

Reabilitação sísmica de edifícios

EDUARDO CANSADO CARVALHO
GAPRES

Estabelecimento do risco sísmico

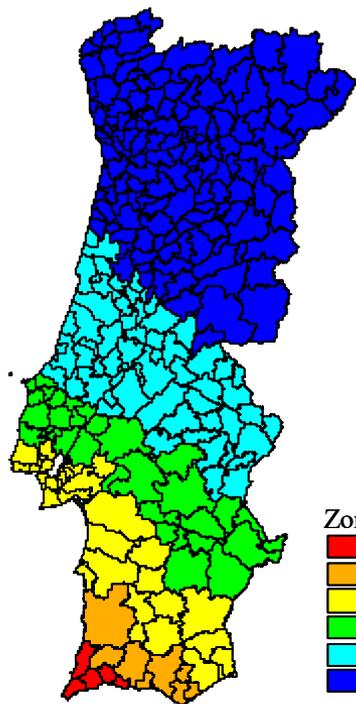
(perdas esperadas no futuro devidas a eventos sísmicos)

$$R_S = f(H, V, E)$$

Fotografia de Jorge Rodrigues [1998]



Vulnerabilidade, V



Perigosidade, H



Exposição, E

Reabilitação sem reabilitação sísmica?

- > Diminuiu a Perigosidade? **Não!**
- > Diminui a Vulnerabilidade? **Não!** (Por vezes aumenta!)
- > Diminui a Exposição? **Pelo contrário, aumenta-a!**

Aumenta o Risco Sísmico em termos humanos e económicos

Temos portanto que atuar para reduzir a Vulnerabilidade Sísmica dos edifícios

ENQUADRAMENTO LEGAL DA REABILITAÇÃO SÍSMICA DE EDIFÍCIOS

- **Decreto-Lei nº 95/2019**
- **Despacho Normativo nº 21/2019**
- **Portaria nº 302/2019**

Decreto-Lei nº 95/2019

Regime aplicável às operações de **reabilitação de edifícios** ou de frações autónomas:

Aborda dois aspetos importantes relativos à Segurança Estrutural:

- Estabelece (**Despacho Normativo nº 21/2019**) a aplicação dos **Eurocódigos Estruturais** em Portugal, com força regulamentar
- Introduce a necessidade de fazer a **avaliação da vulnerabilidade sísmica** de edifício e do seu eventual reforço em situações de reabilitação de edifícios (**Portaria nº 302/2019**)

Despacho Normativo nº 21/2019

Estabelece as condições de aplicação dos **Eurocódigos Estruturais** para o projeto de estruturas de edifícios em Portugal:

- Aplicam-se as versões portuguesas das correspondentes normas europeias, complementadas pelos respetivos **Anexos Nacionais**, que definem os Parâmetros determinados a nível nacional (NDP) e incluem informação complementar não contraditória.
- Aplicam-se a **todos os edifícios** (independentemente do uso)

Despacho Normativo nº 21/2019 (cont.)

- Eurocódigos estabelecem as condições gerais de segurança e a **definição das ações** (NP EN 1990; NP EN 1991; NP EN 1997 e NP EN 1998)
- Estabelecem as regras de dimensionamento e pormenorização das **estruturas de edifícios em betão e em aço** (NP EN 1992 e NP EN 1993).
- Incluem na NP EN 1998-3 as regras para a **Avaliação e reabilitação sísmica** de edifícios
- Período de transição de 3 anos com sobreposição com a Regulamentação Portuguesa (entretanto já terminado)

Portaria nº 302/2019

- Tem por objetivo **impedir o aumento do risco sísmico** em intervenções de reabilitação de edifícios:
 - Em relação a perdas humanas
 - Em relação a perdas económicas
- Revoga o Artº 9º do “Regime excepcional e temporário aplicável à reabilitação de edifícios” (Decreto-Lei 53/2014) que apenas exigia a não diminuição da segurança estrutural nas intervenções de reabilitação: **Exigência que era muito insuficiente para o objetivo de diminuição do risco sísmico em Portugal**

Portaria nº 302/2019

Artigo 1.º

Análise da vulnerabilidade sísmica

1 — Estão sujeitas à elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica do edifício que estabeleça a sua capacidade de resistência relativamente à ação sísmica definida na NP EN1998-3:2017 e suas posteriores atualizações para as condições do local, as obras de ampliação, alteração ou reconstrução, sempre que se verifique uma das seguintes condições:

- a) Existência de sinais evidentes de degradação da estrutura do edifício;
- b) Procedam ou tenham por efeito uma alteração do comportamento estrutural do edifício;
- c) Cuja área intervencionada, incluindo demolições e ampliações, exceda os 25 % da área bruta de construção do edifício;
- d) Cujo custo de construção exceda em pelo menos 25 % do custo de construção nova de edifício equivalente.

2 — O relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício é ainda obrigatório, no caso de edifícios das classes de importância III ou IV, definidas nos termos da norma NP EN 1998-1:2010, sempre que se verifique alguma das situações previstas no número anterior, com redução para 15 % dos limites estabelecidos nas alíneas c) e d).

3 — Quando o relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício concluir que este não satisfaz as exigências de segurança relativas a 90 % da ação definida na norma NP EN1998-3:2017, é obrigatória a elaboração de projeto de reforço sísmico, ao abrigo da mesma norma.

4 — Compete ao LNEC a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório previsto no n.º 1 do presente artigo, para tipologias de edifícios, localizações e tipos de intervenção específicos.

