### 5.2. Apresentação das trincas na parede PAR01 e laje da cobertura

---

Nas vistorias realizadas no Anexo do Teatro do IA, foi possível avaliar, medir e melhor entender a origem da trinca de grande abertura e extensão na parede PAR01. Nas fotos da Figura 17, são apresentadas as fotos das faces internas e externas da parede PAR01, onde pode-se observar a extensão e abertura da referida trinca.



Figura 17 – Vista interna à esquerda e externa a direita, da parede PAR01.

Nas fotos da Figura 18 estão apresentadas um trecho superior da trinca (esquerda) e uma parte ampliada (direita), onde pode-se observar a armadura transversal rompida por tração e que está destacado na figura.

Na foto da Figura 19 está mostrado um trecho da trinca (esquerda) da parede PAR01, onde pode-se observar o aparecimento de uma trinca secundária que será explicada nas fotos do ensaio destrutivo.



Figura 18– Vista de trecho da parede PAR01 (esquerda) e detalhe ampliado a direita.



Figura 19 – Vista de um trecho da parede PAR01 com a trinca principal e uma secundária.

Nas fotos da Figura 20 estão apresentados três trechos da trinca na face interna da parede PAR01, onde pode-se observar o desenvolvimento da trinca principal e o aparecimento de uma trinca secundária que será explicada nas fotos do ensaio destrutivo.



Figura 20 – Vista interna de trechos parede PAR01, com as trincas principal e a secundária.

Nas fotos da Figura 21 e Figura 22 estão apresentadas em detalhe a abertura da trinca, medida no plano da parede, que foi da ordem de 2,5cm abaixo e acima da laje (fotos `a esquerda das figuras), já a abertura da trinca medida no plano fora da parede foi da ordem de 2,8cm abaixo da laje e de 4,0cm acima da laje (fotos `a direita das figuras).

Nas fotos da Figura 21 também pode-se observar a armadura rompida por tração, indicando que estas armaduras foram submetidas à esforços muito acima da sua resistência de projeto à tração.



Figura 21 – Vista interna da parede PAR01, com deslocamento lateral de 2,50cm.



Figura 22 – Vista interna da parede PAR01, com deslocamento lateral de 2,50cm.

As fotos da Figura 23 apresentam o trecho da parede PAR01 acima da laje da cobertura, onde observa-se a abertura e o desenvolvimento da trinca. Pode-se observar em destaque na foto à esquerda da Figura 23 inúmeras barras transversais rompidas por tração.



Figura 23 – Vista de trecho da parede PAR01 acima da laje com inúmeras barras rompidas por tração.

A foto apresentada na Figura 24 mostra o trecho da parede PAR01 onde pode-se observar a abertura e o desenvolvimento de duas fissuras ao lado da trinca principal. Estas fissuras surgem para compatibilizar com os deslocamentos da parede PAR01 advindo da trinca principal e o travamento proporcionado pela viga metálica.



**Figura 24 – Vista interna da parede PAR01, com duas fissuras, ao lado da trinca principal.**

A foto da Figura 25 apresenta a vista superior do encontro das paredes PAR01 e PAR36 onde pode-se observar uma ruptura localizada. Estas fissuras surgem para compatibilizar com os deslocamentos da parede PAR01 com a PAR36 advindo da trinca principal. Pode-se observar que nesta região uma quantidade muito pequena de armadura conectando as paredes.



Figura 25– Vista superior do encontro das paredes PAR01 e PAR35, com ruína localizada.

A foto da Figura 26 mostra duas trincas na laje de cobertura junto as paredes PAR01 e PAR36. Estas trincas foram provocadas pelo deslocamento ocorrido nas paredes em duas direções, um para baixo e outro para fora. Estando a laje apoiada nestas paredes a mesma acompanhou o movimento, com as trincas surgindo nos pontos de menor rigidez. As fotos da Figura 27 apresentam em detalhes as duas trincas na laje da cobertura.



Figura 26 – Vista de um trecho da laje de cobertura, junto a parede PAR01 e PAR36, com trincas em duas direções.



Figura 27 – Detalhe das duas trincas na laje de cobertura, junto a parede PAR01 e PAR36.

### 5.3. Investigação destrutiva na parede PAR01

De modo a comprovar a hipótese formulada para a ruptura localizada na parede PAR01, foram realizadas incisões na face interna da parede PAR01 junto a trinca, como pode ser observado na foto da Figura 28.

Na foto da Figura 29 pode-se observar as armaduras do Pilar P04 (estribos e armadura vertical) e as armaduras da PAR01 (vertical e horizontal)



Figura 28 – Detalhe da realização da incisão no lado interno da parede PAR01.

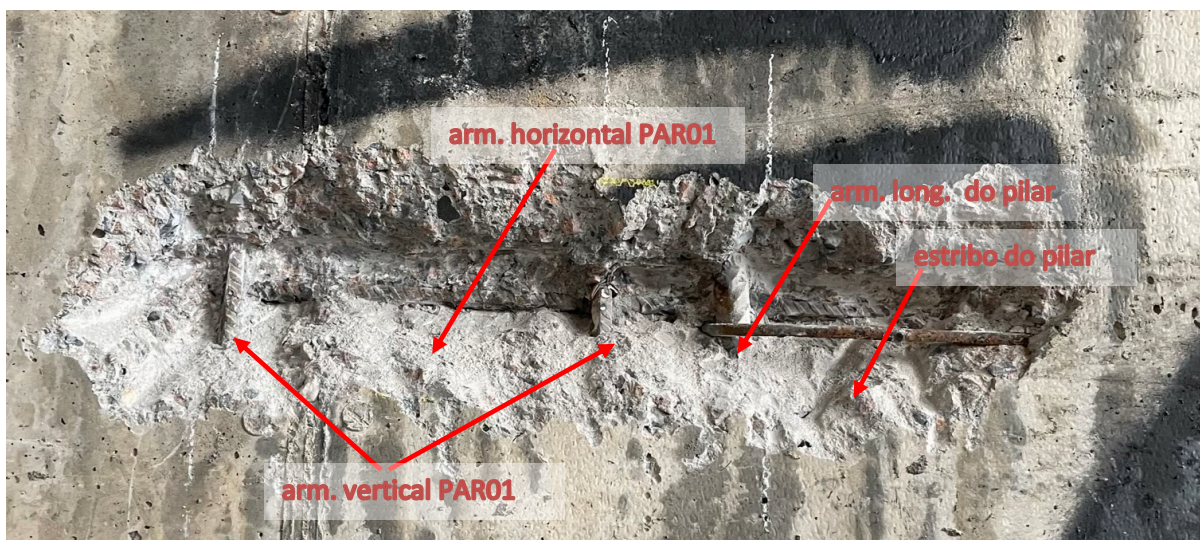


Figura 29 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01.

Na foto da Figura 30 pode-se observar as armaduras do Pilar P04, com estribos rompidos e a armadura vertical na região da trinca. Verifica-se que a armadura horizontal da PAR01 está interrompida, isto é, não tem continuidade na região da trinca



Figura 30 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01, junto ao pilar P04.

Na foto da Figura 31 pode-se observar uma incisão vertical da ordem 1,00m onde foram encontradas barras da armadura horizontal da PAR01 interrompidas, isto é, sem continuidade na região da trinca. Também foram encontrados estribos do Pilar P04 rompidos.



Figura 31 – Detalhe das armaduras na incisão no lado interno da parede PAR01, junto ao pilar P04.

Na foto da Figura 31 pode-se observar barras interrompidas com comprimentos diferentes, o que explica o aparecimento de uma segunda fissura ao lado da trinca principal, próxima a ponta desta armadura.

#### 5.4. Investigação não destrutiva na parede PAR01

O objetivo da investigação foi uma parede de concreto armado PAR01, com uma trinca vertical. Foram realizados os seguintes ensaios não destrutivos (ENDs): Pacometria, visando a localização das armaduras; Esclerometria, para a determinação da dureza superficial do concreto; Ultrassom pelo método indireto, para a obtenção da velocidade de propagação da onda ultrassônica; Resistividade Elétrica Superficial, para avaliar a possibilidade de desenvolvimento de corrosão; Potencial de Corrosão, para a determinação da probabilidade de atividade corrosiva do aço.

Para a realização dos ensaios não-destrutivos, a parede foi dividida em 5 níveis, e em cada nível, foram executados os ensaios nos lados A e B. O lado A está à esquerda da trinca e o lado B à direita, analisando na vista frontal (Figura 32).

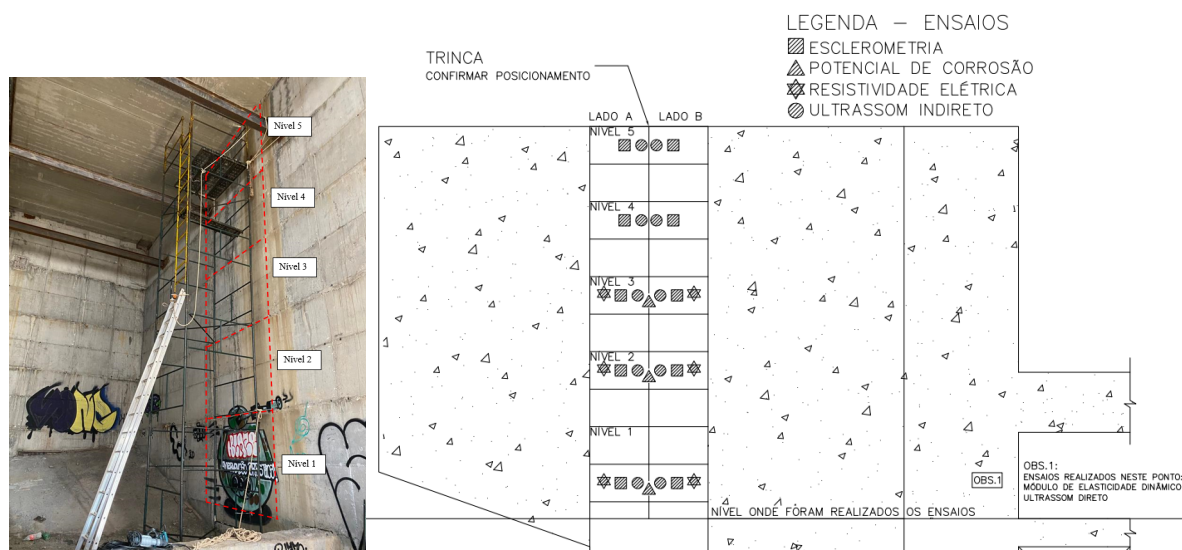


Figura 32 – Vista interna e croqui da parede PAR01 com as demarcações das áreas.

##### 5.1.1. Ensaio de Esclerometria

Inicialmente foi realizada a localização e marcação da armadura por meio do ensaio de pacometria (Figura 33), a fim de evitar o golpe do esclerômetro nessa região e aumentar a confiabilidade do ensaio.

O ensaio de esclerometria, para verificação da dureza superficial do concreto, foi realizado segundo a norma ABNT NBR 7584 (2012), sendo o mesmo representado pela norma americana ASTM C805-85 e britânica BS 1881:202. Foram efetuados 16 impactos em espaços de 150 x 150 mm, dos dois lados da trinca (lados A e B) (Figura 34).



Figura 33 – Ensaio de pacometria na parede PAR01.

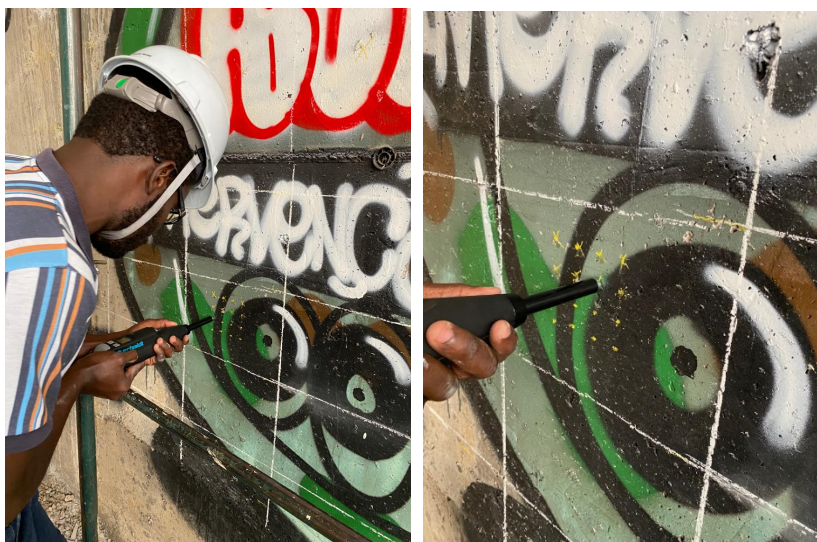


Figura 34 – Ensaio de esclerometria na parede PAR01.

#### 5.1.2. Ultrassom indireto

Este ensaio foi realizado com o objetivo de determinar a velocidade superficial, por meio da metodologia indireta, segundo a norma ABNT NBR 8802 (2019). Foi utilizado o equipamento com transdutor de onda compressiva de 1662 mm<sup>2</sup> e frequência de 54 kHz, gel para o acoplamento dos transdutores, e antes de cada ensaio, foi realizada a calibração do equipamento (Figura 35).

O ensaio foi realizado entre as barras principais, para minimizar a interferência da armadura. O transdutor emissor ficou fixo a aproximadamente 90 cm da trinca, e o transdutor receptor foi movimentado a distâncias de 20 cm, sendo obtidas 4 leituras, para cada lado (A e B) (Figura 36).



Figura 35 – Calibração do equipamento.



Figura 36 – Ensaio de ultrassom indireto.

#### 5.1.3. Resistividade elétrica superficial do concreto

Este ensaio foi realizado segundo as adaptações da norma ASTM G 57 (2020) utilizando o equipamento que funciona segundo o método dos 4 pontos dispostos em um arranjo Wenner. O aparelho foi calibrado com a utilização de um gabarito com resistividade elétrica conhecida, fornecido pelo fabricante, antes de cada ensaio. Nos locais onde havia pintura na parede, foi feita a remoção da tinta antes da realização do ensaio.

Antes da medição, os níveis em que foram realizados os ensaios (1, 2 e 3), foram molhados por aproximadamente 40 minutos, então foi realizado o ensaio 5 minutos após o fim da molhagem, para que a superfície estivesse seca.

O ensaio foi realizado com o aparelho na vertical, nos mesmos pontos onde foram dispostos os transdutores no ensaio de ultrassom, sendo obtidas 5 leituras para cada lado da amostra (A e B) (Figura 37).



Figura 37– Ensaio de resistividade elétrica superficial do concreto.

#### 5.1.4. Potencial de corrosão

Este ensaio foi realizado segundo a norma ASTM C 876 (2015) utilizando o equipamento do método da meia célula para determinação do potencial de corrosão. Para início do ensaio, o eletrodo de referência foi preenchido com a solução de sulfato de cobre diluído em água destilada. O gancho do terminal positivo foi conectado nas armaduras expostas (Figura 38).

O ensaio foi realizado nos níveis 1, 2 e 3. Foram realizadas as medições em 4 linhas e 7 colunas, totalizando 28 medidas em cada nível. Os pontos foram definidos sobre a interseção entre as armaduras principais e os estribos. Dentre as colunas, 3 foram no lado A, 1 foi na região da trinca e 3 foram no lado B.



Figura 38– Ensaio de resistividade elétrica superficial do concreto.

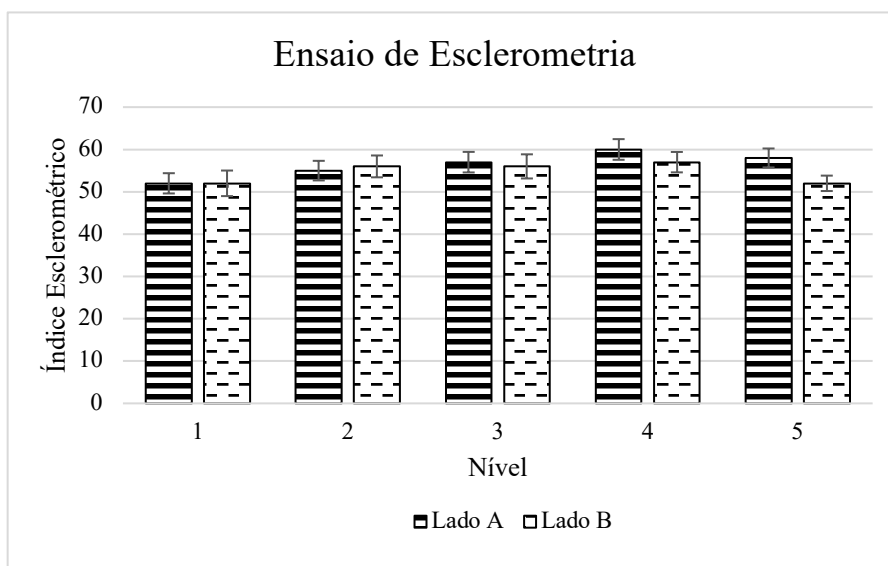
### 5.1.5. Resultados dos ensaios

#### a) Esclerometria

Os resultados dos ensaios de esclerometria estão apresentados na Tabela 1 e no gráfico da Figura 39.

**Tabela 1 – Resultados do ensaio de esclerometria.**

Nível	Lado	Índice Esclerométrico	
		Média	Desvio Padrão
1	Lado A	52	2,3916
	Lado B	52	3,0206
2	Lado A	55	2,3143
	Lado B	56	2,5812
3	Lado A	57	2,4285
	Lado B	56	2,8519
4	Lado A	60	2,4418
	Lado B	57	2,4099
5	Lado A	58	2,2336
	Lado B	52	1,8205



**Figura 39 – Gráfico com os resultados do índice esclerométrico.**

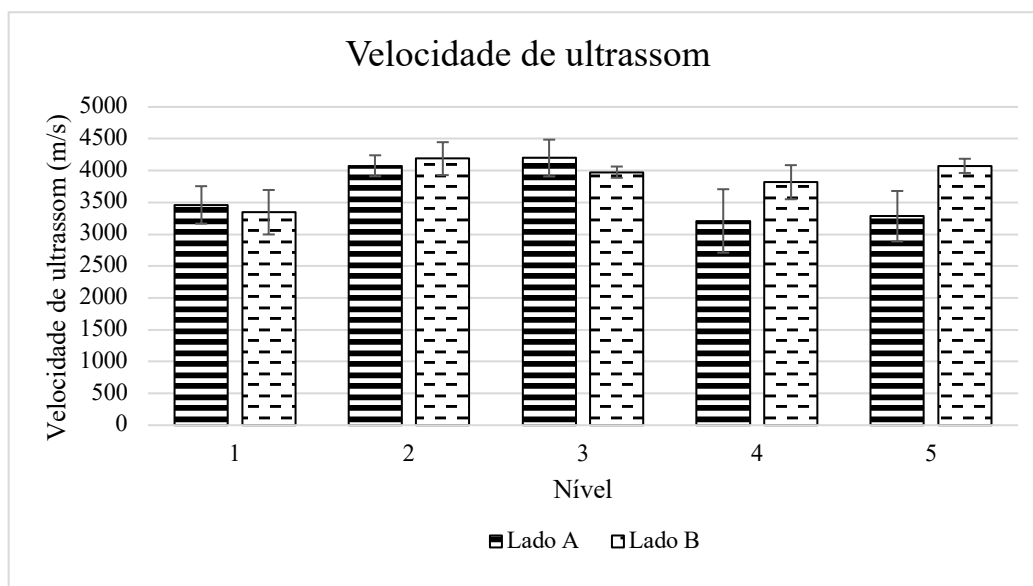
A partir dos resultados obtidos, é possível identificar certa homogeneidade entre os valores. Os níveis superiores (3, 4 e 5), demonstram valores de índice esclerométrico maiores, que podem ser entendidos como resistências a compressão ligeiramente superiores. Para a correlação entre o índice esclerométrico e a resistência à compressão efetiva, é necessário a realização de ensaios laboratoriais em corpos de prova ou testemunhos extraídos da estrutura. Através destes resultados é possível inferir que a resistência à compressão da estrutura é de boa qualidade e com pequena variabilidade.