Portaria nº 302/2019

Artigo 1º - 1 - *Estão sujeitas à **elaboração de relatório de avaliação de vulnerabilidade sísmica** do edifício que estabeleça a sua capacidade de resistência relativamente à **ação sísmica definida na NP EN 1998-3:2017** e suas posteriores atualizações para as condições do local, as obras de **ampliação, alteração ou reconstrução***

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais):

1. A análise da vulnerabilidade sísmica **não está limitada aos edifícios de habitação**
2. A análise da vulnerabilidade sísmica **não se aplica a obras de conservação**, como definidas no Dec. Lei nº 555/99: "*Obras de conservação*", *as obras destinadas a manter uma edificação nas condições existentes à data da sua construção, reconstrução, ampliação ou alteração, designadamente as obras de restauro, reparação ou limpeza;*"
3. O relatório de vulnerabilidade sísmica é **exigido** em sede de aprovação do Projeto de Arquitetura

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais) (cont.):

4. Nos casos em que o projetista de Estabilidade declare à partida a necessidade de realizar o reforço sísmico do edifício **o relatório de vulnerabilidade sísmica pode ser substituído por Declaração** sob responsabilidade profissional nesse sentido
5. A análise da vulnerabilidade sísmica deve ser **feita para a estrutura global do edifício** (não sendo admissíveis análises de partes do edifício)
6. A análise da vulnerabilidade sísmica deve ser feita para a **configuração final do edifício** decorrente da intervenção de reabilitação

Portaria nº 302/2019

Artigo 1º - 1 (cont.) -sempre que se **verifique uma das seguintes condições:**

- a) *Existência de sinais evidentes de **degradação da estrutura** do edifício;*
- b) *Procedam ou tenham por efeito uma **alteração do comportamento estrutural** do edifício;*
- c) *Cuja área intervencionada, incluindo demolições e ampliações, exceda os **25 % da área bruta de construção do edifício;***
- d) *Cujo custo de construção exceda em pelo menos **25 % do custo de construção nova de edifício equivalente.***

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais):

1. A alteração do comportamento estrutural do edifício deve ser entendida como **alteração do comportamento sísmico** da estrutura do edifício
2. A **área intervencionada** é a **soma** da área em que há **alterações** com a área de **ampliação** e com as **áreas demolidas**
3. Neste contexto, as **obras de conservação não qualificam** para o cálculo da área intervencionada

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais) (cont.):

4. A questão do **custo da intervenção** está incluída nas condições previstas na Portaria com o intuito de **limitar o acréscimo do risco económica**
5. A Portaria **não define o critério** para o estabelecimento do ***custo de construção nova de edifício equivalente***

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais) (cont.):

6. Pode/deve ser adotado um método adequado:
 - Valor médio de construção/m² **definido para efeito de aplicação do CIMI**
 - Custos definidos para **habitação de custos controlados** (Portaria nº 65/2019)
 - **Estimativa justificada pelo projetista** com base em obras de referência
7. A verificação da condição de aplicabilidade envolvendo o **custo de construção** é sem dúvida **a de maior ambiguidade**

Portaria nº 302/2019

Artigo 1º - 2 - O relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício é **ainda** obrigatório, no caso de edifícios das **classes de importância III ou IV**, definidas nos termos da norma NP EN 1998 -1:2010, sempre que se verifique alguma das situações previstas no número anterior, com **redução para 15 % dos limites estabelecidos nas alíneas c) e d)**.

<i>Classe de importância</i>	<i>Edifícios</i>
<i>I</i>	<i>Edifícios de importância menor</i>
<i>II</i>	<i>Edifícios correntes</i>
<i>III</i>	<i>Edifícios cuja resistência sísmica é importante tendo em vista as consequências associadas ao colapso</i>
<i>IV</i>	<i>Edifícios cuja integridade em caso de sismo é de importância vital para a proteção civil</i>

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais):

1. O advérbio **ainda** introduz ambiguidade em relação às classes de importância II e I
2. A situação é clara para as classes de importância III e IV
3. A inclusão destas classes de importância no âmbito da Portaria torna claro que esta **se aplica a todo o tipo de edifícios**.

Portaria nº 302/2019

Artigo 1º - 3 - Quando o relatório de vulnerabilidade sísmica do edifício concluir que este não satisfaz as exigências de segurança relativas a **90 % da ação definida (no Anexo Nacional) da norma NP EN1998 -3:2017**, é obrigatória a elaboração de **projeto de reforço sísmico**, ao abrigo da mesma norma.

Norma
Portuguesa

NP
EN 1998-3
2017

Eurocódigo 8 – Projeto de estruturas para resistência aos sismos
Parte 3: Avaliação e reabilitação de edifícios

Eurocode 8 – Calcul des structures pour leur résistance aux séismes.
Partie 3: Evaluation et renforcement des bâtiments

Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance
Part 3: Assessment and retrofitting of buildings

ICS
91.120.25

CORRESPONDÊNCIA
Versão portuguesa de EN 1998-3:2005 + AC:2013

HOMOLOGAÇÃO
Termo de Homologação n.º 188/2017, de 2017-09-05

ELABORAÇÃO
CT 115 (LNEC)

EDICÃO
2017-09-15

CÓDIGO DE PREÇO
XEC022

© IPQ reprodução proibida

Instituto Português da Qualidade

Rua António de Oliveira, 7
2000-013 CAPELA, PORTUGAL
Tel. +351-212 940 100 Fax +351-212 940 101
E-mail: ipa@ipa.pt Internet: www.ipa.pt

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais):

1. De acordo com o Anexo Nacional, na avaliação da vulnerabilidade, os **Estados limite a verificar dependem da classe de importância**
2. Os **coeficientes de redução** da NP EN1998-3 referem-se a um período de retorno de **308 anos**, correspondente a uma aceleração com um probabilidade de excedência de **15% em 50 anos**
3. A **redução de 90%** da ação sísmica admitida na avaliação da vulnerabilidade sísmica **não se aplica ao projeto do reforço sísmico**

Portaria nº 302/2019

Comentários (pessoais):

4. O projeto de reforço sísmico deve/pode ser **integrado no projeto global** de fundações e estrutura para a intervenção de reabilitação
5. Esse projeto deve, no entanto, **explicitar a concepção da solução** de reforço sísmico e as **condições de dimensionamento**

Portaria nº 302/2019

Artigo 1º - 4 - Compete ao LNEC a publicação ou aprovação de disposições construtivas ou métodos de análise expedita da vulnerabilidade sísmica que apoiem a elaboração do relatório previsto no n.º 1 do presente artigo, para tipologias de edifícios, localizações e tipos de intervenção específicos

<http://www.lnec.pt/pt/servicos/ferramentas/avaliacao-da-vulnerabilidade-br-de-estruturas/>

NP EN1998-3:2017

**EUROCÓDIGO 8 – PROJETO DE
ESTRUTURAS PARA RESISTÊNCIA AOS
SISMOS**

**PARTE 3 – AVALIAÇÃO E REABILITAÇÃO DE
EDIFÍCIOS**

NP EN1998-3: 2017

Preâmbulo

....