**b) Ultrassom indireto**

Os resultados dos ensaios de ultrassom estão apresentados na Tabela 2 e no gráfico da Figura 40.

**Tabela 2 – Resultados do ensaio de ultrassom indireto**

Nível	Lado	Ponto	Distância do ponto fixo	Distância da trinca	Velocidade de propagação (m/s)	Média	Desvio Padrão
1	Lado A	1	0,2	0,7	3072	3460,75	294,29
		2	0,4	0,5	3442		
		3	0,6	0,3	3552		
		4	0,8	0,1	3777		
	Lado B	1	0,2	0,7	3096	3346,00	349,45
		2	0,4	0,5	3620		
		3	0,6	0,3	3672		
		4	0,8	0,1	2996		
2	Lado A	1	0,2	0,7	4016	4075,50	164,87
		2	0,4	0,5	4024		
		3	0,6	0,3	3945		
		4	0,8	0,1	4317		
	Lado B	1	0,2	0,7	3810	4187,50	258,87
		2	0,4	0,5	4391		
		3	0,6	0,3	4243		
		4	0,8	0,1	4306		
3	Lado A	1	0,2	0,7	4577	4197,25	289,28
		2	0,4	0,5	3883		
		3	0,6	0,3	4110		
		4	0,8	0,1	4219		
	Lado B	1	0,2	0,7	3883	3975,25	88,52
		2	0,4	0,5	4049		
		3	0,6	0,3	3916		
		4	0,8	0,1	4053		
4	Lado A	1	0,2	0,7	3617	3209,00	498,39
		2	0,4	0,5	3660		
		3	0,6	0,3	2836		
		4	0,8	0,1	2723		
	Lado B	1	0,2	0,7	3591	3817,75	267,65
		2	0,4	0,5	4053		
		3	0,6	0,3	4046		
		4	0,8	0,1	3581		
5	Lado A	1	0,2	0,7	3824	3283,75	395,97
		2	0,4	0,5	2901		
		3	0,6	0,3	3304		
		4	0,8	0,1	3106		
	Lado B	1	0,2	0,7	-	4074,33	111,38
		2	0,4	0,5	4024		
		3	0,6	0,3	4202		
		4	0,8	0,1	3997		



**Figura 40 – Gráfico com os resultados da velocidade de ultrassom.**

A partir dos resultados, é possível verificar a variação nas velocidades de ultrassom entre camadas de concretagem, em especial no nível 1, o que pode estar relacionado com as características do concreto naqueles pontos de execução.

Além disso, houve diferença entre os resultados obtidos nos lados A e B, principalmente nos níveis 4 e 5, sendo este comportamento atribuído ao possível dano causado pela ruptura das barras da estrutura. Os menores valores de velocidade de ultrassom nos níveis citados foram as do lado A, possivelmente por ser este o lado menos rígido da ligação.

Apesar das variações dos resultados, de acordo com a Tabela 3, a qual relaciona a velocidade de propagação da onda ultrassônica com a qualidade do concreto, no geral, todos podem ser classificados como bom e ótimo.

**Tabela 3 – Classificação do concreto com base na velocidade de ultrassom**

Velocidade de ultrassom (m/s)	Qualidade do concreto
$V > 4500$	Excelente
$3500 < V < 4500$	Ótimo
$3000 < V < 3500$	Bom
$2000 < V < 3000$	Regular
$V < 2000$	Ruim

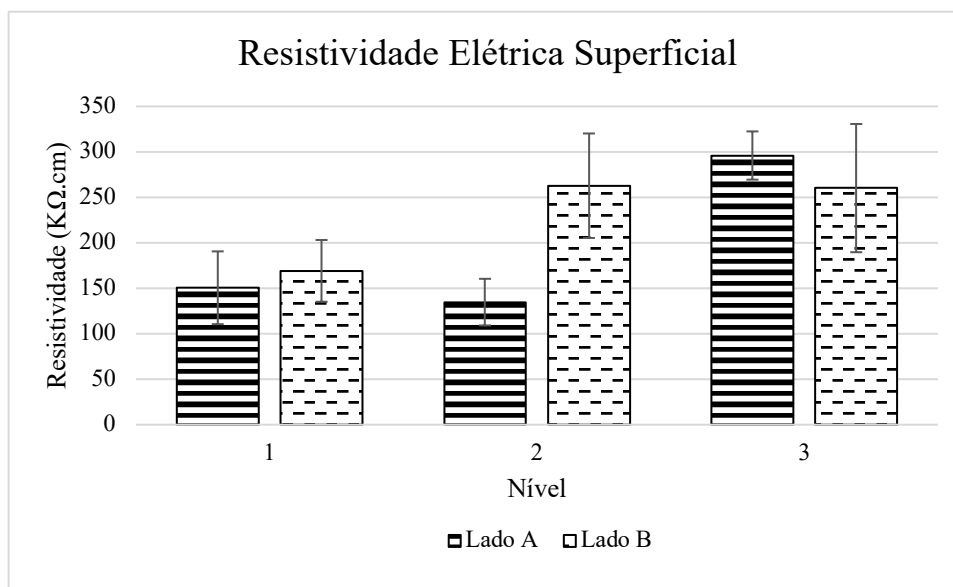
Fonte: Fonseca et al. (2021)

### c) Resistividade elétrica superficial do concreto

A Tabela 4 e Figura 41, a seguir, apresentam os resultados dos ensaios de resistividade superficial do concreto.

**Tabela 4 – Resultados do ensaio de resistividade elétrica superficial**

Nível	Lado	Resistividade elétrica superficial (KΩ.cm)	
		Média	Desvio Padrão
1	Lado A	150,56	40,0398
	Lado B	169,14	33,9745
2	Lado A	134,78	25,6345
	Lado B	262,78	57,4743
3	Lado A	296,00	26,5141
	Lado B	260,16	70,5013
4	Lado A	-	-
	Lado B	-	-
5	Lado A	-	-
	Lado B	-	-



**Figura 41 – Gráfico com os resultados da resistividade elétrica superficial.**

Comparando os resultados obtidos com os valores da literatura, todos os níveis apresentaram uma provável taxa de corrosão insignificante, conforme Tabela 5.

**Tabela 5 – Provável taxa de corrosão da armadura com base na resistividade elétrica do concreto**

Resistividade elétrica (KΩ.cm)	Provável taxa de corrosão
$R < 5$	Muito alto
$5 < R < 10$	Alto
$10 < R < 20$	Baixo/ Moderado
$R > 20$	Insignificante

Fonte: Reddy et al. (2020)

#### d) Potencial de corrosão

Os resultados do potencial de corrosão estão expressos na Tabela 6.

**Tabela 6 – Resultados do ensaio de potencial de corrosão**

Nível	Coluna/Linha	Lado A			Região da trinca	Lado B		
		1	2	3		5	6	7
1	1	-33	-18	-14	-1	-2	0	-12
	2	-28	-31	-13	-10	-9	-15	-8
	3	-30	-21	-24	-14	-72	0	-18
	4	-20	-36	-17	-16	-14	-10	-21
2	1	130	124	185	118	314	243	231
	2	124	144	199	288	288	277	247
	3	118	161	165	229	287	261	253
	4	88	152	173	70	246	274	242
3	1	40	23	82	35	60	70	79
	2	36	31	64	87	113	97	79
	3	31	44	62	84	90	103	91
	4	25	21	37	79	115	106	95

Todos os níveis ensaiados apresentaram uma probabilidade de atividade corrosiva inferior a 10%, de acordo com a classificação da Tabela 7. Todavia, o nível 1 apresentou valores menores que os demais níveis. Quando comparado com os demais ensaios, este nível apresentou menor índice esclerométrico, menores valores de velocidade de ultrassom e menor resistividade elétrica, indicando uma qualidade ligeiramente inferior do concreto nesta região e maior suscetibilidade de corrosão

**Tabela 7 – Probabilidade de atividade corrosiva com base no potencial de corrosão do concreto**

Potencial de corrosão E (mV)	Probabilidade de atividade corrosiva
$E > -200$	Inferior a 10%
$-200 < E < -350$	Incerteza
$E < -350$	Superior a 90%
$E < -500$	Condição severa

Fonte: Adaptado de SIDDHARTHA; KUMAR; RAYUDU (2020)

#### 5.5. Esquema das armaduras da PAR01 e do P04 as built

Após a realização dos ensaios destrutivos e não destrutivos foi possível montar um esquema das armaduras encontradas na obra na união da parede PAR01 e PAR02 com o pilar P04, como está apresentado na Figura 42. No esquema da Figura 42 pode-se observar

que as armaduras horizontais da parede PAR01 penetram em média 60 cm no pilar P04. Sendo esta uma grande viga parede em balanço (PAR01), onde as armaduras horizontais na parte superior da parede são as que devem resistir aos esforços de tração, o detalhe da armadura não contempla este fato. A armadura é distribuída uniforme ao longo da altura da viga parede ao invés de estar concentrada na face superior em uma distância da ordem de 15 a 20% de sua altura total. Além disso, em uma análise pelo método das bielas e tirantes, a área de armadura necessária nesta região deveria ser  $24,0 \text{ cm}^2$  e a área de armadura existente é de  $12,0 \text{ cm}^2$ .

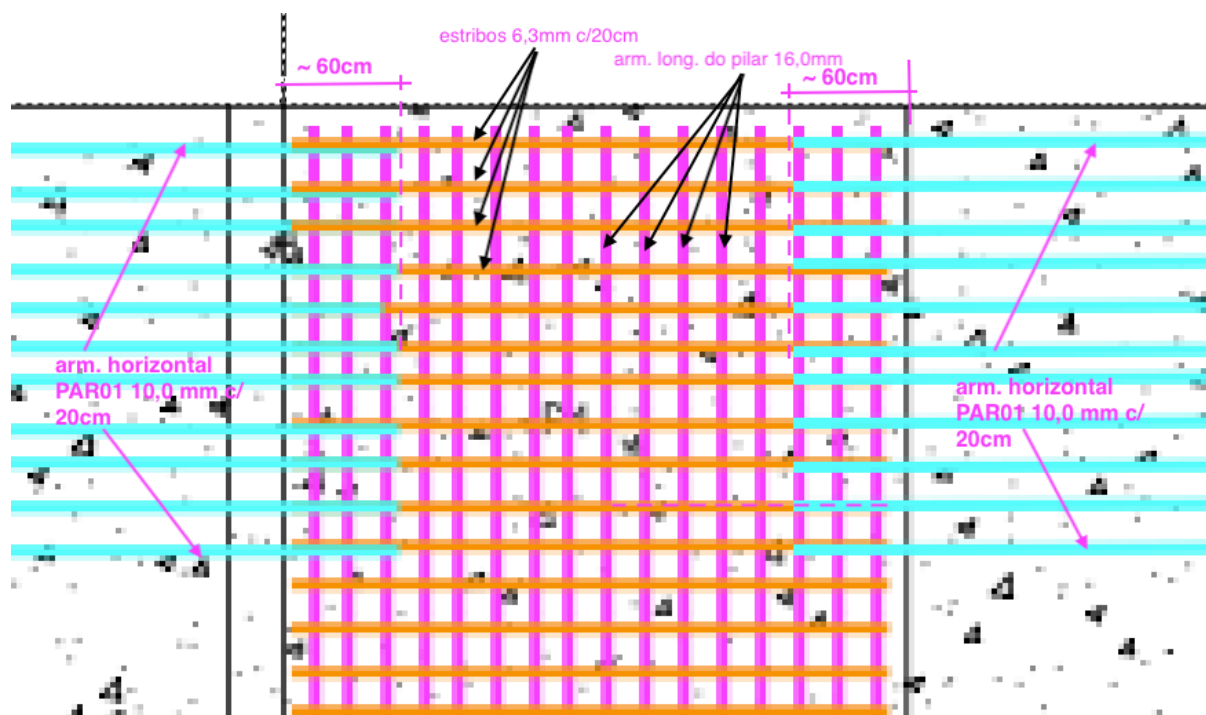


Figura 42 – Esquema das armaduras encontradas na obra na união da parede PAR01 e PAR02 com o pilar P04.

## 6. Modelo estrutural do Anexo ao Teatro do IA

O modelo numérico foi desenvolvido com base no Método dos Elementos Finitos. Para isso, foram utilizados os programas computacionais GiD (versão 10) e ATENA v.5.

O primeiro foi responsável pelas etapas referentes ao pré-processamento, em que se enquadram as definições geométricas da estrutura, modelos materiais e suas propriedades, condições de contorno e de carregamento, malha de elementos finitos e principalmente a estratégia de resolução do problema não-linear.

Como resultado do pré-processamento, gera-se um arquivo de entrada com todas as informações do modelo, que será lido e processado pelo ATENA v.5. O processamento utiliza métodos iterativos que, devido aos diferentes estados de tensão e deformação do material, são necessários para a resolução de problemas não-lineares.

Finalmente, o pós-processamento também é feito no ATENA onde são observados os resultados obtidos como o deslocamento da estrutura, níveis de tensão e deformação, fissuras, entre outros.

O objetivo do estudo foi analisar uma região específica da estrutura que apresentou trincas significativas que ocasionaram a ruptura da armadura. Foi realizada uma modelagem localizada contemplando apenas uma parte do bloco Anexo. Dessa forma evitou-se um custo computacional exacerbado sem perda no nível de significância dos resultados.

### 6.1. Cálculo dos carregamentos

As ações consideradas na estrutura são devido ao peso próprio dos elementos que a compõem, sendo esta a predominante, porém considerou-se também uma eventual sobrecarga causada pelo acúmulo de água da chuva na cobertura ou desvio para maior da estimativa do peso próprio

Para o cálculo da carga permanente na estrutura fez-se as seguintes considerações:

- O peso próprio das paredes e lajes foram consideradas a partir do peso específico do concreto armado ( $\gamma_c = 25\text{kN/m}^3$ ).
- A cobertura foi executada em pré-laje alveolar de 16 cm de espessura e capa de 10cm de concreto armado. Segundo dados técnicos da TATU Pré-Moldados esse tipo de laje pré-moldada corresponde a  $2,50\text{kN/m}^2$  de peso próprio (osso), que após a adição a capa de concreto armado resulta no peso próprio total de  $5,00\text{kN/m}^2$ .

Para o cálculo da sobrecarga da cobertura fez-se as seguintes considerações:

- Admite-se um acúmulo de água da chuva, representada por uma camada com profundidade de 10cm.
- A partir do peso próprio da água ( $\gamma_{\text{água}} = 10\text{kN/m}^3$ ) estimou-se uma sobrecarga de  $1,00\text{ kN/m}^2$ .

Todas as cargas provenientes da cobertura, ou seja, seu peso próprio e a sobrecarga, descarregam na parede PAR01 e em quatro consolos fixados nas paredes PAR35 a PAR38.

Na Figura 43 encontra-se ilustrado um esboço dos locais que recebem carga da cobertura, assim como o cálculo das parcelas de carga provenientes da laje da cobertura.

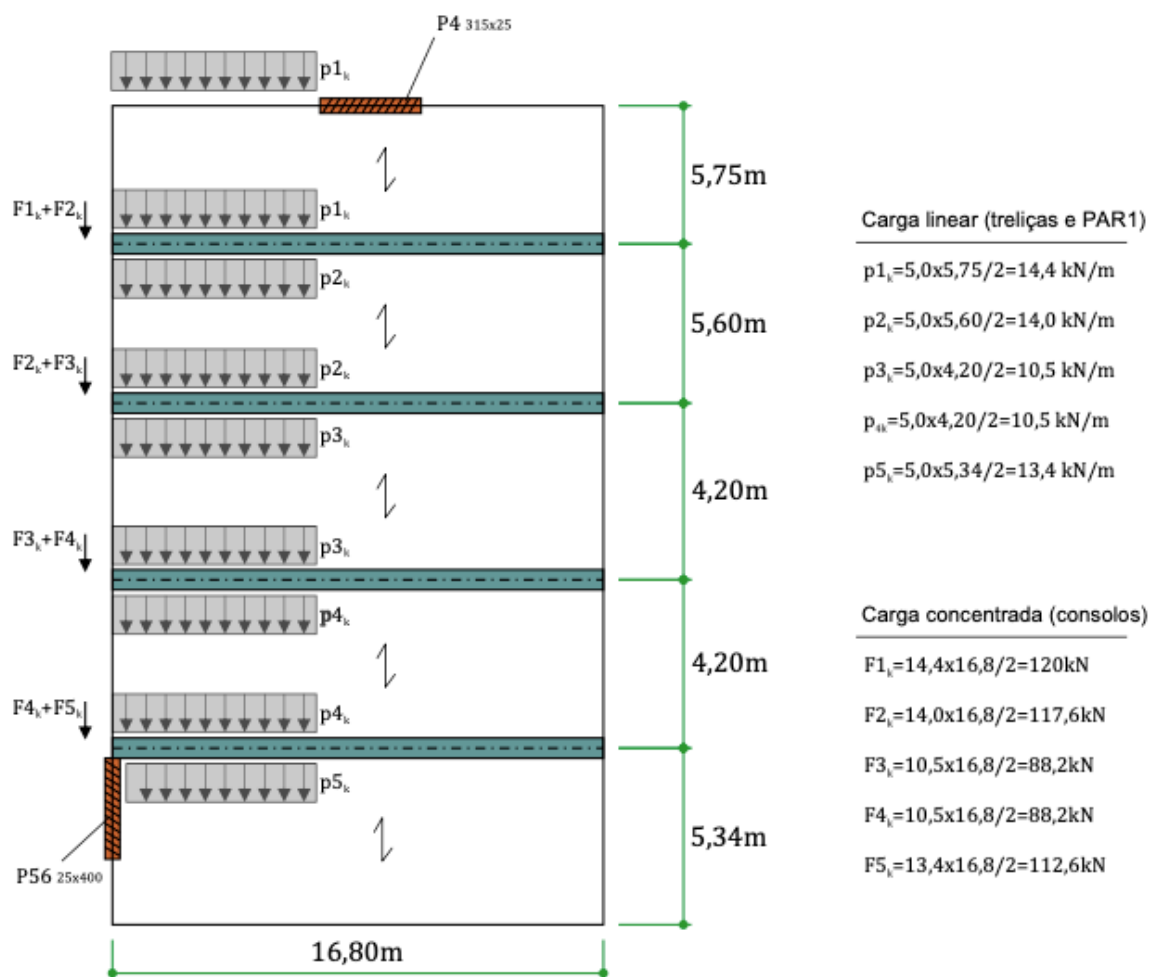


Figura 43 –Croqui da distribuição de cargas da laje de cobertura.