Informações adicionais específicas da EN 1998-3

..... A presente Norma trata unicamente dos aspetos estruturais da avaliação e da reabilitação sísmicas, que poderão constituir apenas uma componente de uma estratégia mais vasta de mitigação do risco sísmico. A presente Norma aplica-se após se estabelecer a exigência de avaliação de um determinado edifício. As condições que determinam a decisão de avaliação sísmica de um edifício – eventualmente conducente ao seu reforço – não estão incluídas no âmbito da presente Norma.

NP EN1998-3: 2017

Orientada para um novo paradigma:

Displacement Based Design

- > Conceito de coeficiente de comportamento aplicável em condições restritivas ($q = 1,5$ betão armado; $q = 2$ estruturas de aço)
- > Nos casos em que **não se aplica o coeficiente de comportamento** aplica-se um tratamento diferenciado para elementos dúcteis e frágeis
 - > **Elementos dúcteis**: verificar a capacidade de deformação
 - > **Elementos frágeis**: verificar a **capacidade resistente**

NP EN1998-3: 2017

Estados Limite (diferentes do estabelecido na NP EN1998-1):

- > Estado limite de **colapso iminente** (NC – Near Collapse): Danos estruturais muito severos; Grande perda de rigidez e de resistência lateral; Grandes deslocamentos permanentes; Estrutura irrecuperável.
- > Estado de limite de **danos severos** (SD – Severe Damage): Danos estruturais significativos; diminuição da rigidez e resistência lateral; Deslocamentos permanentes moderados; Reparação da estrutura pouco viável economicamente.
- > Estado limite de **limitação de dano** (DL – Damage Limitation): Danos estruturais ligeiros; Pequena diminuição da rigidez e resistência lateral; Ausência de deslocamentos permanentes; Danos não estruturais com reparação económica; Reparação estrutural desnecessária.

NP EN1998-3:2017

Estados Limite a verificar de acordo com o Anexo Nacional

Estado limite	Classe de importância I	Classe de importância II	Classe de importância III e IV
Colapso iminente (NC)	Não	Não	Sim
Danos severos (SD)	Não	Sim	Sim
Limitação de dano (DL)	Não	Não	Sim

NP EN1998-3:2017

Redução da ação sísmica de acordo com o Anexo Nacional

Estado Limite	Período de retorno da ação sísmica	Aplicável a Classes de Importância
Colapso iminente	5% em 50 anos: 975 anos (2% em 50 anos: 2.475 anos)	III e IV (todas)
Danos severos	15% em 50 anos: 308 anos (10% em 50 anos: 475 anos)	I, II, III e IV (todas)
Limitação de dano	50% em 50 anos: 73 anos (20% em 50 anos: 225 anos)	III e IV (todas)

(Requisito na EN1998-3)

NP EN1998-3:2017

Coeficientes multiplicativos da ação sísmica (a aplicar aos valores definidos na NP EN 1998-1)

Estado limite	Acção sísmica Tipo 1	Acção sísmica Tipo 2	
		Continente	Açores
Colapso iminente (NC)	1,62	1,33	1,22
Danos severos (SD)	0,75	0,84	0,89
Limitação de dano (DL)	0,29	0,47	0,55

Aplicam-se cumulativamente os coeficientes de importância γ_I previstos na NP EN 1998-1

NP EN1998-3:2017

RECOLHA DE INFORMAÇÃO

OBJETIVO:

Permitir a modelação estrutural do edifício existente com vista à avaliação do seu comportamento sísmico

FONTES DE INFORMAÇÃO:

- Documentação disponível específica do edifício;
- Dados genéricos relevantes (p. ex., códigos e normas da construção contemporâneos);
- Levantamentos in situ;
- Medições e ensaios in situ e/ou em laboratório.

NP EN1998-3:2017

RECOLHA DE INFORMAÇÃO

- a) Identificação do sistema estrutural.
- b) Identificação do tipo de fundações do edifício.
- c) Identificação das condições de terreno.
- d) Informação sobre as dimensões e propriedades das secções transversais dos elementos e propriedades mecânicas.
- e) Informação sobre defeitos identificáveis dos materiais e sobre disposições construtivas inadequadas.
- f) Informação sobre os critérios de cálculo sísmico utilizados no projeto inicial.
- g) Descrição da utilização atual e/ou futura do edifício (classe de importância).
- h) Reavaliação das ações variáveis tendo em conta a utilização do edifício.
- i) Informação sobre a natureza e a extensão dos danos anteriores e atuais da estrutura, caso existam, incluindo reparações anteriormente efetuadas.

A qualidade da informação condiciona os Níveis de Conhecimento (KL) e os Coeficientes de Confiança (CF)

NP EN1998-3:2017

INFLUÊNCIA DA QUALIDADE DA INFORMAÇÃO

Nível de conhecimento	Geometria	Disposições construtivas	Materiais	Análise	Coefficiente de Confiança CF
KL1 (Limitado)	A partir dos desenhos de dimensionamento geral do projeto e de uma inspeção visual de uma amostragem <i>ou</i> a partir de uma inspeção integral	Projeto simulado de acordo com a prática da época e a partir de uma inspeção in situ limitada	Valores por defeito de acordo com as normas em vigor à data da construção e a partir de ensaios in situ limitados	Forças Laterais – Análise Modal <i>(coeficiente q)</i>	CF_{KL1} 1,35
KL2 (Normal)		A partir dos desenhos de pormenor originais incompletos com uma inspeção in situ limitada ou a partir de uma inspeção in situ alargada	A partir das especificações do projeto original com ensaios in situ limitados ou a partir de ensaios in situ alargados	Todas as análises	CF_{KL2} 1,20
KL3 (Integral)		A partir dos desenhos de pormenor originais com uma inspeção in situ limitada ou a partir de uma inspeção in situ completa	A partir dos relatórios de ensaios de origem com ensaios in situ limitados ou a partir de ensaios in situ completos	Todas as análises	CF_{KL3} 1,00

NP EN1998-3:2017

RECOLHA DE INFORMAÇÃO

Quadro 3.2 – Requisitos mínimos **recomendados** para diferentes níveis de inspeção e ensaio

	Inspeção (das disposições construtivas)	Ensaio (dos materiais)
	Para cada tipo de elemento primário (viga, pilar, parede)	
Nível de inspeção e de ensaio	Percentagem de elementos cujas disposições construtivas têm que ser verificadas	Amostras de materiais por piso
Limitado	20	1
Alargado	50	2
Completo	80	3

Valores de Determinação Nacional: O anexo Nacional indica: *Em Portugal, a menos de justificação fundamentada, aplica-se o especificado no Quadro 3.2*

NP EN1998-3:2017

MODELAÇÃO ESTRUTURAL

MÉTODOS DE ANÁLISE PARA AVALIAÇÃO

- análise por forças laterais (linear);
- análise modal por espectro de resposta (linear);
- análise estática não linear (*pushover*);
- análise dinâmica temporal não linear;
- abordagem por coeficiente de comportamento q

Utilizar o **espectro de resposta elástico**, exceto na abordagem com coeficiente de comportamento

NP EN1998-3:2017

MODELAÇÃO ESTRUTURAL

MÉTODOS DE ANÁLISE PARA AVALIAÇÃO

Condição para utilização de análises por **forças laterais e análise modal**:

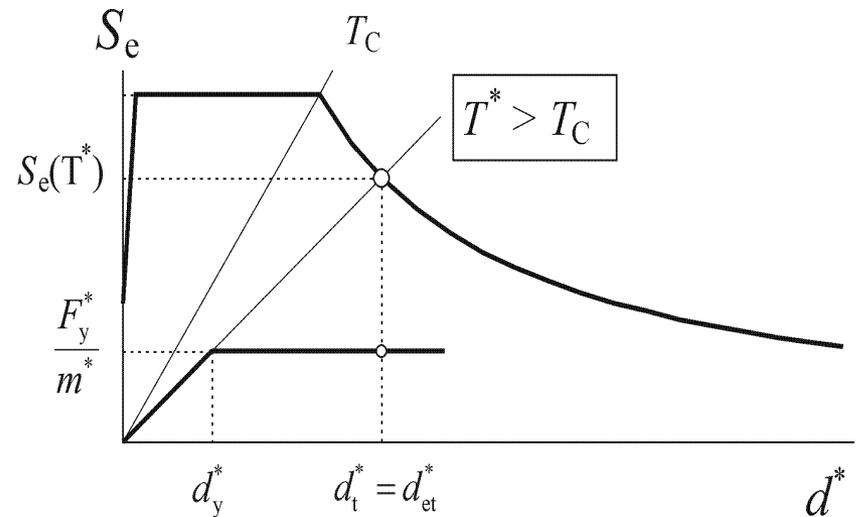
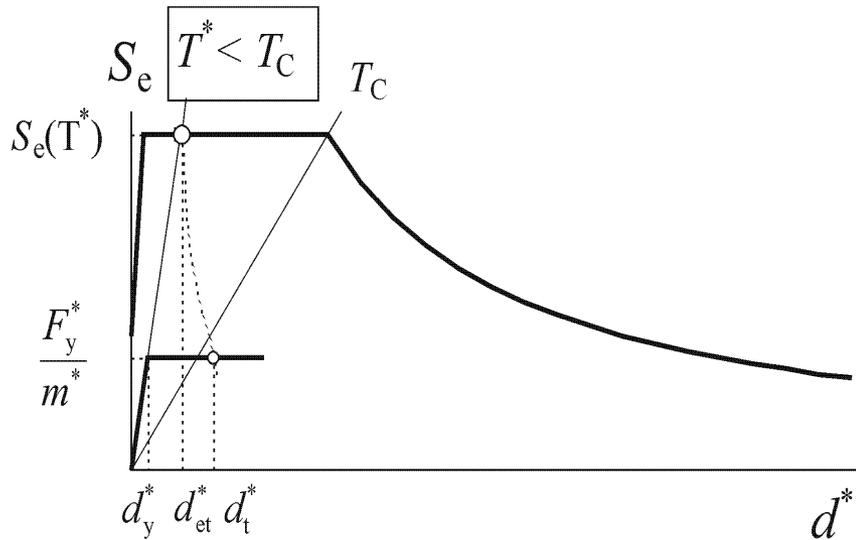
- $\rho_i = D_i/C_i$ relação entre a exigência D_i , e a correspondente capacidade C_i em elementos dúcteis ($\rho_i > 1$ corresponde a insuficiente capacidade resistente)
- Obter ρ_{\max} e ρ_{\min} , (com $\rho_i > 1$)
- Relação $\rho_{\max}/\rho_{\min} > 3$

Ou seja, o uso destes métodos/modelos na **avaliação** do existente não é válida se houver grande variação nas respostas não lineares entre os vários elementos

		Modelo linear (LM)		Modelo não linear		Abordagem por coeficiente de comportamento q		
		Exigência	Capacidade	Exigência	Capacidade	Exigência	Capacidade	
Tipo de elemento ou mecanismo (e/m)	Dúctil	Aceitabilidade do modelo linear (para a verificação dos valores da relação $\rho_i = D_i/C_i$):		A partir da análise. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF.	Em termos de deformação. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF.	A partir da análise.	Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.	
		A partir da análise. Utilizar os valores médios das propriedades no modelo.	Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades.					
		Verificações (se aceite o modelo linear LM):						
		A partir da análise.	Em termos de deformação. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF.					
	Frágil	Verificações (se aceite o modelo linear LM):			Em termos de resistência. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.	A partir da análise. Utilizar os valores médios das propriedades divididos pelos coeficientes de confiança CF e pelo coeficiente parcial.	De acordo com a secção aplicável da EN 1998-1: 2004.	
		Se $\rho_i \leq 1$: a partir da análise.						
Se $\rho_i > 1$: a partir do equilíbrio introduzindo a resistência dos e/m dúcteis. Utilizar os valores médios das propriedades multiplicados pelos coeficientes de confiança CF.								