Ao todo utilizaram-se três intervalos para aplicação de carregamento, sendo os dois primeiros correspondentes ao peso próprio e o último referente à sobrecarga da cobertura. Em cada intervalo a carga é aplicada de maneira incremental.

No primeiro deles, aplicou-se os pesos próprios referentes às vigas, laje de piso, paredes e consolos, divididos em 50 passos de carga.

No segundo intervalo aplicou-se apenas peso próprio da cobertura; a parede PAR01 recebeu 14,4kN/m; os consolos 1, 2, 3 e 4 receberam 238,5kN, 205,8 kN, 176,4kN, 200,3kN, respectivamente, também divididos em 50 passos de carga. Por último, no terceiro intervalo aplicou-se a sobrecarga da cobertura dividida em 40 passos de carga, correspondendo a 0,025kN/m<sup>2</sup>/passo.

## 6.2. Condições de contorno

Como apenas parte do bloco Anexo foi modelada, necessitou-se um maior cuidado na definição dos pontos de apoio da estrutura e demais condições de contorno.

Iniciando pelos pilares, todos tiveram suas bases restritas quanto ao deslocamento vertical (eixo z). Os pilares P04 e P56 também tiveram restrições de translação em superfícies laterais que representam a continuidade do bloco Anexo; no P04 essa restrição se deu no eixo x enquanto no P56 foi no eixo y. As faces externas das vigas do pavimento foram travadas restringindo seu deslocamento fora do plano.

A conexão entre elementos com malhas distintas foi realizada através da condição *Master- Slave*. Essa condição (nó mestre e nó escravo) iguala os deslocamentos entre nós criando uma conexão perfeitamente rígida. Como regra, a malha de elementos finitos mais refinada no trecho em comum tem seus deslocamentos igualados ao da malha menos refinada.

Na Figura 44 encontram-se ilustrados os macroelementos para a criação do modelo e o carregamento aplicado no segundo intervalo de carga.

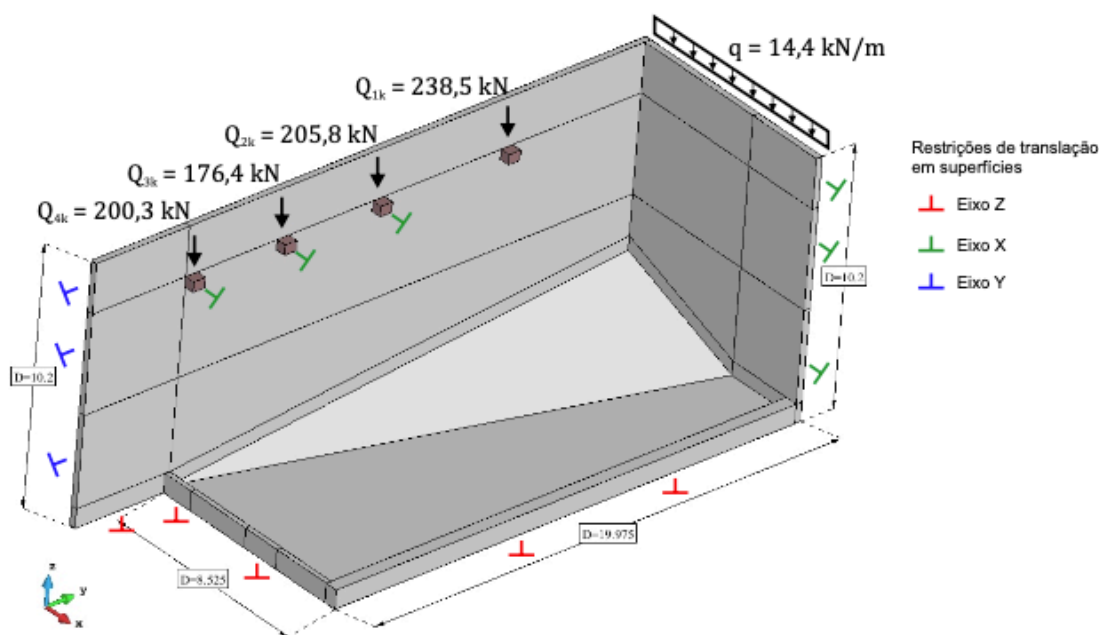


Figura 44– Macromodelo e carregamento proveniente da cobertura.

A laje L301 contém uma abertura circular no trecho plano próximo ao pilar P56. No entanto, optou-se por não modelar tal abertura que se encontra relativamente afastada da região onde observou-se o problema estudado (PAR01). Essa decisão foi tomada sem prejuízos ao modelo e aos resultados, uma vez que, devido à distância, dificilmente a rigidez da parede PAR01 seria afetada.

### 6.3. Malha de elementos finitos

As paredes, pilares e lajes foram modeladas com elementos do tipo *Shell* contendo 8 camadas ao longo de sua espessura. Cada nó desses elementos possui três graus de liberdade de translação. Dentro dos elementos *Shell* estavam contidas as armaduras, modeladas de forma discreta com elementos do tipo *Truss* considerados perfeitamente aderidos ao concreto. No caso das paredes foram modeladas as duas camadas de armaduras (ortogonais no formato de malha) contidas ao longo da espessura, afastadas 2cm das faces e espaçadas a cada 20cm. Esses elementos possuem apenas um grau de liberdade (axial).

Nas vigas utilizaram-se elementos do tipo *Brick* que também possuem três graus de liberdade por nó.

Todos os elementos têm a correspondente função de forma, atribuída ao campo de deslocamentos, no formato quadrático.

O tamanho médio da malha nas paredes, lajes e pilares foi 40x40cm<sup>2</sup>. Para melhor capturar o efeito da fissuração esperada no pilar P04, fez-se um refinamento da malha que passou para 20x40cm<sup>2</sup>.

Na Figura 45 encontra-se representada a malha empregada.

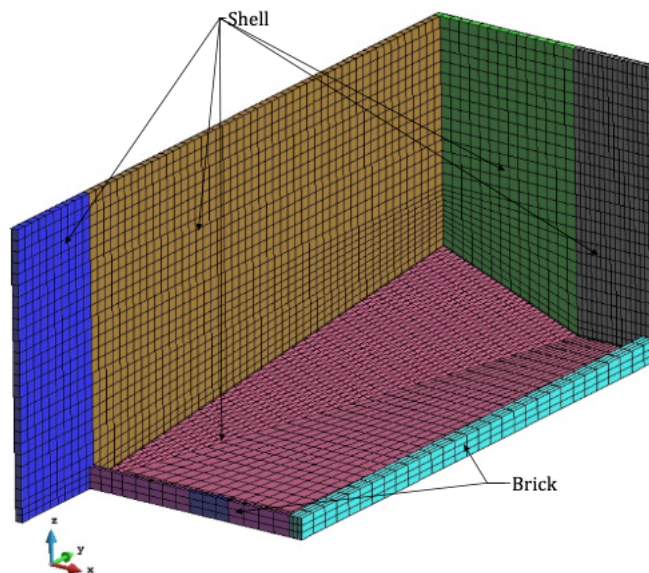


Figura 45– Malha de elementos finitos do modelo..

### 6.4. Modelo constitutivo

O comportamento do concreto foi simulado pelo modelo constitutivo *CC3DNonLinCementitious2* cujos parâmetros foram definidos conforme o *Model Code 2010* a partir da resistência à compressão. Esse modelo, consegue reproduzir o comportamento do material quando submetido ao estado triplo de tensões.

A resistência à compressão admitida (30MPa) foi extraída do projeto executivo. Na Tabela 8 encontram-se os principais parâmetros utilizados para o concreto assim como os seus respectivos valores.

**Tabela 8 –Parâmetros materiais do concreto.**

Parâmetro	Valor	Observações
Resistência à compressão, $f_c$ [MPa]	30	
Compressão máxima linear, $f_{c0}$ [MPa]	4.95	
Resistência à tração, $f_t$ [MPa]	1.18	Reduzido 50% devido à retração
Módulo de elasticidade, $E_c$ [MPa]	31008	Calculado segundo MC
Poisson, $\nu$	0.2	
Energia de fratura, $G_f$ [N/m]	135	
Modelo de fissura	Fixo	
Tamanho máx. agregado, $A_g$ [mm]	20	
Deformação plástica, $\varepsilon_{cp}$	0.00133	
Deslocamento plástico, $w_d$ [mm]	0.5	
Redução da compressão devido fissuras	0.6	
Não-linearidade geométrica	sim	

O comportamento da armadura foi simulado pelo modelo constitutivo *CCReinforcement*. A relação tensão-deformação para esse modelo foi admitida bi-linear e seguiu o comportamento de um material elasto-plástico perfeito de forma aproximada.

Na Tabela 9 encontram-se os principais parâmetros utilizados para a armadura assim como os seus respectivos valores. Os detalhamentos dos pilares, paredes e lajes podem ser vistos no Anexo deste Laudo.

A estrutura do bloco Anexo conta com quatro consolos no trecho analisada para receber a carga proveniente da cobertura. Tais consolos foram incorporados no modelo e seu comportamento foi simulado pelo modelo constitutivo *CC3DElastIsotropic*. Esse comportamento emprega uma relação elástica e linear para a curva tensão-deformação, cujo módulo de elasticidade vale 200GPa. A opção por esse modelo constitutivo fez-se de maneira a evitar uma possível fissuração local, o que poderia afetar a resolução do procedimento numérico, uma vez que a única função dos elementos é transferir a carga da cobertura para a parede. Globalmente, esses elementos não afetam o modelo de forma significativa.

**Tabela 9 –Parâmetros materiais da armadura.**

Parâmetro	Valor	Observações
Armadura longitudinal no pilar P4	34 $\phi$ 12,5mm	
Armadura transversal no pilar P4	$\phi$ 6,3mm	c/ 15cm
Armadura longitudinal no pilar P56	18 $\phi$ 16mm	
Armadura transversal no pilar P56	$\phi$ 6,3mm	c/ 17,5cm
Armadura horizontal na parede Par1	$\phi$ 10mm	c/ 20cm
Armadura vertical na parede Par1	$\phi$ 8mm	c/ 20cm
Armadura horizontal na parede Par35 até Par38	$\phi$ 10mm	c/ 20cm
Armadura vertical na parede Par35 até Par38	$\phi$ 10mm	c/ 20cm
Armadura positiva da laje L301 (duas direções)	$\phi$ 12,5mm	c/ 14cm
Tensão de escoamento, $f_y$ [MPa]	500	
Módulo de elasticidade, $E_s$ [GPa]	210	
Tensão última, $f_u$ [MPa]	505	
Deformação última, $\epsilon_{su}$	0.025	

## 6.5. RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados de duas análises desenvolvidas no modelo do bloco Anexo ao Teatro do IA.

Verificou-se o somatório das reações verticais nos apoios para se ter uma ideia do nível de carregamento que a estrutura está sujeita. Esse resultado é apresentado na Figura 46 onde é possível observar a reação dos apoios em cada intervalo de carga.

O peso próprio dos elementos estruturais, exceto cobertura, corresponde a 2588,2kN que foi obtido ao final do primeiro intervalo. Foram adicionados 953,3kN (3,5253MN) ao se inserir a cobertura no segundo intervalo. Por último, no terceiro intervalo foram adicionados 187,5kN (3,7128MN) que corresponde a aproximadamente 5% de sobrecarga.

### Intervalo 1

Output data for request: REACTIONS - SUMMATION  
Description: Current reactions, ie. LHS at constrained nodes  
Step: 50 Iteration: 6 at Time: 50

```
-----
Node      DOF(3)
Units      MN
... 2.5881860
```

### Intervalo 2

Output data for request: REACTIONS - SUMMATION  
Description: Current reactions, ie. LHS at constrained nodes  
Step: 100 Iteration: 2 at Time: 100

```
-----
Node      DOF(3)
Units      MN
... 3.5253458
```

### Intervalo 3

Output data for request: REACTIONS - SUMMATION  
Description: Current reactions, ie. LHS at constrained nodes  
Step: 140 Iteration: 60 at Time: 140

```
-----
Node      DOF(3)
Units      MN
... 3.7128316
```

Figura 46 – Somatório das reações de apoio ao final de cada intervalo.

## 6.6. Modelo construído - "As-built"

Na Figura 47 mostra-se a configuração final deformada da estrutura obtida quando a armadura entra em escoamento. Observa-se uma tendencia de torção no trecho final dos balanços fazendo com que as paredes PAR35 a PAR38 "entrem" e a parede PAR01 "saia" do edifício visto em planta, condição esta que foi constatada *in loco* e possivelmente causou o destacamento do concreto no topo do balanço.

O comportamento em termos de deslocamento vertical (eixo Z) segue o esperado para esse tipo de estrutura. A maior flecha da laje de piso (2,7mm) ocorreu próxima da região central o que é típico de casos em que há apoios em todas as bordas. Nas paredes, o maior deslocamento foi observado na ligação entre elementos perpendiculares na extremidade do balanço, sendo este de aproximadamente 1,7mm.

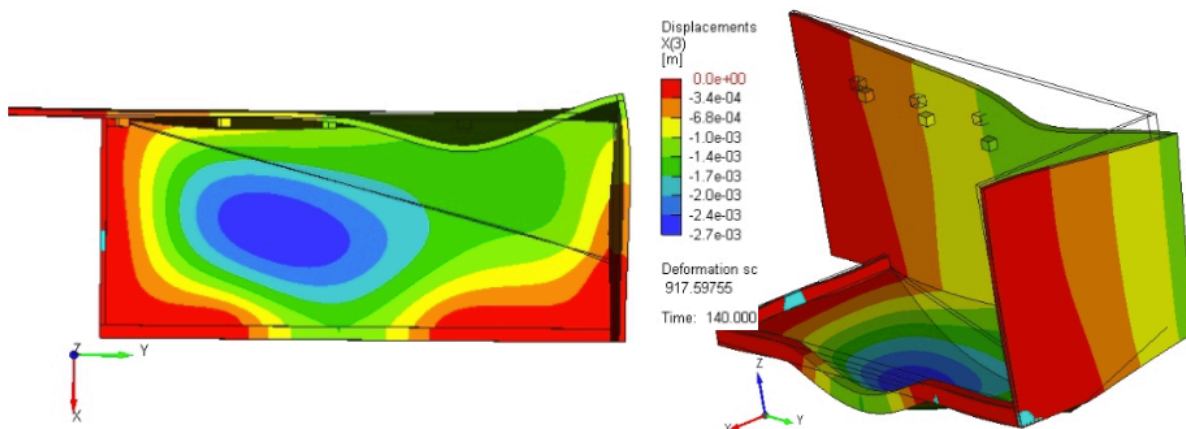


Figura 47 – Configuração deformada do modelo "as-built".

Um maior foco é dado na análise do pilar P04 e parede da PAR01 pois eles pertencem ao plano onde foi constatada, em obra, uma grande trinca e a ruptura das armaduras horizontais. Para isso, a curva reação de apoio no pilar P04 versus deslocamento no balanço é representada na Figura 48. Nota-se que fissuração do pilar P04 tem início no intervalo 2, sendo identificada visualmente no modelo e também por uma queda de rigidez e aumento do deslocamento entre dois passos de carga consecutivos. Em seguida, no intervalo 3 ocorre uma pequena recuperação de rigidez no pilar, no entanto a armadura transversal correspondente aos estribos entra em escoamento.

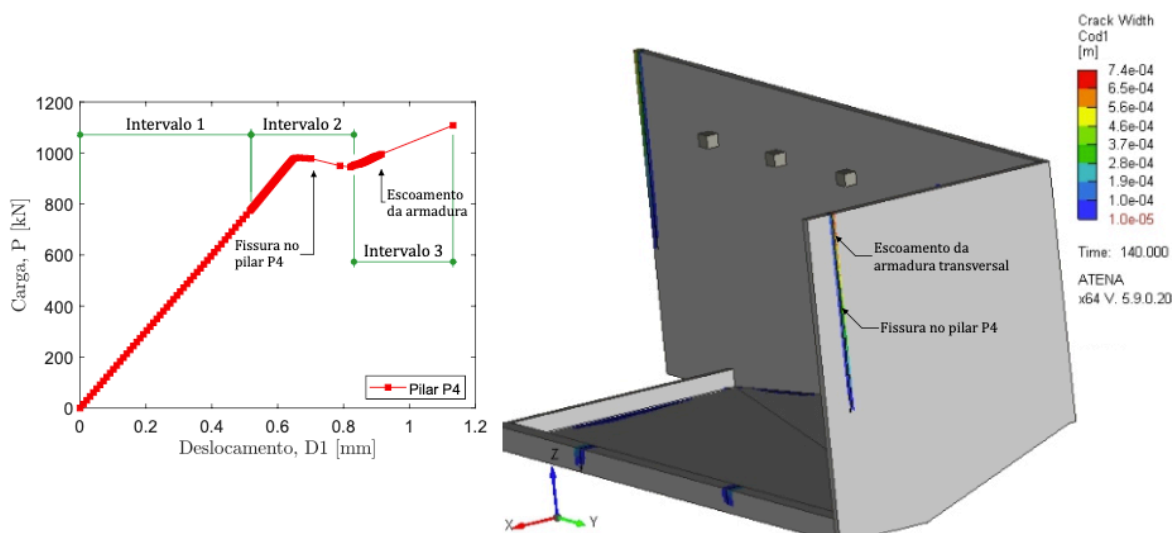


Figura 48– Curva carga-deslocamento e padrão de fissuração.

A evolução da fissuração no pilar P04 é ilustrada na Figura 49. Como as armaduras horizontais das paredes vizinhas adentram no pilar P04, estas fazem com que a fissuração se inicie afastada da lateral. A fissura principal tem origem no topo do pilar quando a carga é de 980 kN e progride verticalmente em direção ao apoio. A abertura da fissura mede 0,74 mm quando a armadura entra em escoamento.