NP EN1998-3:2017

> Métodos **não lineares** (pushover analysis)



PROJETO DE REFORÇO SÍSMICO

- Exercício **mais exigente** que o projeto de estruturas novas
- Conceção de soluções com **menos “graus de liberdade”** (condicionada pelo existente)
- Exige mais **juízo de engenharia** para melhor **identificação das deficiências** e objetivos do reforço
- Requer **comparação de soluções**, eventualmente muito diferentes
- **Modelos e métodos de análise mais complexos** (embora possivelmente menos complexos que os de avaliação)

REFORÇO SÍSMICO

I - REFORÇO DE ELEMENTOS

- **Vigas** (Flexão, Corte e Confinamento)
- **Pilares** (Esforço normal, Flexão, Corte e Confinamento)
- **Paredes** (Flexão e Corte)
- **Fundações**
- **Encamisamento** em betão e FRP (fiber reinforced polymers)
- Aplicação de **chapas e varões exteriores**
- **Tirantes** de travamento lateral
- Paredes de alvenaria com **lâminas de betão projetado**

REFORÇO SÍSMICO

I - REFORÇO DE ELEMENTOS

Vantagens

- Mantém genericamente o sistema estrutural
- Menos intrusivo
- Aplicável quando o número de **elementos deficientes é reduzido**
- Normalmente **não influencia as fundações**

Inconvenientes

- Fica mais **dependente do existente** (maior incerteza)
- Exige **informação mais detalhada**
- Não permite corrigir **irregularidades estruturais**
- Difícil fazer a **ligação dos reforços nos nós**

REFORÇO SÍSMICO

II – ADIÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS

- **Paredes** estruturais
- Elementos de **contraventamento metálicos**
- Grande transformação de elementos
(**tamponamento de vãos em pórticos**)
- **Nova estrutura** (exterior) completa
- **Micro-estacas**
- **Isolamento de base**

REFORÇO SÍSMICO

II – ADIÇÃO DE NOVOS ELEMENTOS

Vantagens

- Permite corrigir **deficiências globais** (irregularidades e deformabilidade excessiva)
- Permite ficar **menos dependente do existente**
- Informação requerida **menos exigente**
- **Análise estrutural** mais fácil

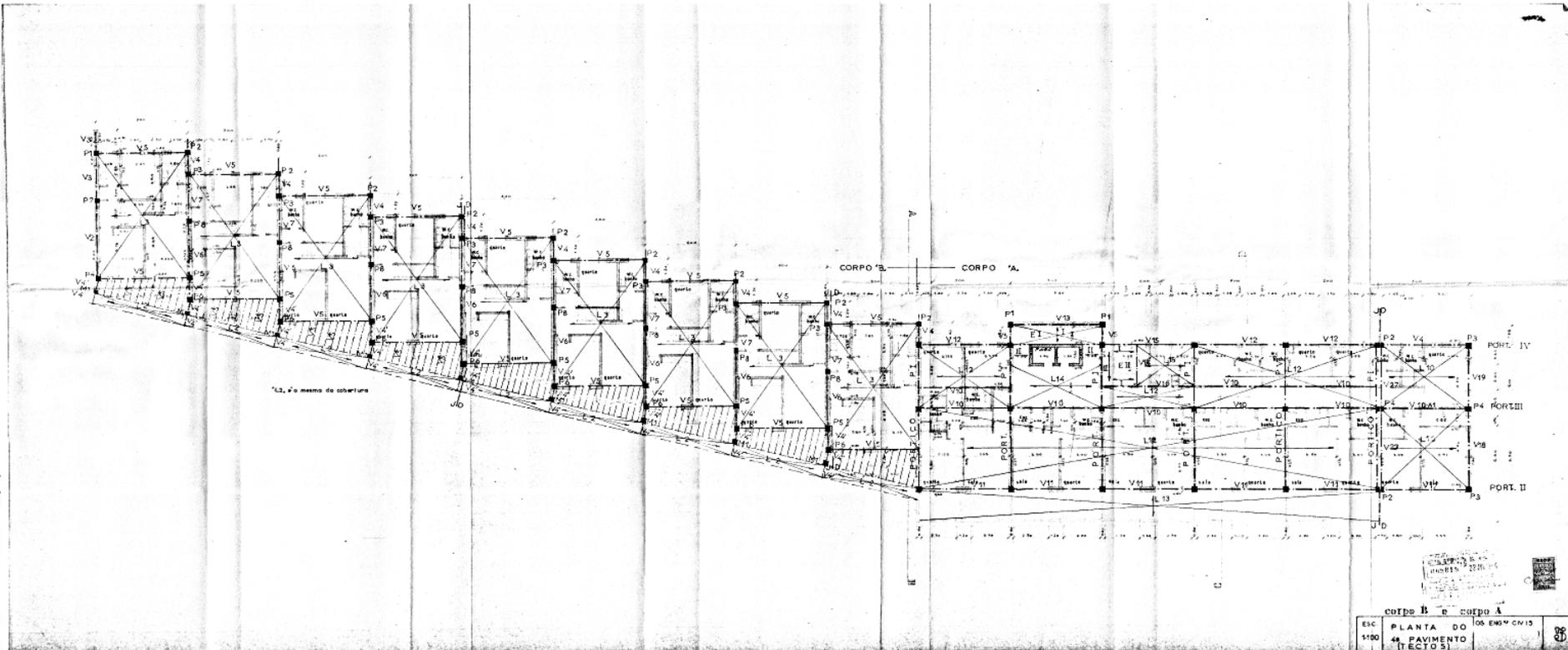
Inconvenientes

- Mais **intrusivo**
- Em geral exige **intervenção nas fundações**
- **Ligações novo-existente exigentes** e mais difíceis de dimensionar

Exemplo 1

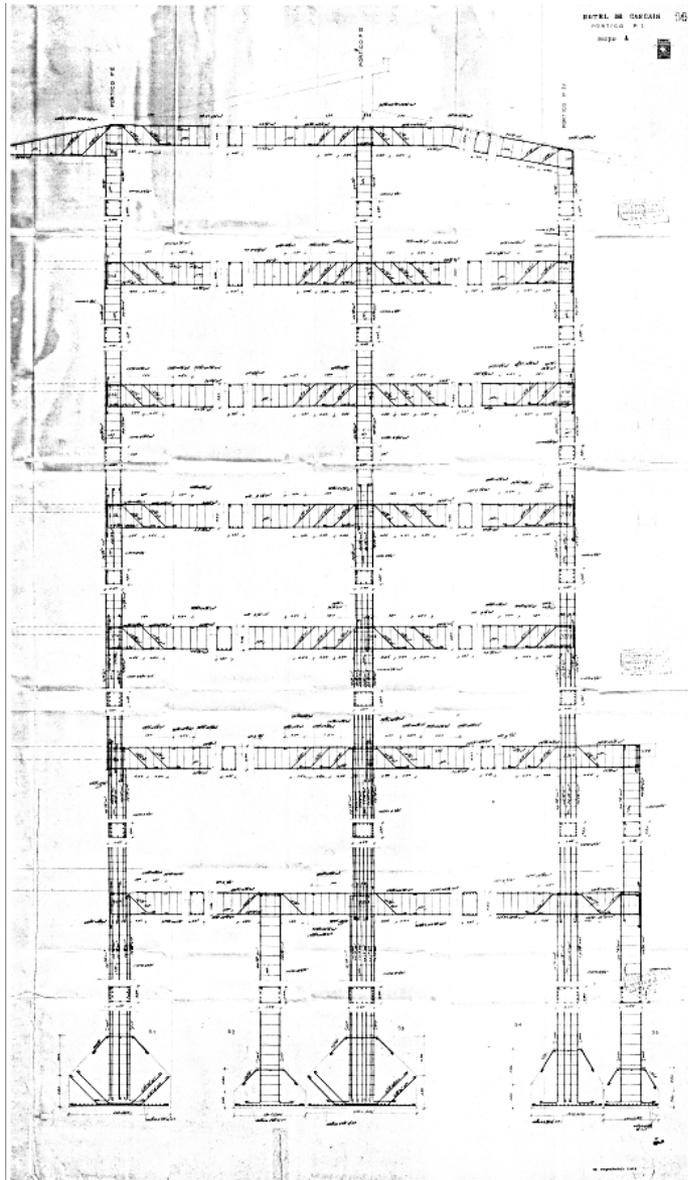
- **Remodelação profunda** para modernização de unidade hoteleira (2018)
- Edifício de **betão armado** com 1 cave e 6 pisos
- 110m de comprimento com **4 juntas de dilatação**
- Construção original: **1964** (sem referência à ação sísmica no projeto)
- Ampliação: **1971** (referência genérica à ação sísmica – **RSEP** - sem quantificar)
- Projeto original de estrutura disponível com **informação completa**
- **Levantamento estrutural**: sondagens a fundações; geometria de elementos estruturais; identificação de armaduras; Carbonatação e cloretos

Exemplo 1 – Planta de estrutura original



- Laje de vigotas pré-esforçadas
- Estrutura muito flexível
- Quatro juntas de dilatação transversais

Exemplo 1 – Pormenorização de pórtico transversal e quadro de pilares original



P I L A R E S

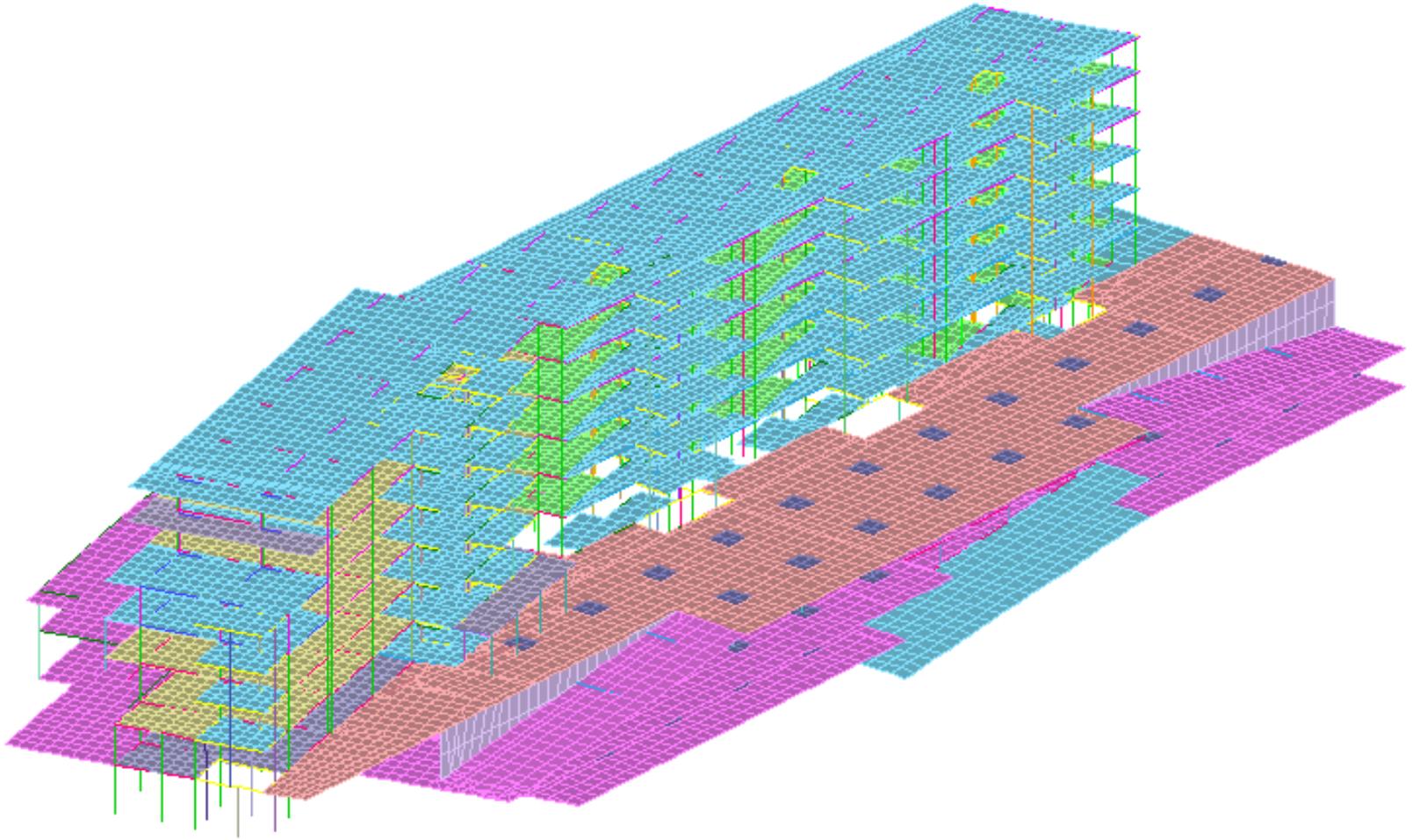
	DO 1º AO 2º PISO	DO 2º AO 3º PISO	DO 3º AO 4º PISO	DO 4ª COBERTURA
P 1 A				
P 2 A				
P 3 A				
P 4 A				
P 5 A				
P 6 A				
P 7 A				
P 8 A				