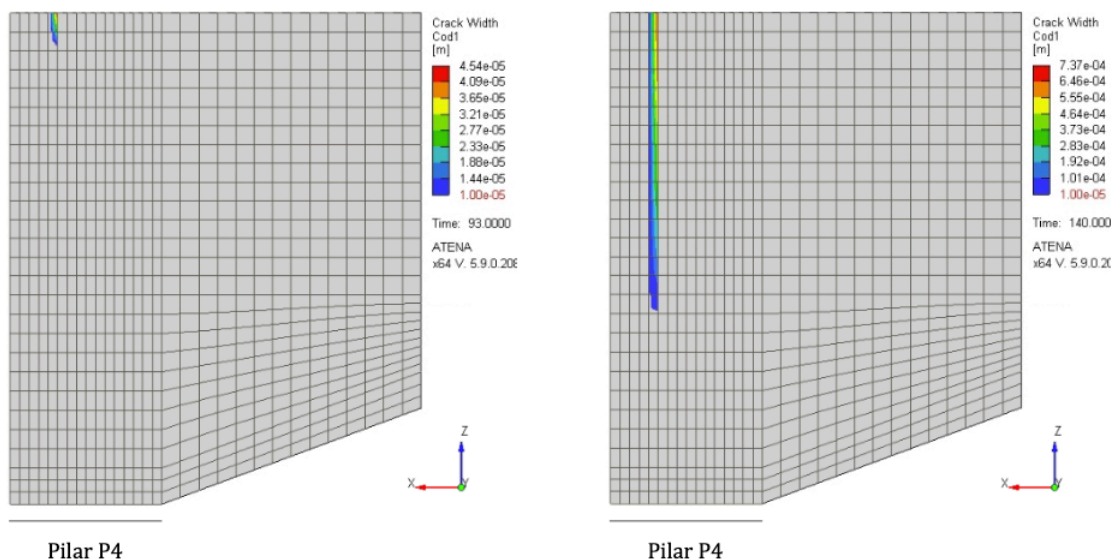


Figura 49 - Evolução da fissuração no pilar P04.

Na Figura 50 mostram-se as tensões atuantes nas armaduras. É possível perceber que apenas algumas barras horizontais próximas à base do pilar são comprimidas enquanto o restante na parte superior é tracionado.

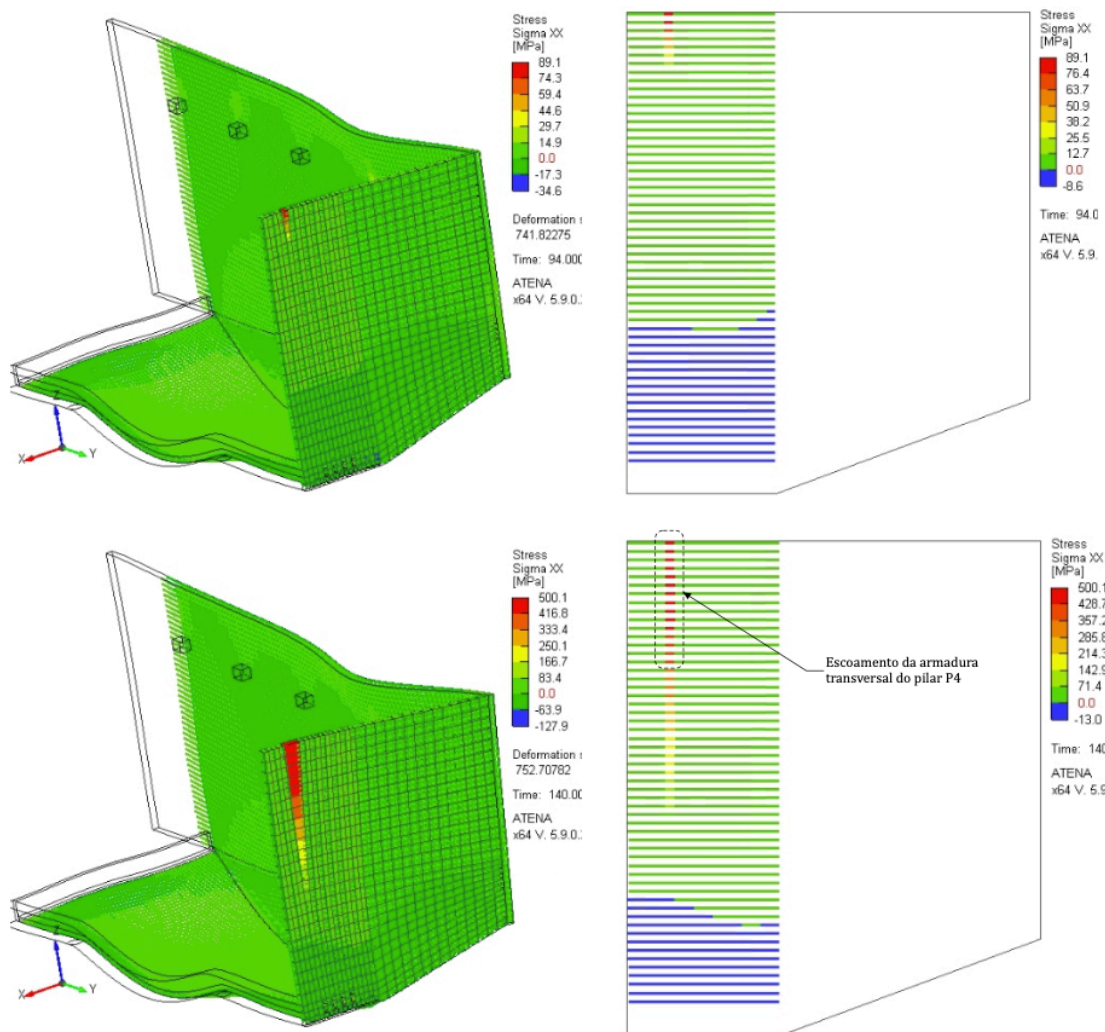


Figura 50 - Escoamento da armadura no pilar P04.

Na Figura 50 pode-se observar que quanto maior a carga aplicada maior é o número de barras sujeitas à tração; o escoamento do aço ocorre simultaneamente nas barras horizontais destacadas da nesta figura.

Encontram-se representados na Figura 51 as curvas carga-deslocamento dos três pilares que sofrem maior influência das paredes. Como é possível notar, ocorre uma redistribuição de esforços decorrente da fissuração do pilar P04 seguido pelo pilar P56. Quando o pilar P04 fissura, parte da carga do balanço passa a ser resistida pelo pilar P56. Quando este último, por sua vez, fissura, a plastificação dos apoios do balanço leva os estribos do pilar P04 ao escoamento.

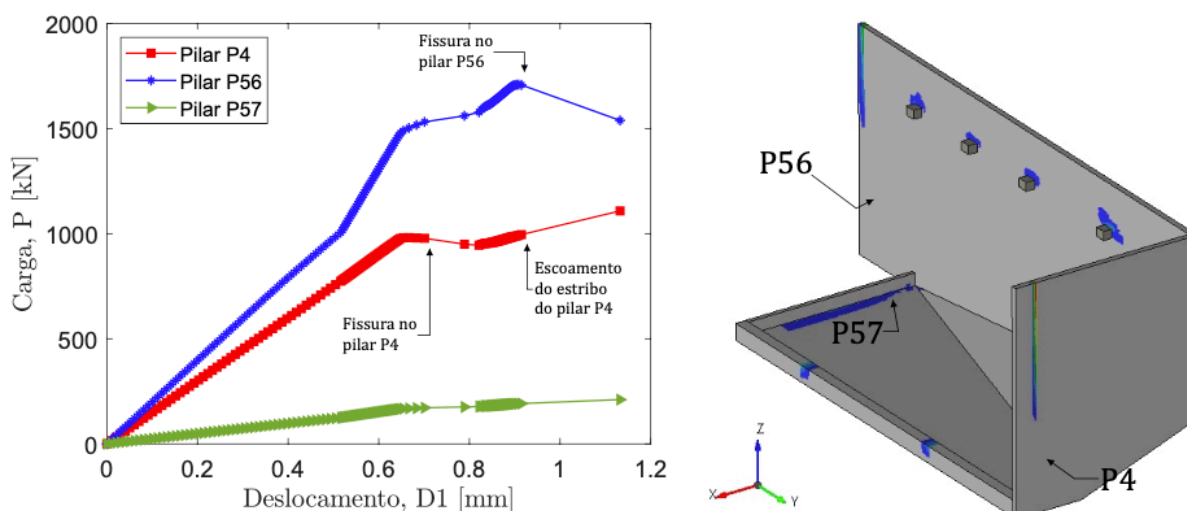


Figura 51 - Reações de apoio dos pilares.

A Figura 52 mostra a reação vertical por pilar em função de passo de carga e o erro na resolução do modelo não-linear. Novamente é possível observar a redistribuição dos esforços entre pilares. O erro atrelado ao modelo encontra-se sob controle, abaixo de 7%. Os dois picos constatados no erro relativo ao equilíbrio de forças acontecem durante as redistribuições dos esforços devido ao aumento das não-linearidades do problema (fissuração, escoamento etc.).

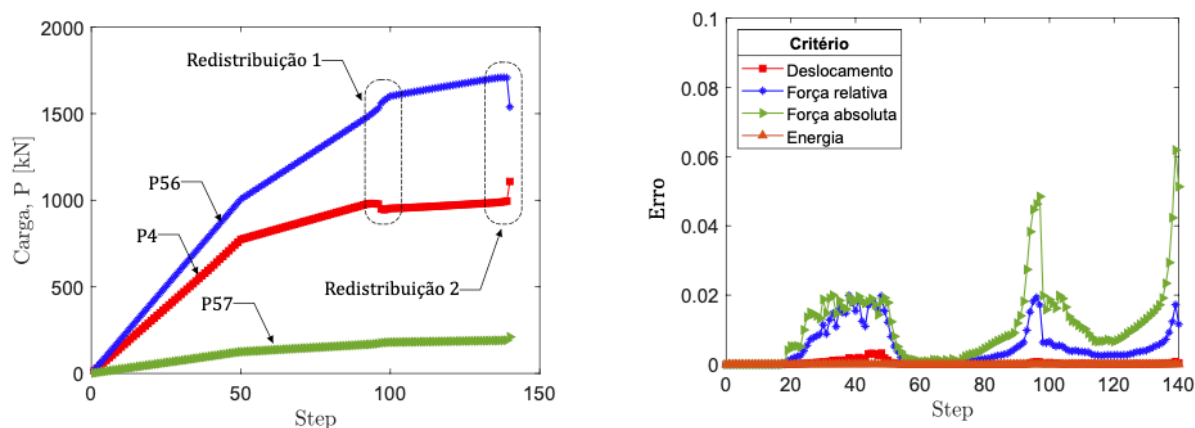


Figura 52 - Redistribuição de esforços e erros atrelados ao modelo não-linear.

## 6.7. Modelo com inserção de dois pilares sob vigas paredes PA01 e PAR35

Na Figura 53 mostra-se a configuração final deformada da estrutura com adição de dois pilares (CA1 e CA2) nas vigas paredes PAR01 e PAR35. Os deslocamentos verticais da laje são semelhantes aos do modelo “as built”, porém a inclusão do novo pilar elimina trecho em balanço das paredes, que passam agora para uma condição bi-apoiada.

O comportamento da região estudada, pilar P04 e parede PAR01 com adição do novo pilar, é apresentado na Figura 54 onde é possível observar a curva reação do pilar P04 versus passo de carga. Nota-se agora que, diferentemente do modelo anterior, não há redução de rigidez nos intervalos. Isso porque o novo apoio evita que os pilares P04 e P56 fissurem.

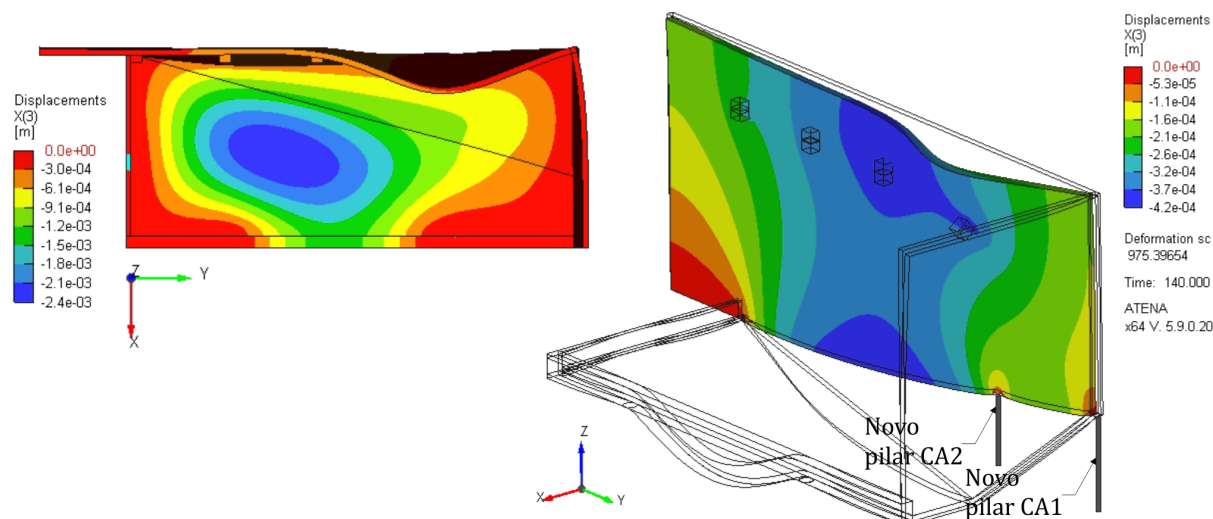


Figura 53 – Configuração deformada do modelo com adição do novo pilar.

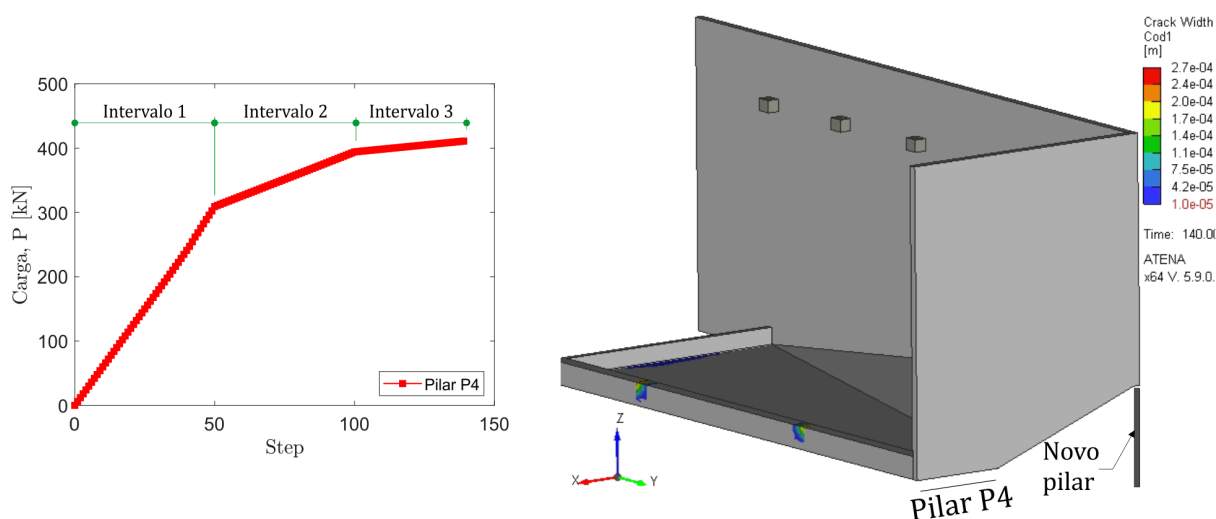


Figura 54 – Curva carga-deslocamento e padrão de fissuração após a adição do novo pilar.

O padrão de fissuração do modelo com adição do novo pilar é ilustrado na Figura 55. Como é possível observar, o pilar P04 se mantém íntegro. Embora apareça uma fissura localizada acima do novo pilar. Esta fissura possui pequena abertura podendo ser desprezada. O limite para a abertura de fissura segundo a NBR 6118 (2014) é 0,2mm para uma classe de agressividade ambiental IV.

Na Figura 56 mostram-se as tensões nas armaduras. Observa-se que todas as barras de aço estão longe da condição de escoamento.

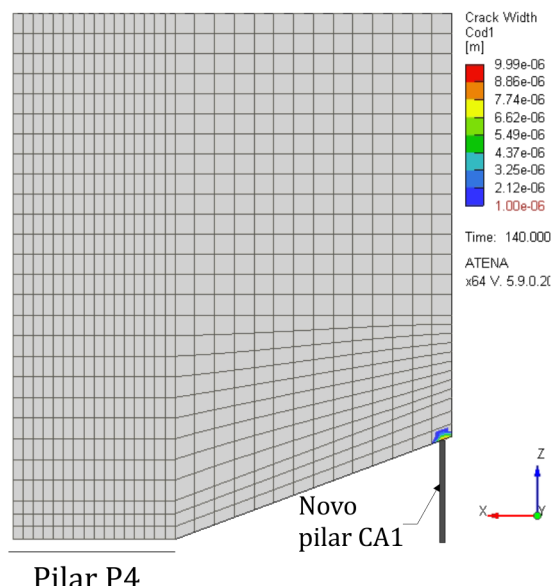


Figura 55– Padrão de fissuração no pilar P04 e parede Par01 após a adição do novo pilar.

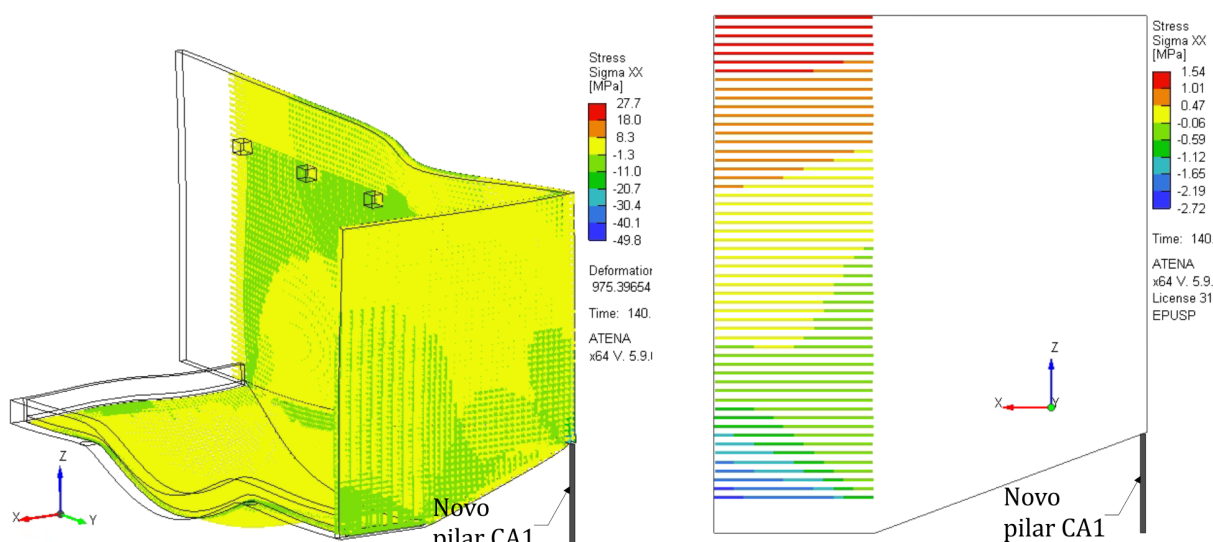


Figura 56 – Tensões nas armaduras no modelo após a adição do novo pilar.

Na Figura 57 são apresentadas as curvas de reação dos pilares versus passo de carga, assim como as condições de convergência do modelo. Embora não existam quedas significativas nas reações dos pilares, não é possível afirmar a inexistência

da redistribuição de esforços, porém há fortes indícios. O novo pilar CA1 suporta 514,8kN ao final da análise, enquanto o novo pilar CA2 suporta 857,5kN.

O erro atrelado ao modelo encontra-se sob controle, abaixo de 2%.

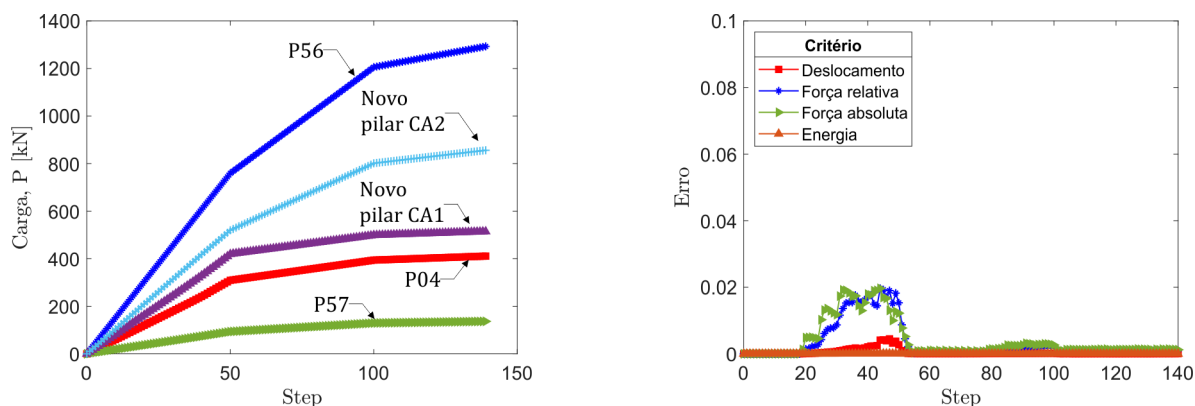


Figura 57 – Reação dos pilares e erros atrelados ao modelo não-linear após a adição do novo pilar.

## 7. CONCLUSÕES

---

Com base nas vistorias e investigações realizadas no prédio Anexo ao Teatro e nas análises numéricas apresentadas neste laudo técnico, pode-se concluir que o projeto estrutural comprometeu significativamente o comportamento da parede PAR01 juntamente com o pilar P04, destacando-se os seguintes pontos:

- A estrutura externa do prédio Anexo ao Teatro é composta de paredes maciças de concreto armado, as quais não exibem apoios contínuos (por exemplo, blocos ou sapatas corridas). No entanto, foram delimitados, nessas paredes, trechos como pilares discretos apoiados sobre blocos - assim, tudo indica que estas "paredes" foram concebidas inadequadamente por meio de elementos lineares (barras), e não bidimensionais (chapas). Através desta concepção, a estrutura executada acaba por apresentar um comportamento complexo e misto entre parede e pilar.
- No encontro da PAR01 com o pilar P04, engaste de uma viga parede com o pilar de apoio, não foi encontrado armadura de flexão adequada para esta ligação, tanto em quantidade quanto em seu comprimento, sendo este fato o que deu origem a ruptura localizada e sequencial das armaduras horizontais do pilar P04 e a trinca de grande abertura e comprimento no pilar P04, como foi demonstrado ao longo do Laudo. **A trinca no pilar P04 poderia ter levado a um colapso parcial da estrutura do Anexo do Teatro.**
- Devido ao alto risco de ruína, foi providenciado um escoramento localizado nos trechos em balaios das paredes PAR01 e PAR35.
- As trincas localizadas na laje de cobertura são consequências da ruptura do pilar e da abertura (trinca) e posterior deslocamento da PAR01 e PAR35, como foi mostrado no decorrer deste Laudo. Estas trincas de compatibilidade de deslocamento, não colocaram em risco de ruína a laje de cobertura.
- Demais trincas que apareceram após a ruptura parcial do pilar, foram de compatibilidade e não colocaram em risco os elementos estruturais, devendo ser tratadas após a recuperação da estrutura.

Durante o processo de avaliação dos danos causados à estrutura e o estudo das alternativas de reforço e recuperação, considerou as seguintes possibilidades:

- a) Reforço com utilização de proteção externa e aplicação de fibra de carbono no trecho do pilar P04 e paredes PAR01 e PAR02;
- b) Reforço com fibras de carbono inseridas no trecho do pilar P04 e paredes PAR01 e PAR02;
- c) Reforço com inserção de um pilar na junção das paredes PAR01 e PAR35, e aplicação de fibra de carbono no trecho do pilar P04 e paredes PAR01-e PAR02.
- d) Reforço com inserção de dois pilares, sendo um na junção das paredes PAR01 e PAR35 e o outro sob a parede PAR35 apoiado no pilar existente P22. Aplicação de fibra de carbono no trecho do pilar P04 e paredes PAR01-e PAR02.

**Após as análises e levando-se em conta o estado de tensão não previsto que o trecho da estrutura foi submetido, optou-se pela alternativa d, “Reforço com inserção de dois pilares, sendo um na junção das paredes PAR01 e PAR35 e o outro sob a parede PAR35 apoiado no pilar existente P22. Aplicação de fibra de carbono no trecho do pilar P04 e paredes PAR01 e PAR02”, por resultar em uma estrutura recuperada com redundância de segurança.**

## 8. INTERVENÇÕES E RECOMENDAÇÕES

---

A partir das vistorias, das análises e das modelagens numéricas apresentadas nesse Laudo, pode-se recomendar as seguintes intervenções no prédio Anexo do Teatro da UNICAMP – com execução de projeto de reforço contemplando:

- Reforço da fundação com 4 novas estacas de 25cm de diâmetro e 400kN de capacidade por estaca. As estacas podem ser do tipo raiz ou mega, conforme a Figura 58.
- Macaqueamento das vigas paredes PAR01 (500kN) e PAR35 (850kN), em duas posições próximas dos novos pilares CA1 e CA2, para alívio do peso próprio suportado por outros elementos, quando da redistribuição dos esforços. Este macaqueamento der ser aplicado em intervalos máximos de 15% de cada carga das referidas posições.
- Execução de 2 (dois) novos pilares em aço, denominados CA1 e CA2, com seção transversal circular vazada com diâmetro externo de 219,1mm e espessura de parede de 12,5 mm, em aço estrutural MR250 ( $f_y \geq 250$  MPa), conforme a ABNT NBR 7007:2016. Estes novos pilares serão apoiados nos pilares existentes denominados P03 e P22, com suas fundações reforçadas, para suportar a viga parede PAR01 e PAR35, como está mostrado nas Figura 59 a Figura 61.
- Detalhe das placas de apoio superior e inferior está apresentado no Anexo II deste Laudo
- Regularização da parede PAR01 e pilar P04, de modo a eliminar a variação brusca de seção, preparando para a aplicação da fibra de carbono, conforme recomendado no croqui da Figura 62.
- Na região do pilar P04 aplicar inibidor de corrosão, devido ao tempo que algumas armaduras ficaram expostas.
- Injeção de resina epóxi ao longo da **trinca do pilar P04** para recomposição da seção trincada (Figura 62).
- Reforço com fibras de carbono na região fissurada da viga parede PAR01 com o pilar P04, conforme indicado no esquema da Figura 63 e Figura 64.
- Injeção de resina epóxi ao longo das trincas **da laje de cobertura** para recomposição da seção trincada.

- Reforço com fibras de carbono na região fissurada da **laje de cobertura**, conforme indicado no esquema da Figura 65.
- Sobre os reforços de fibra de carbono, deverá ser executada uma proteção mecânica. A proteção mecânica deverá garantir a vida útil e ataques de vandalismo nas áreas com as fibras.
- Recuperação de todas as áreas degradadas dos elementos estruturais de concreto armado.

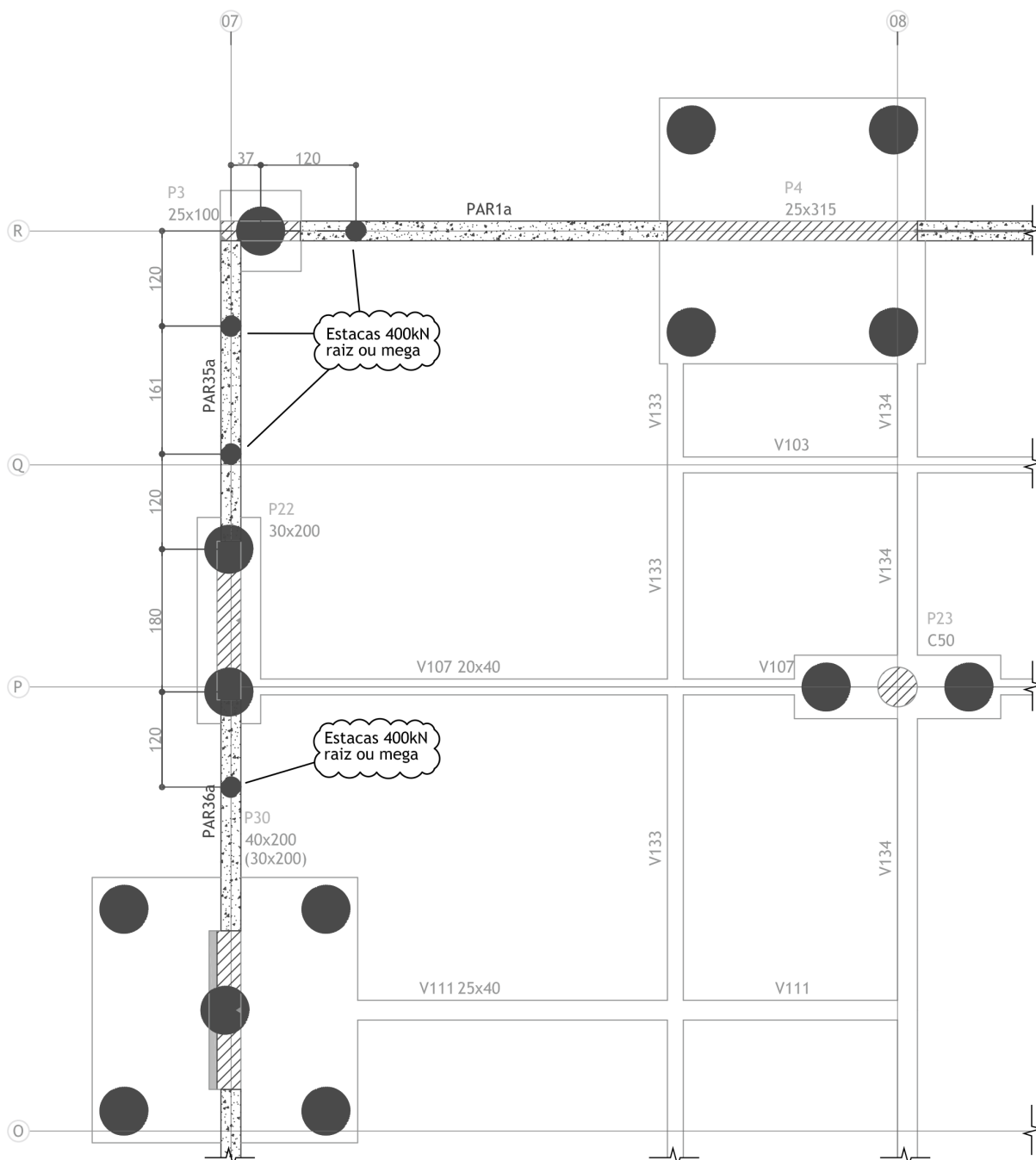


Figura 58 – Croqui com estacas de reforço da fundação para a inserção de dois novos pilares.

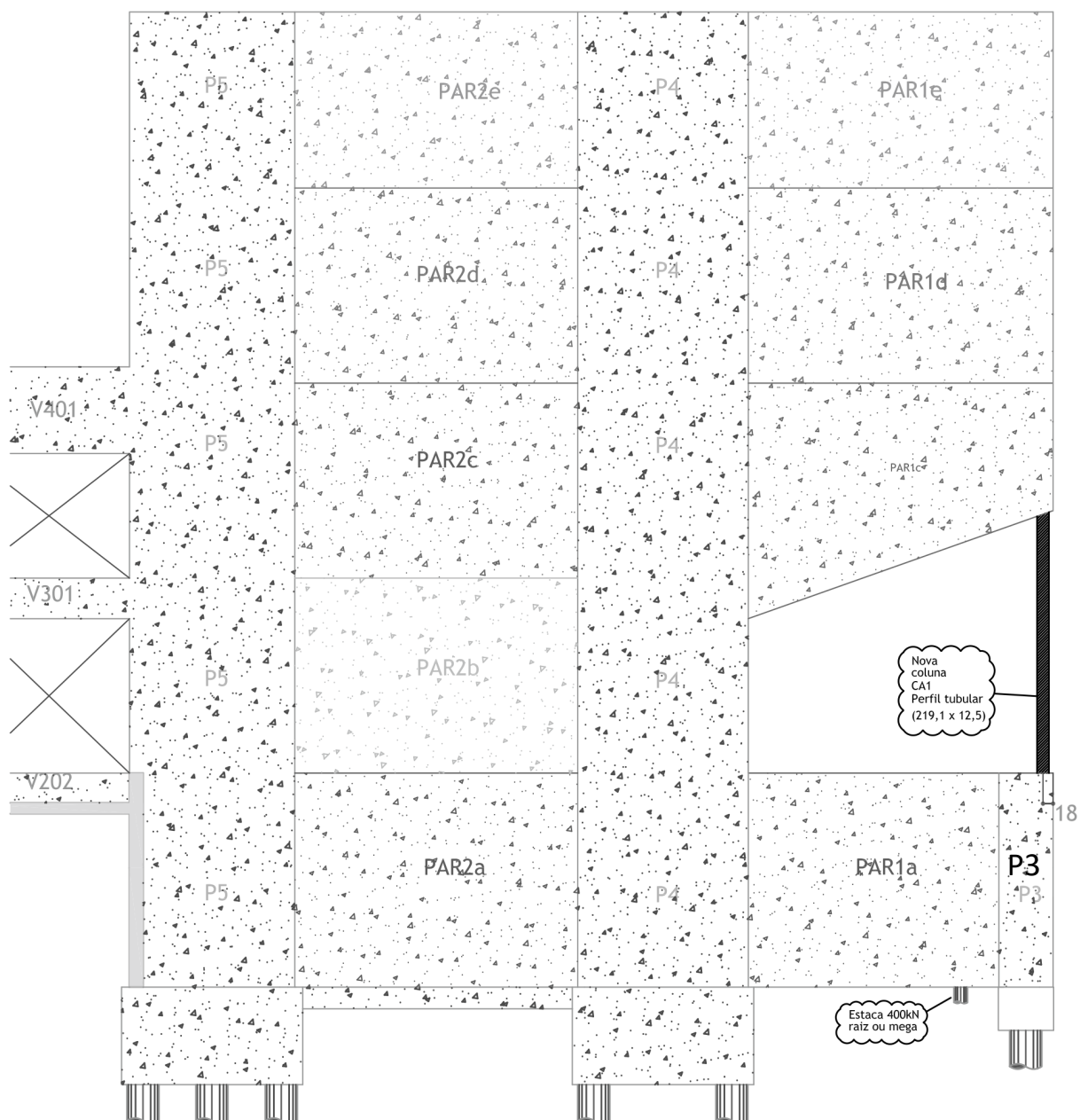


Figura 59 – Croqui da PAR01 com a inserção de pilar de reforço.

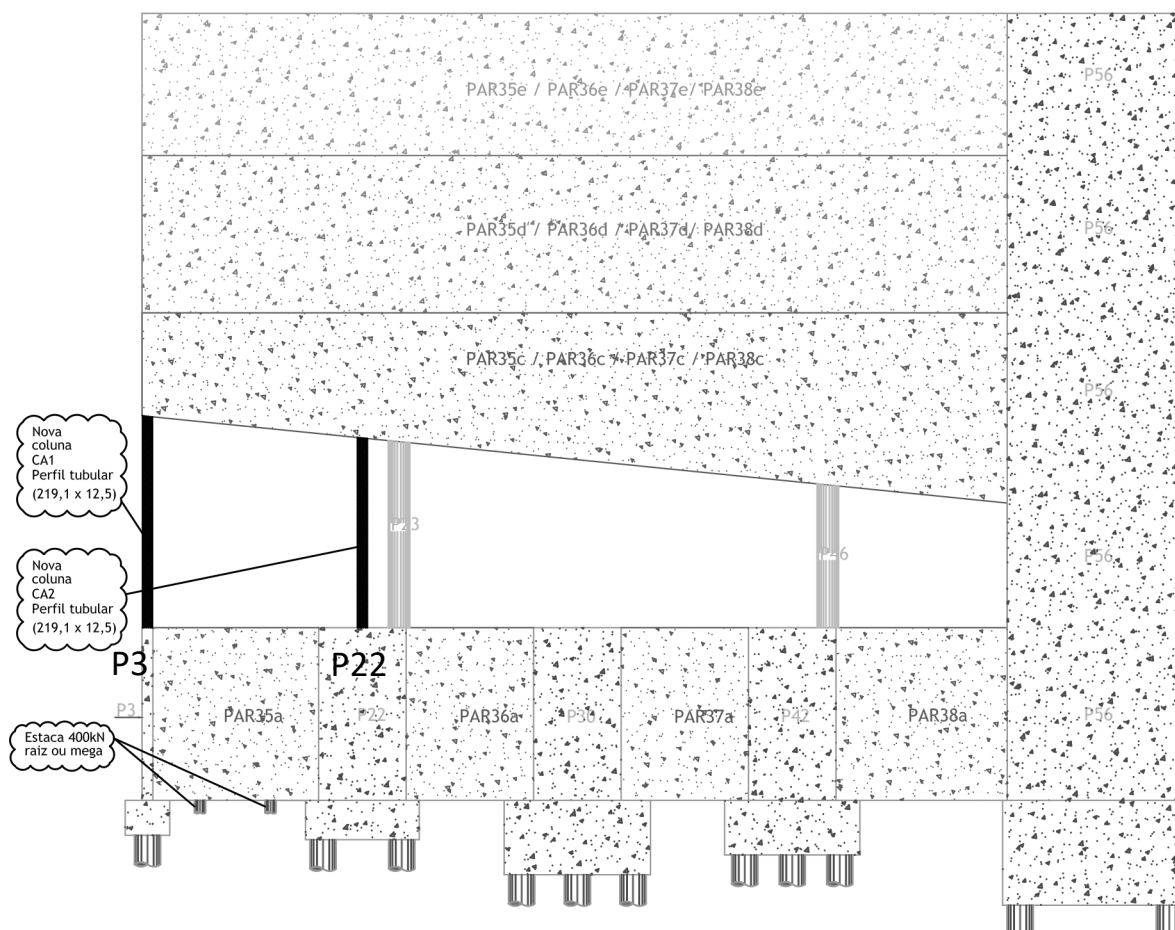


Figura 60 – Croqui da PAR35 com a inserção de pilar de reforço.