Pilares com armadura transversal muito débil

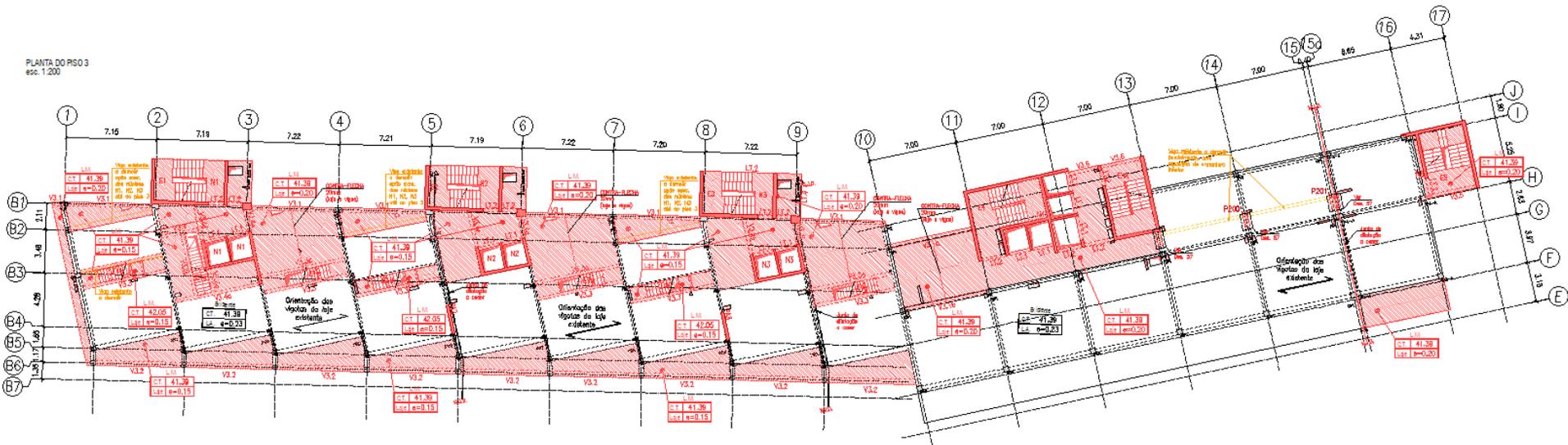
Exemplo 1 – Intervenção de reforço sísmico

- Introdução de **novos núcleos exteriores** e novas paredes interiores de betão armado
- **Fundação** dos novos núcleos **em novas caves** adjacentes
- **Eliminação de juntas** de dilatação
- **Reparação** de elementos estruturais com patologias
- **Reconstrução** integral dos **dois pisos superiores** (não decorrente do reforço sísmico)
- Análise modal da solução de reforço com modelo linear

Exemplo 1 – Modelo de análise (SAP)



Exemplo 1 – Planta de intervenção estrutural



Exemplo 1

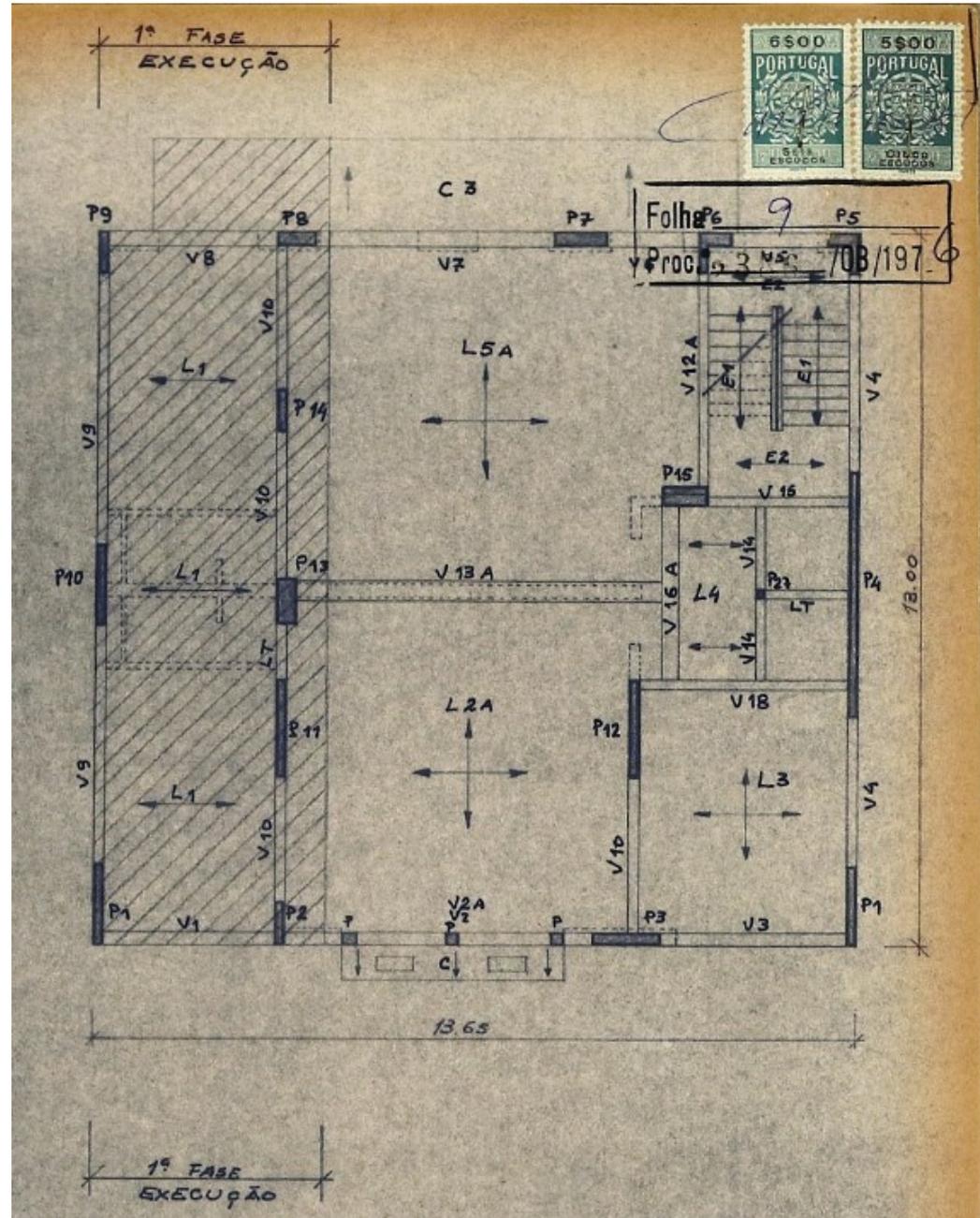


Exemplo 2

- **Remodelação de edifício** de escritórios para habitação (2022)
- Edifício de **betão armado**
- Duas cave e onze pisos
- Projeto original: **1972** com alterações em 1976 (de acordo com o **RSEP**; coeficiente sísmico: **10%**)
- Conclusão da obra: **1988**
- Projeto original de estrutura disponível com **informação completa** (A40T e B180)
- **Levantamento estrutural**: geometria de elementos estruturais; identificação de armaduras; ensaio de materiais