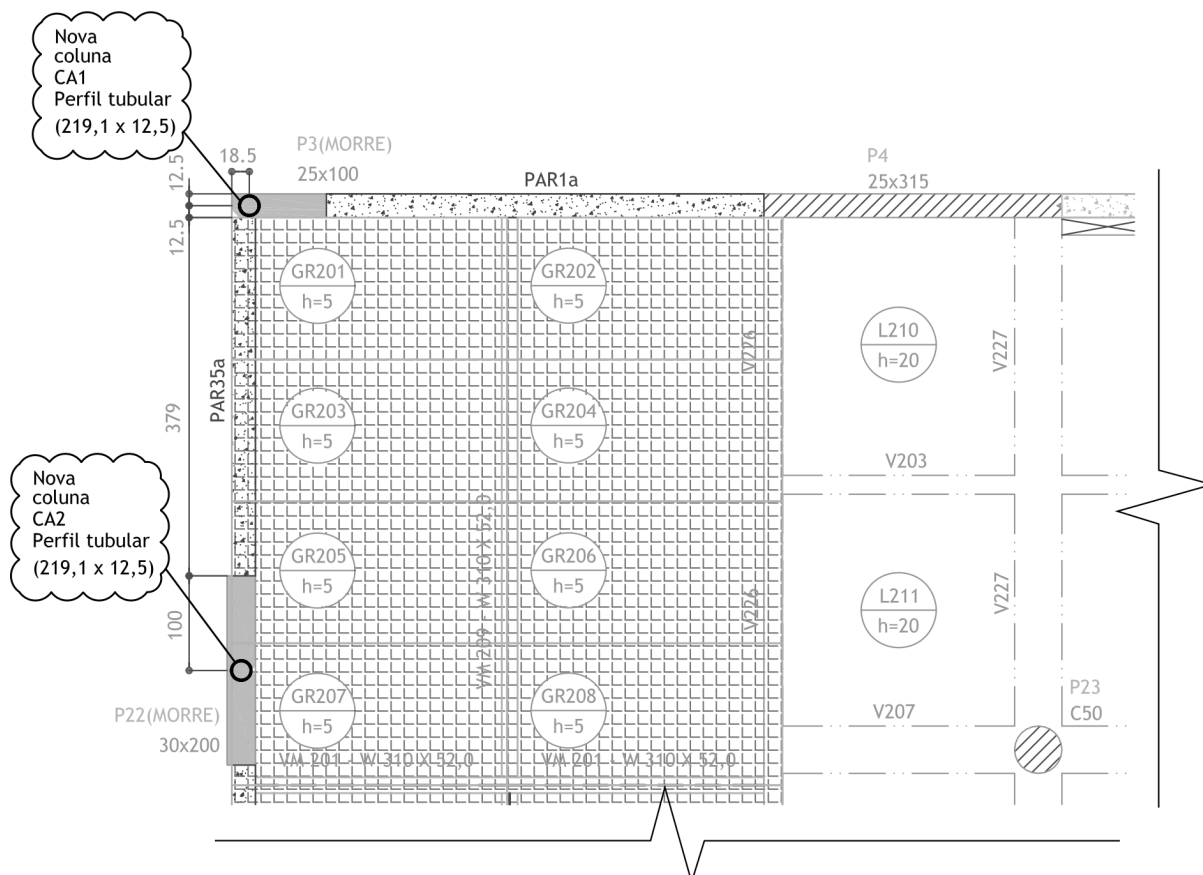
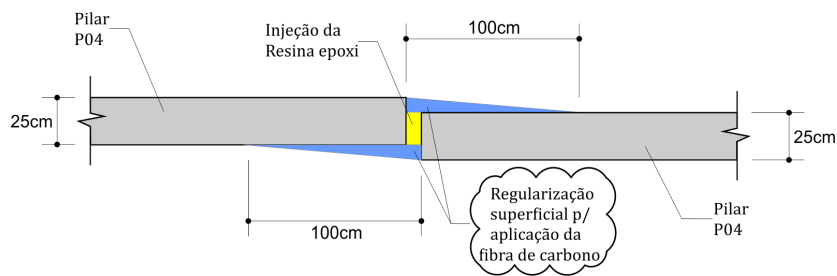


Figura 61 – Croqui com a inserção de dois pilares de reforço.

DETALHE EM PLANTA DO PILAR P04



DETALHE DA INJEÇÃO DA RESINA EPOXI

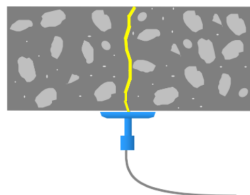


Figura 62 – Croqui de regularização da parede e injeção de epóxi na trinca

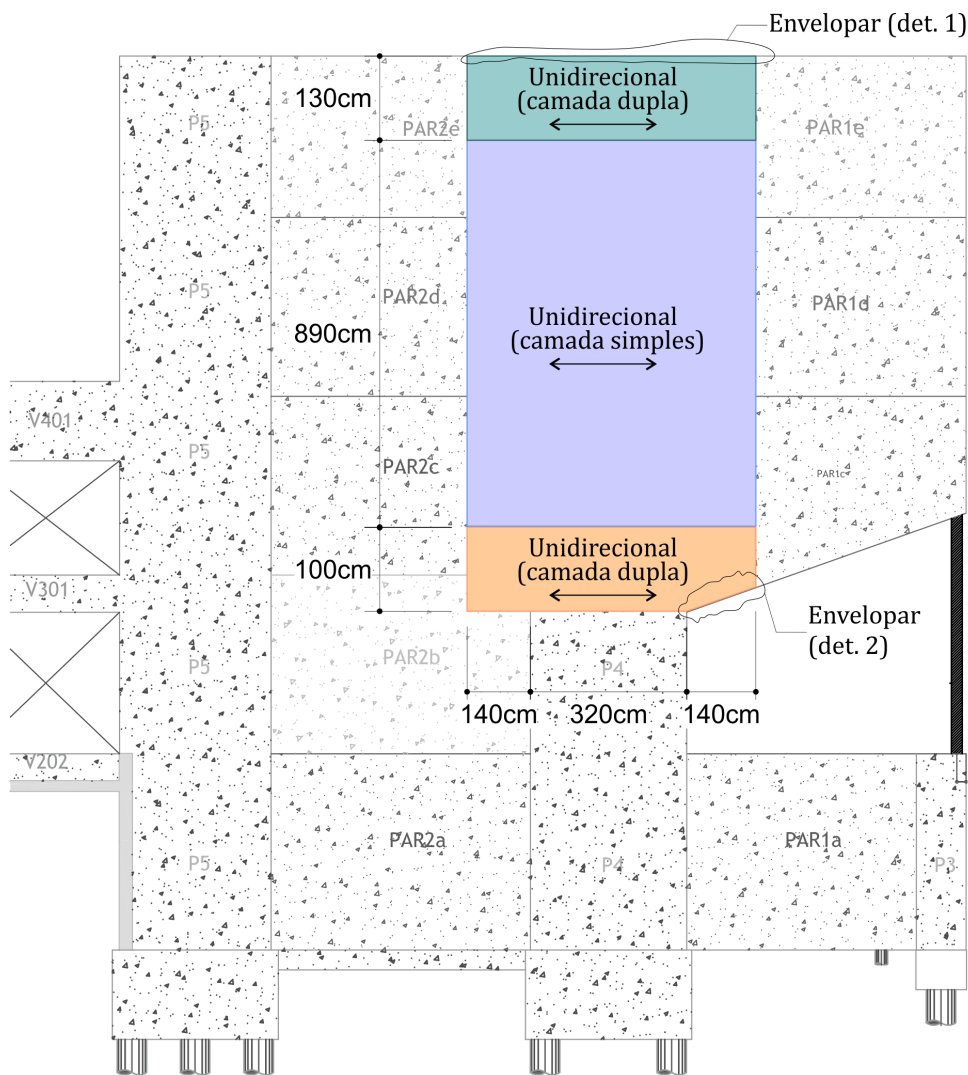


Figura 63 – Esquema de reforço da viga parede PAR01 e pilar P04 com fibra de carbono.

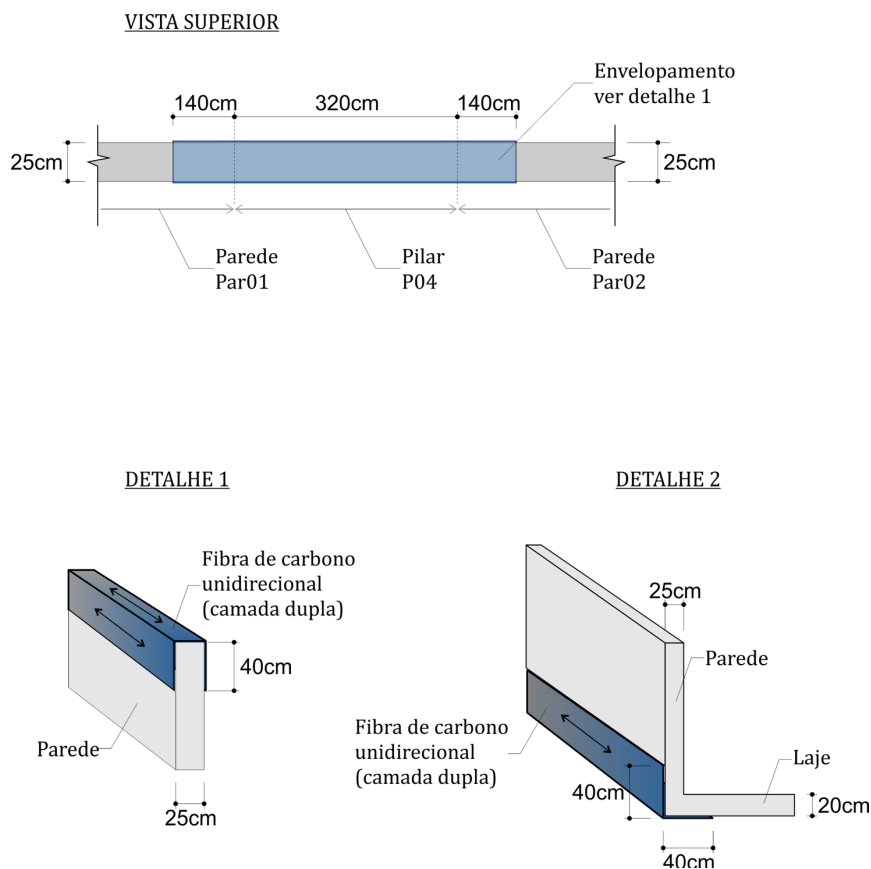


Figura 64 – Croqui com corte e vista superior do reforço da PAR01 e pilar P4 com fibra de carbono.

### Laje de cobertura

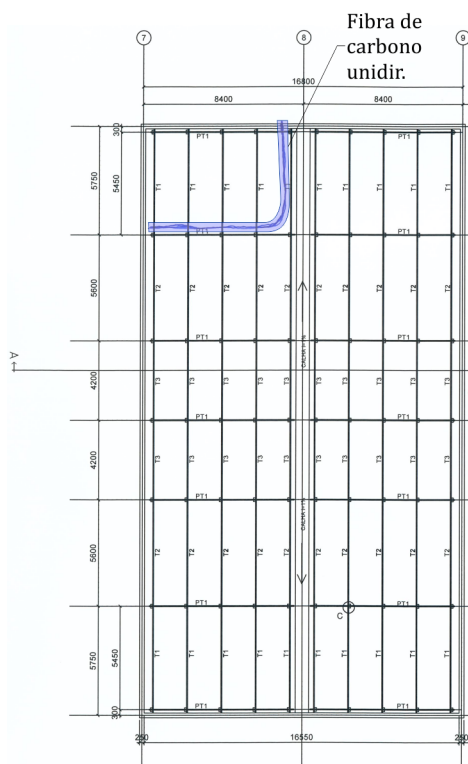
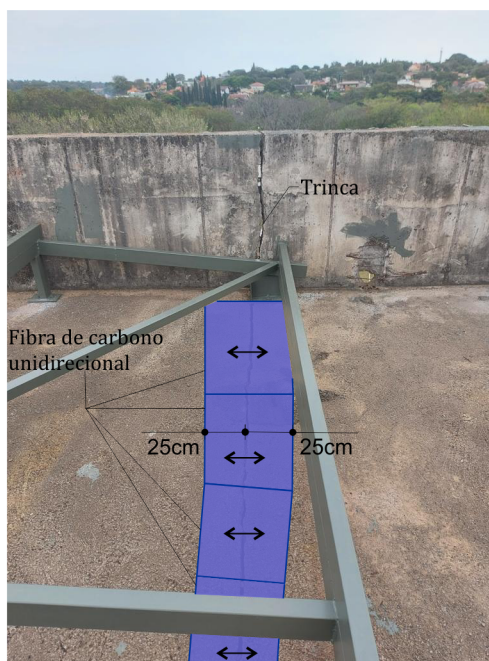


Figura 65 – Esquema de reforço da laje cobertura com fibra de carbono.

### Esquemático



## 9. OBSERVAÇÃO IMPORTANTE

---

***Em função do estado de tensão que a estrutura foi submetida, será necessária a realização de monitoração detalhada das etapas de recuperação estrutural. Adicionalmente, para um aceite conclusivo e definitivo sobre a integridade estrutural e a liberação para o uso. Também será indispensável a realização de provas de cargas em trechos da estrutura recuperada.***

## 10. REFERÊNCIAS CONSULTADAS

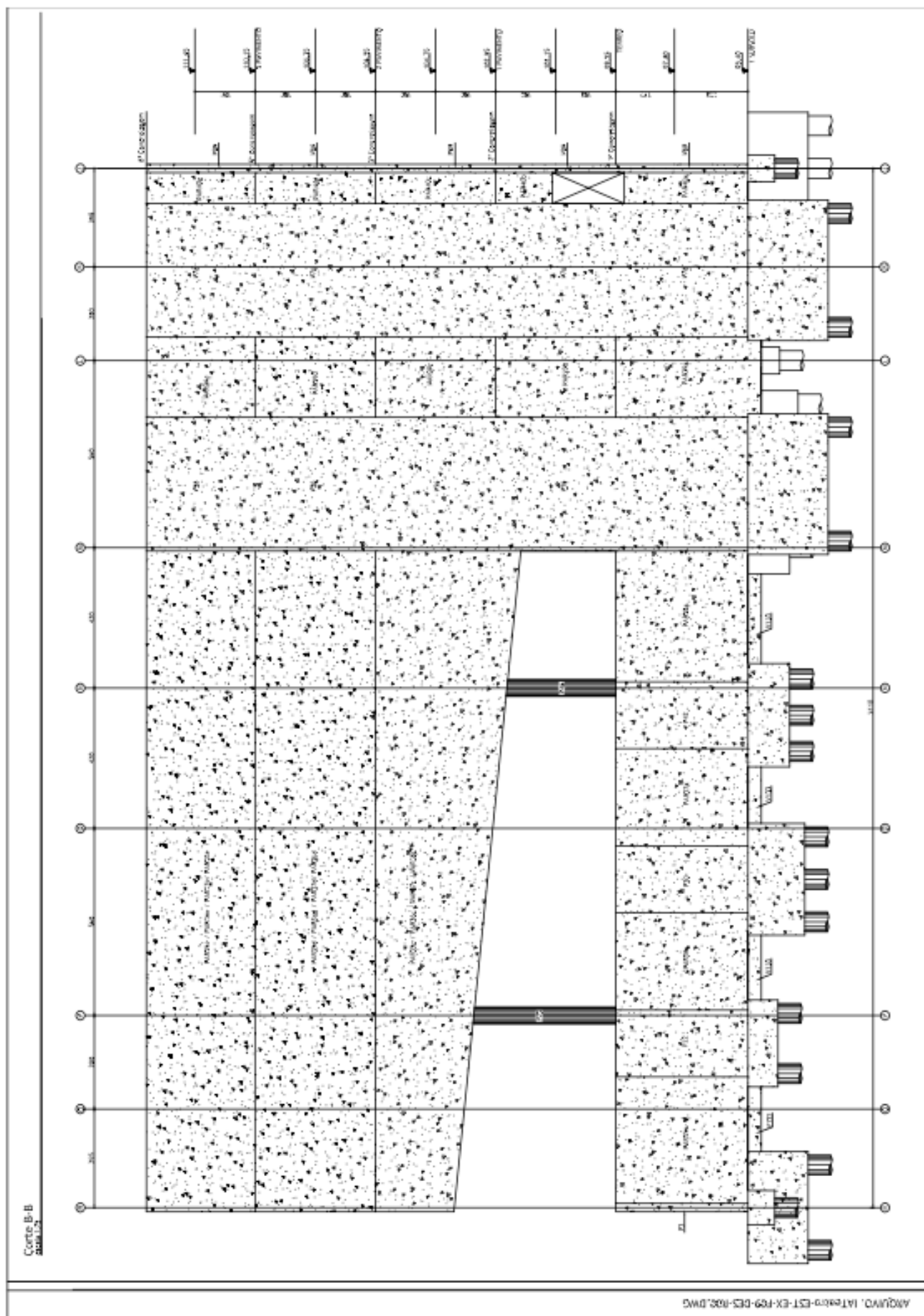
---

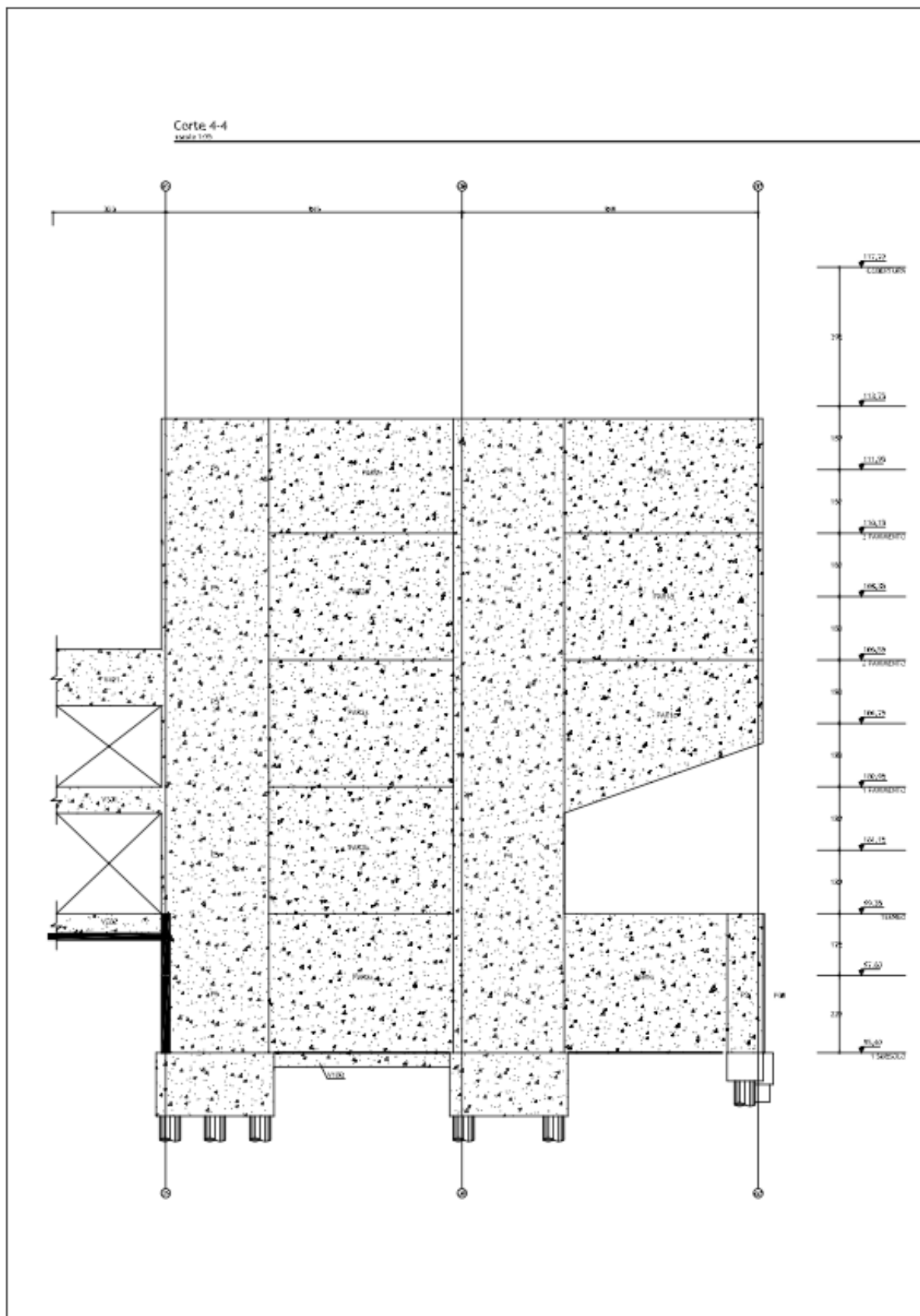
1. ACI 531-79R83 - Building Code Requirements for Concrete Masonry structures – ACI 1983.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118:2014. Projeto de Estruturas de Concreto. Rio de Janeiro.
3. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 8800:2008. Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios. Rio de Janeiro.
4. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 7007:2016. Aço-carbono e aço microligado para barras e perfis laminados a quente para uso estrutural — Requisitos. Rio de Janeiro
5. Albino J.P. da Cunha, Nelson A. Lima, Vicente C. M. de Souza, *Acidentes estruturais na Construção Civil, Volume 1*, Editora Pini, 2004.
6. Albino J.P. da Cunha, Nelson A. Lima, Vicente C. M. de Souza, *Acidentes estruturais na Construção Civil, Volume 2*, Editora Pini, 2001.
7. ANDRADE, CARMEN Manual para diagnóstico de obras deterioradas por corrosão de armaduras. São Paulo: Editora Pini , 1992.
8. CÁNOVAS, M. F. Patologia e Terapia do Concreto Armado. Ed. PINI, São Paulo, 1988.
9. CASCUDO, O. O Controle da Corrosão das Armaduras em Concreto: Inspeção e Técnicas Eletroquímicas. Ed. PINI, São Paulo, Ed. UFG, 1997.
10. Eduardo Thomaz, Trincas em edifícios - causas, prevenção e recuperação, IPT/EPUSP/PINI, 2007
11. Fisher, J.M & Klaiber, L.A. (2006). Base plate and anchor rod design. Steel Design Guide 1, 2a ed., American Institute of Steel Construction, Chicago.
12. Jarbas Milititsky, Nilo Cesar Consoli, Feranando Schnaid, Patologia das Fundações, Editora Oficina de Textos, 2005.
13. Paulo HELENE, Manual para Reparo, Reforço e Proteção de Estruturas de Concreto. Ed. PINI, São Paulo, 1992.
14. Swanson Analysis Systems (2010), Ansys Reference Manual (version 13).
15. TQS INFORMÁTICA (2013). CAD/TQS - Projeto Estrutural de Edifícios de Concreto Armado, Protendido, Pré Moldados e Alvenaria Estrutural. Manual do usuário: Dominando os sistemas CAD/TQS. São Paulo, 2013.
16. VERÇOZA, E. J. Patologia das edificações. Porto Alegre: Sagra, 1990.
17. Vladimir C., Libor Jendele, Jan C. ATENA Program Documentation, Part 1 Theory, Cervenka Consulting, Prague, Czech Republic.
18. Vicente C. M. de Souza, Thomaz Ripper, *Patologia, recuperação e reforço de estruturas de concreto*, Editora Pini, 2005.
19. FONSECA, Felipe Borges; GONÇALVES, Horácio Ferreira Dias; KENVYN, Claudete Oliveira; RITA, Cristian Cley Paterniani; LAMAS, Wendell de Queiróz; CAMARGO, José Rubens. Ensaios não destrutivos para avaliação da rigidez em elementos de concreto armado / non-destructive tests for assessing stiffness in reinforced concrete elements. **Brazilian Journal Of Development**, [S.L.], v. 7, n.

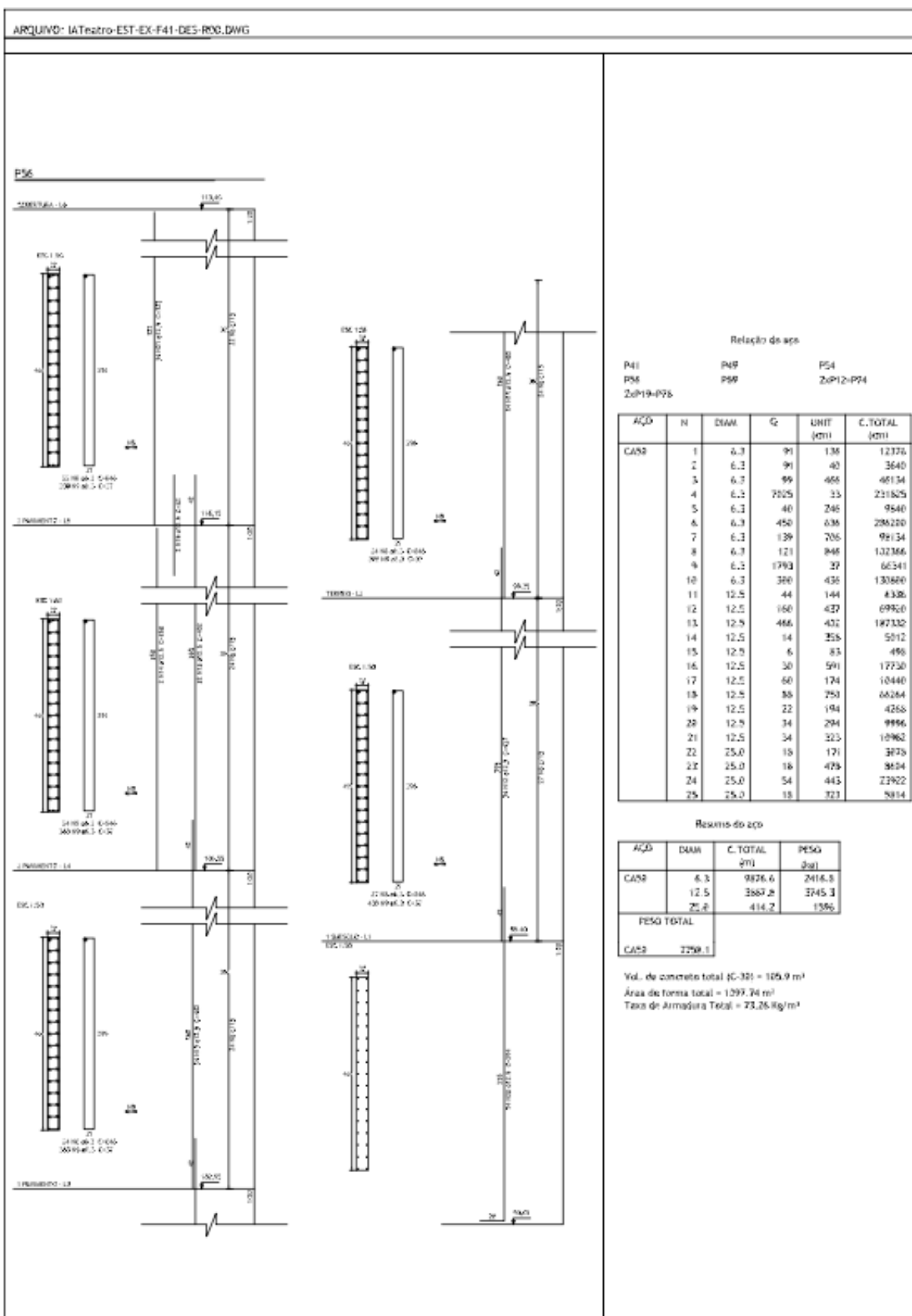
- 2, p. 20009-20018, 2021. Brazilian Journal of Development. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n2-576>.
20. REDDY, V Srinivasa; NAIDU, K Satya Sai Trimurthy; RAO, M V Seshagiri; SHRIHARI, S. Electrical Resistivity and Half-Cell Potential Studies to assess organic and inorganic corrosion inhibitors' effectiveness in concrete. **E3S Web Of Conferences**, [S.L.], v. 184, p. 01082, 2020. EDP Sciences. <http://dx.doi.org/10.1051/e3sconf/202018401082>.
21. SIDDHARTHA, K. Kiran; KUMAR, G. Nagesh; RAYUDU, Sanjeeva. Prediction of Corrosion Activity Levels of Hysd Bars in OPC SCC and GPC by Electrical Resistivity Method and Half Cell Potential Method. International Journal of Civil Engineering and Technology, v. 10, n. 12, p. 32-49, 2019.

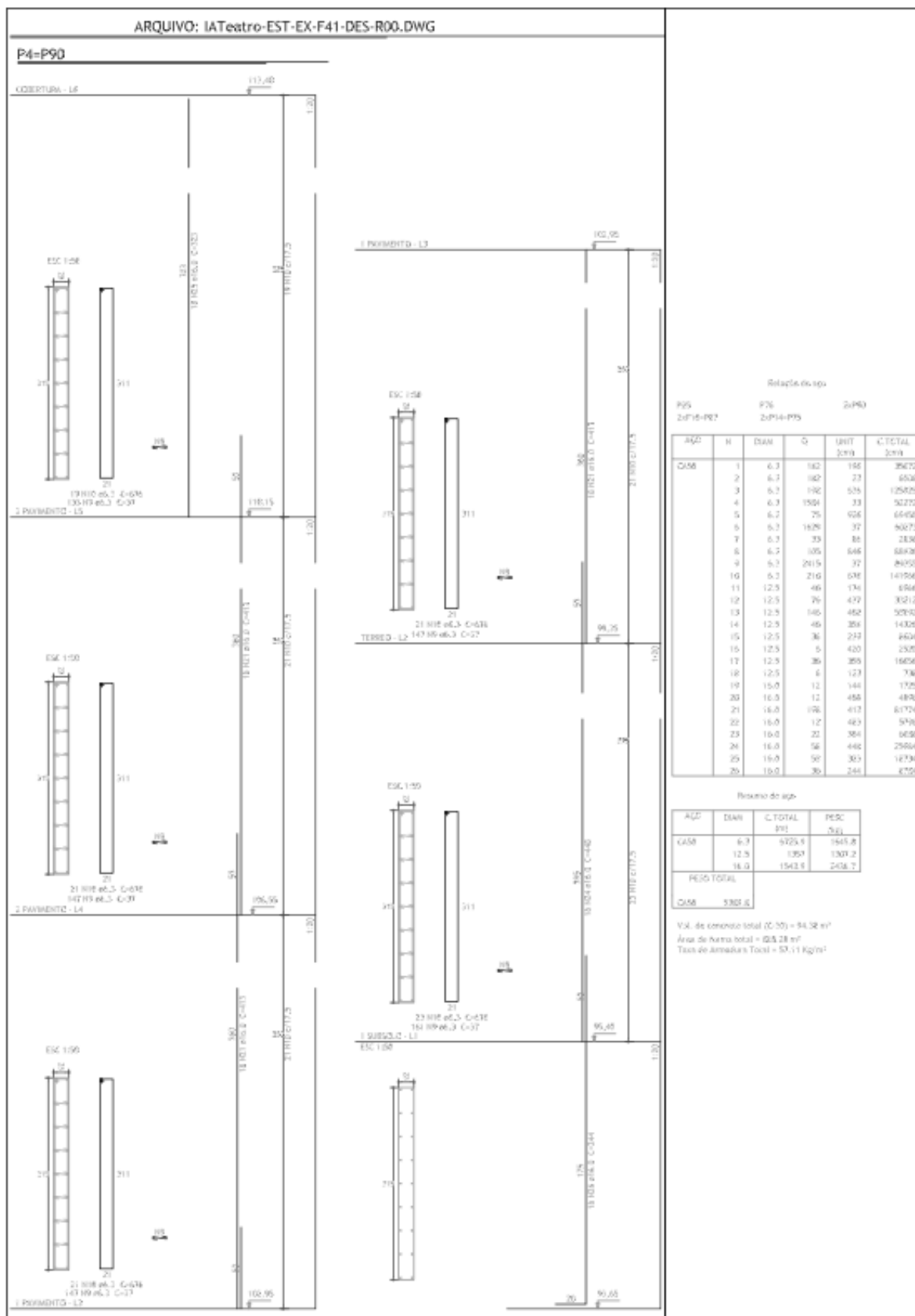
## 11. ANEXOS - DESENHOS DO PROJETO EXECUTIVO

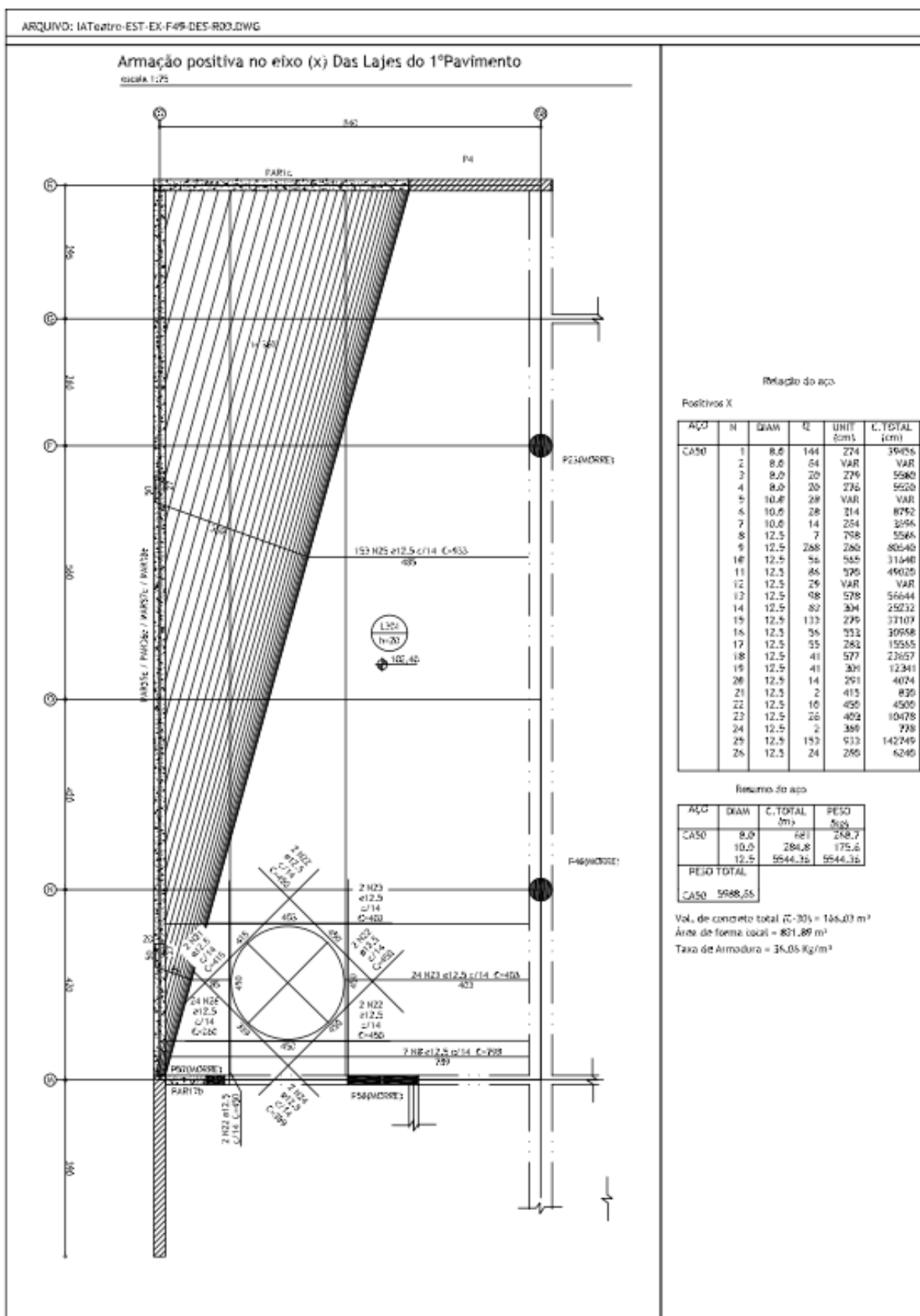
---

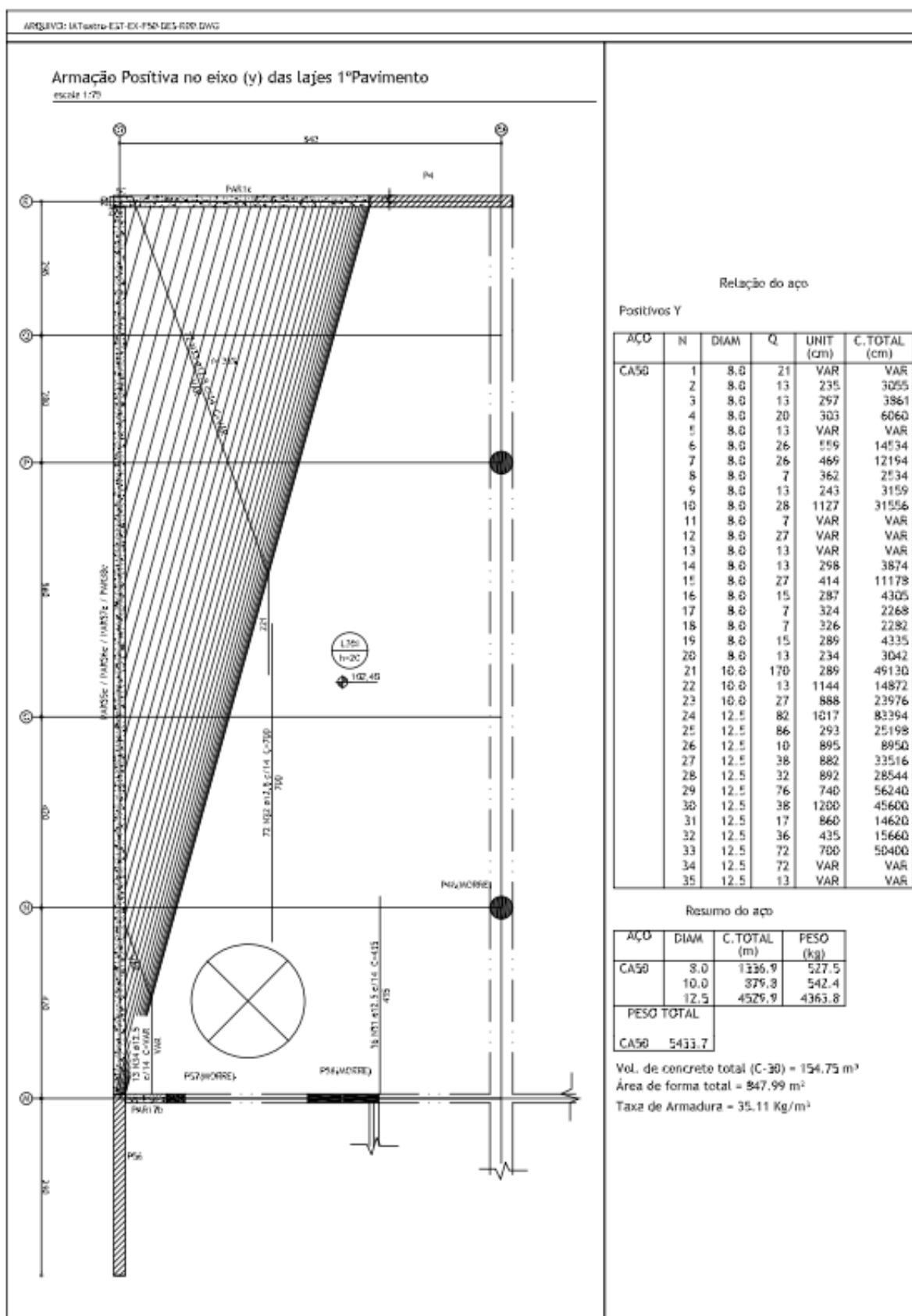


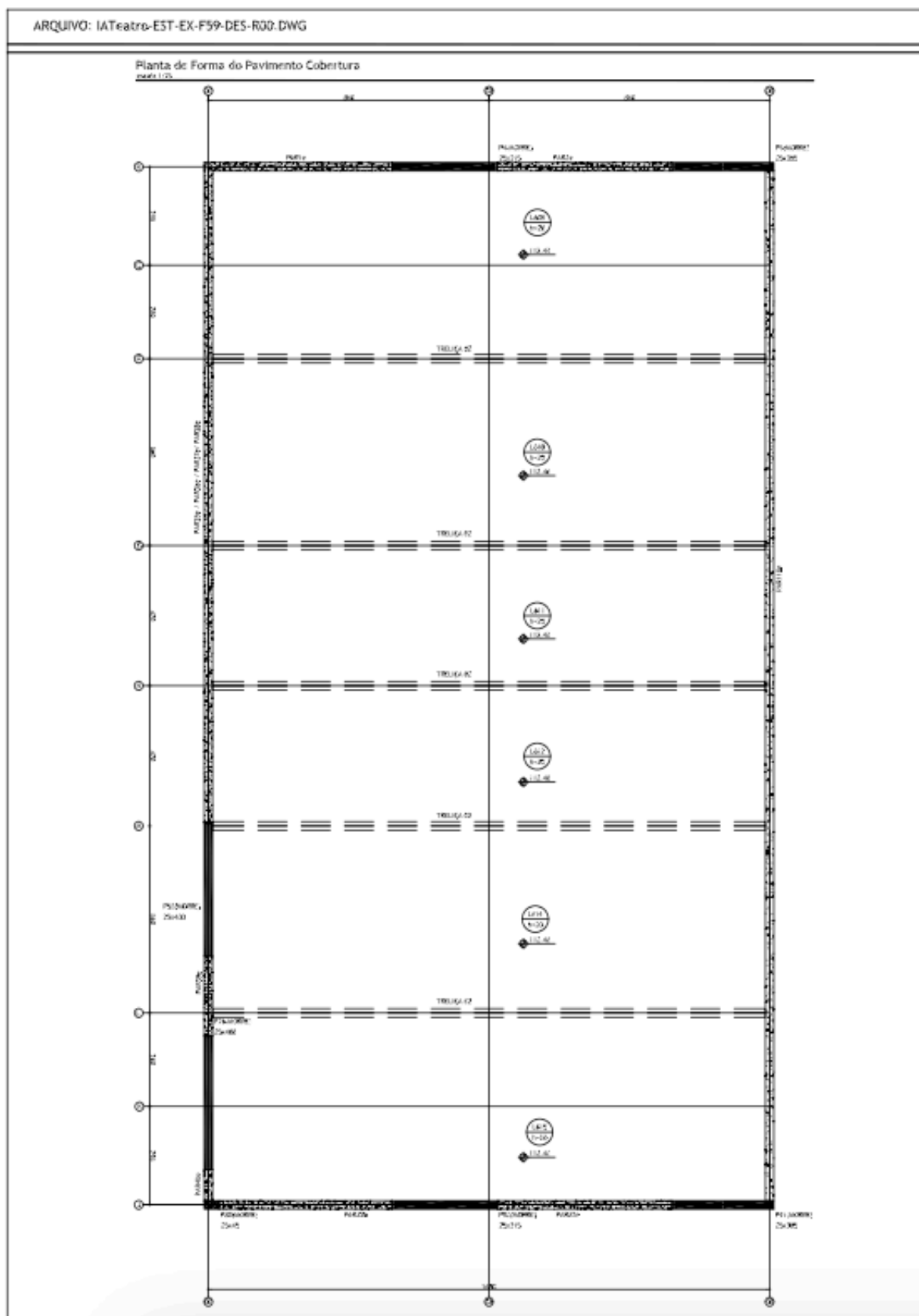


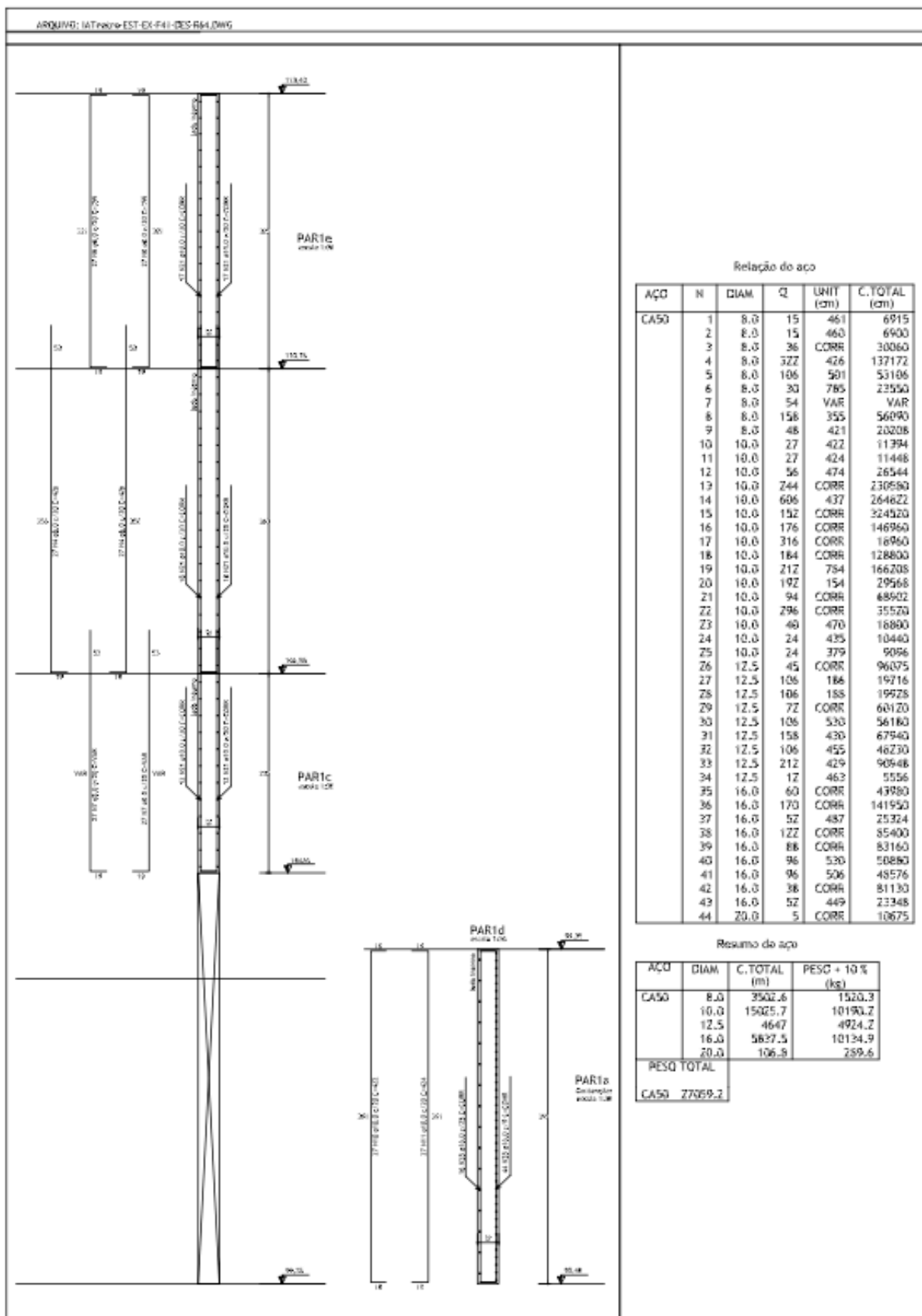


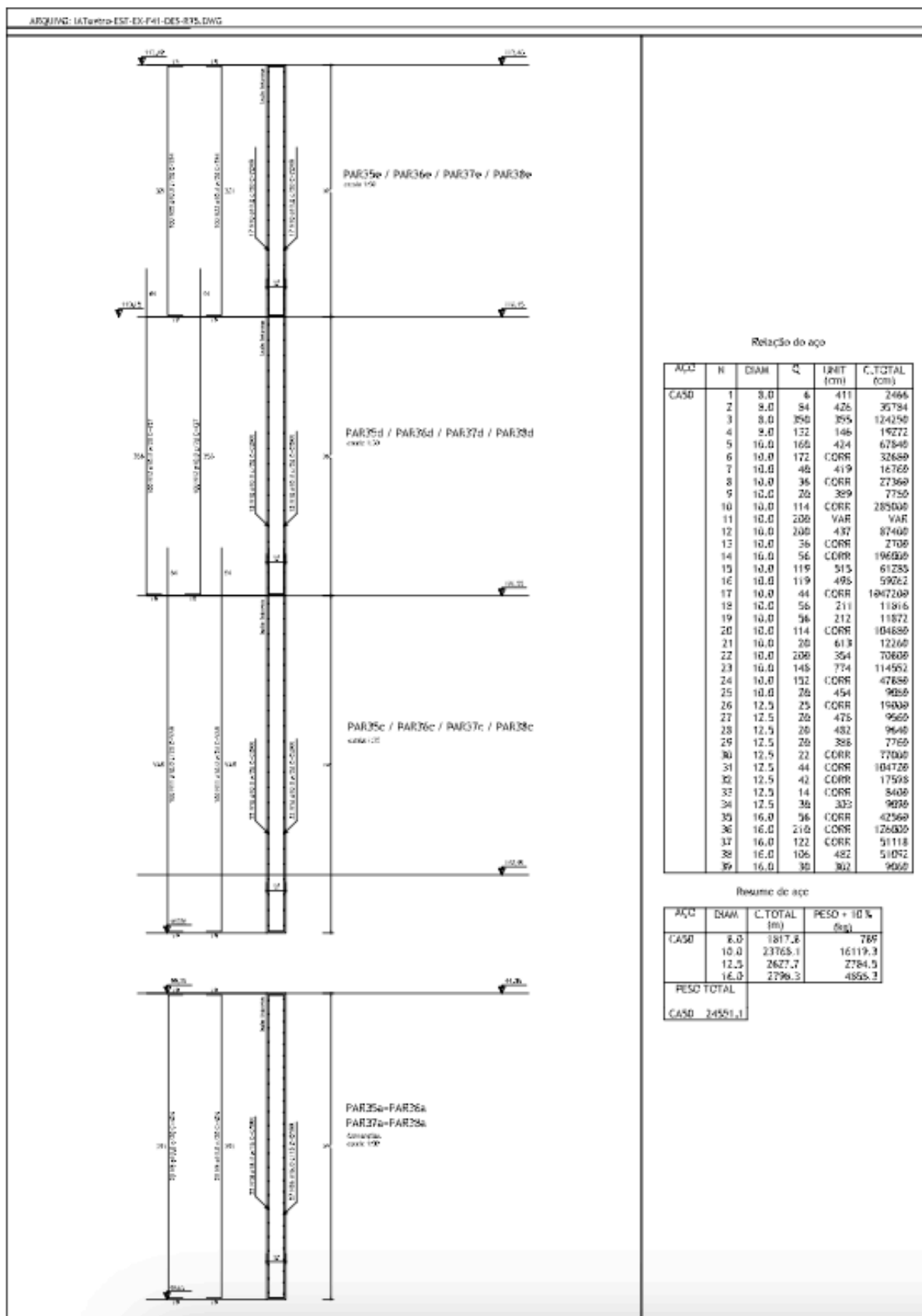












## 12. ANEXOS – Detalhe das placas de base dos pilares CA1 e CA2

---



C-FIX 1.113.0.0  
Versão do banco de dados  
2022.12.10.12.0  
Data  
31/12/2022



Anexo Teatro IA 2023, IA UNICAMP

#### fischer Brasil

Avenida Marginal Projetada, 1652  
06460-200 Barueri  
Telefone: +55 11 3178-2545  
fischer@fischerbrasil.com.br  
www.fischerbrasil.com.br

#### Comentário

Base para Pilares de reforço

### Especificações de cálculo

#### Ancoragem

Sistema	fischer Sistema Superbond
Resina em cápsula	1 x Ampola química RSB 12 MINI
Objeto a fixar	Varão rosado RG M 12 x 160, Aço zincado, Classe 5.8 75 mm
Profundidade de ancoragem	
Dados de cálculo	Anchor design in Betão according European Technical Assessment ETA-12/0258, Opção 1, Issued 17/06/2020

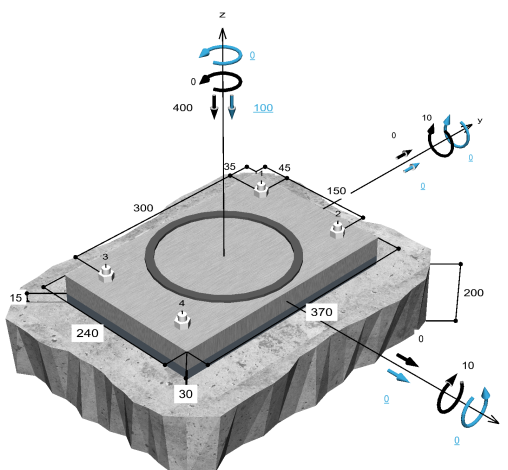


#### Geometria / Ações

mm, kN, kNm

Ação permanentes: G = preto,  $\gamma = 1,35$

Ação variável: Q = azul,  $\gamma = 1,5$



Desenho fora de escala

Os valores inseridos e os resultados do cálculo devem ser checados e comparados com normas e aprovações locais.

Página 1



**C-FIX 1.113.0.0**  
Versão do banco de dados  
2022.12.10.12.0  
Data  
31/12/2022



Anexo Teatro IA 2023, IA UNICAMP

### Dados de entrada

Método de cálculo ETAG 001, TR 029, Annex C, Method A  
Material base C30, NBR 5739-2007  
Condições do concreto Não fissurado, Furo seco  
Range de temperatura 30 °C Temperatura a longo prazo, 50 °C Temperatura a curto prazo  
Armação em aço na borda Sem armadura ou armadura normal. Armadura de bordo ( $\emptyset \geq 12$  mm) com estribos ( $a < 100$  mm)  
Método de furo Furação com martelo perfurador  
Tipo de instalação Instalação pré-posicionada  
Espaço anular Espaço anular não-preenchido  
Tipo de carregamento estática ou quase-estática  
A distância Chapa base assente numa camada não resistente, i.e. camada  
Braço de alavanca  $l = 36$  mm  
Grau de restrição  $\alpha_M = 1,0$   
Resistência mecânica característica à compressão da argam.:  
Base plate geometry 240 mm x 370 mm x 30 mm  
Tipo do perfil Tubo redondo (219,1 x 12,5 )

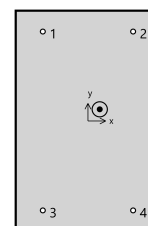
### Ações

Ação	Carga permanente	Carga variável	Ação	Caso 1 $1,35 \cdot G + 1,5 \cdot Q$	Caso 2 $1 \cdot G + 1,5 \cdot Q$	Caso 3 $1,35 \cdot G$
$N_{Sk}$ kN	-400,00	-100,00	$N_{Sd}$ kN	-690,00	-550,00	-540,00
$V_{Sk,x}$ kN	0,00	0,00	$V_{Sd,x}$ kN	0,00	0,00	0,00
$V_{Sk,y}$ kN	0,00	0,00	$V_{Sd,y}$ kN	0,00	0,00	0,00
$M_{Sk,x}$ kNm	-10,00	0,00	$M_{Sd,x}$ kNm	-13,50	-10,00	-13,50
$M_{Sk,y}$ kNm	10,00	0,00	$M_{Sd,y}$ kNm	13,50	10,00	13,50
$M_{T,Sk}$ kNm	0,00	0,00	$M_{T,Sd}$ kNm	0,00	0,00	0,00

Caso decisivo 1

### Forças resultantes para o caso 1

Ancoragem nº	Ações de tração kN	Cisalhamento kN	Cisalhamento x kN	Cisalhamento y kN
1	0,00	0,00	0,00	0,00
2	0,00	0,00	0,00	0,00
3	0,00	0,00	0,00	0,00
4	0,00	0,00	0,00	0,00



Deformação máxima a compressão do concreto : 0,43 ‰  
Tensão máxima a compressão do concreto : 14,0 N/mm<sup>2</sup>  
Ações resultantes de tração : 0,00 kN , Coordenadas X/Y ( 0 / 0 )  
Ações resultantes de compressão : 690,00 kN , Coordenadas X/Y ( 20 / 20 )

Os valores inseridos e os resultados do cálculo devem ser checados e comparados com normas e aprovações locais.

Página 2



C-FIX 1.113.0.0  
Versão do banco de dados  
2022.12.10.12.0  
Data  
31/12/2022



Anexo Teatro IA 2023, IA UNICAMP

## **Resistência combinada a tração e ao cisalhamento**



Verificação satisfatória

## **Informação sobre a chapa metálica**

### **Detalhes da chapa base**

Espessura da chapa base escolhida pelo usuário sem provas

t = 30 mm

Tipo do perfil

Tubo redondo (219,1 x 12,5 )

## **Observações técnicas**

Se a distância a borda de uma ancoragem é menor que a distância característica a borda  $C_{cr,N}=0$  mm (design method A) , então uma armação em aço longitudinal de ao menos  $d=6$ mm será necessária na borda do concreto e na área de ancoragem.

A transmissão das cargas da ancoragem ao concreto devem ser indicadas para o estado limite último e para o estado limite de serviço, e as verificações normais devem ser realizadas sob a devida consideração das ações introduzidas pelas ancoragens. Para essas verificações, as disposições adicionais dadas no atual método de cálculo devem ser levadas em consideração.

Os valores inseridos e os resultados do cálculo devem ser checados e comparados com normas e aprovações locais.

Página 3