Exemplo 2 – Planta de estrutura original

Grande diferença de rigidez nas duas direções principais



Exemplo 2 – Quadro de pilares original

QUADRO DE PILARES

C. DA ESCADA	10º PISO	9º PISO	8º PISO	7º PISO	6º PISO	5º PISO	4º PISO	3º PISO	2º PISO	GALERIA	1º PISO	CAVE	SUB/CAVE
20													
25													
30													
35													
40													
45													
50													
55													
60													
65													
70													
75													
80													
85													
90													

Folha 122
Proj. 934 00/12

Betão B180 (dosagem mínima 300 kg/cm³ betão)
Aço A40T (TIPO HELIAGO OU SN T40)

Pilares com armadura transversal muito débil

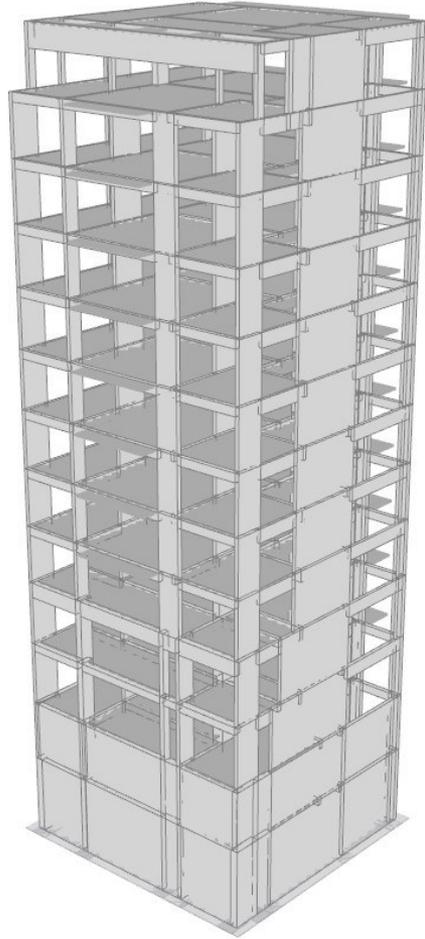
Exemplo 2 – Intervenção de reforço sísmico

- Estudo de **vulnerabilidade sísmica do existente** com programa Seismobuild com resultado negativo

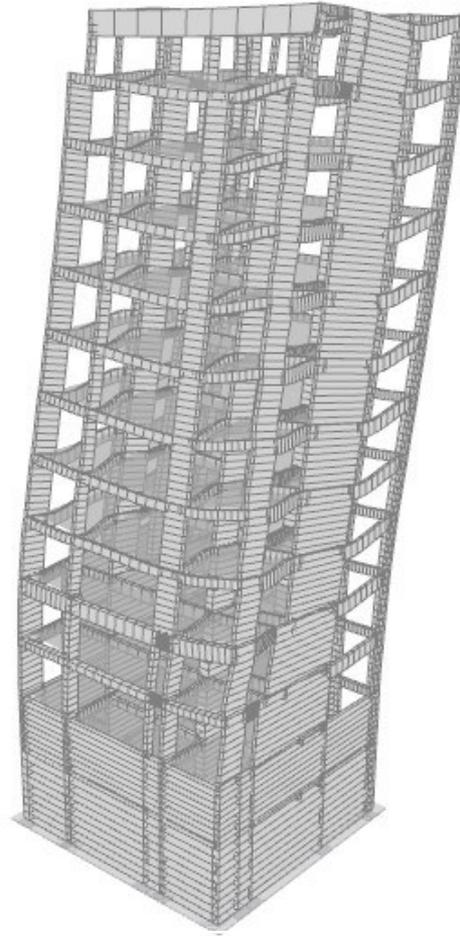
Intervenção de reforço

- Em termos globais: Introdução de **novos elementos de betão armado** (fecho de dois tramos da estrutura porticada) para diminuir os esforços em alguns elementos originais.
- Em termos locais: Reforço da resistência ao **esforço transversal em vigas**.

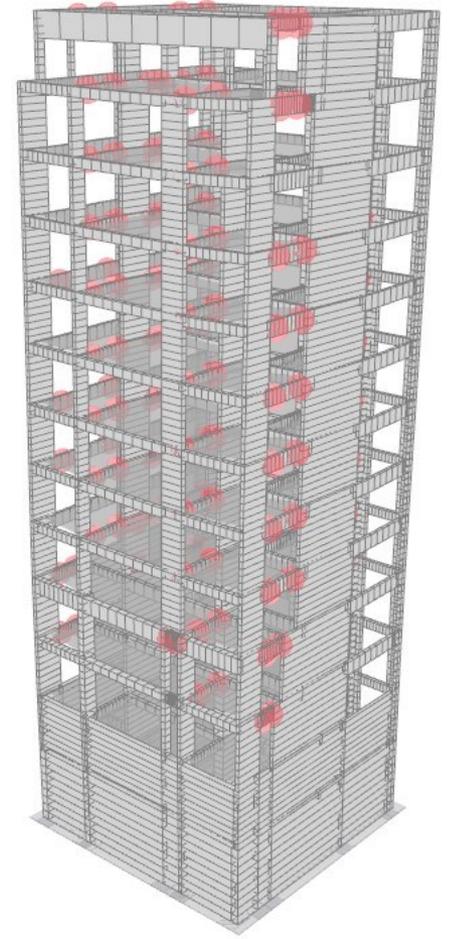
Exemplo 2 – Modelo de análise para avaliação da vulnerabilidade sísmica do existente (Seismobuild)



Modelo



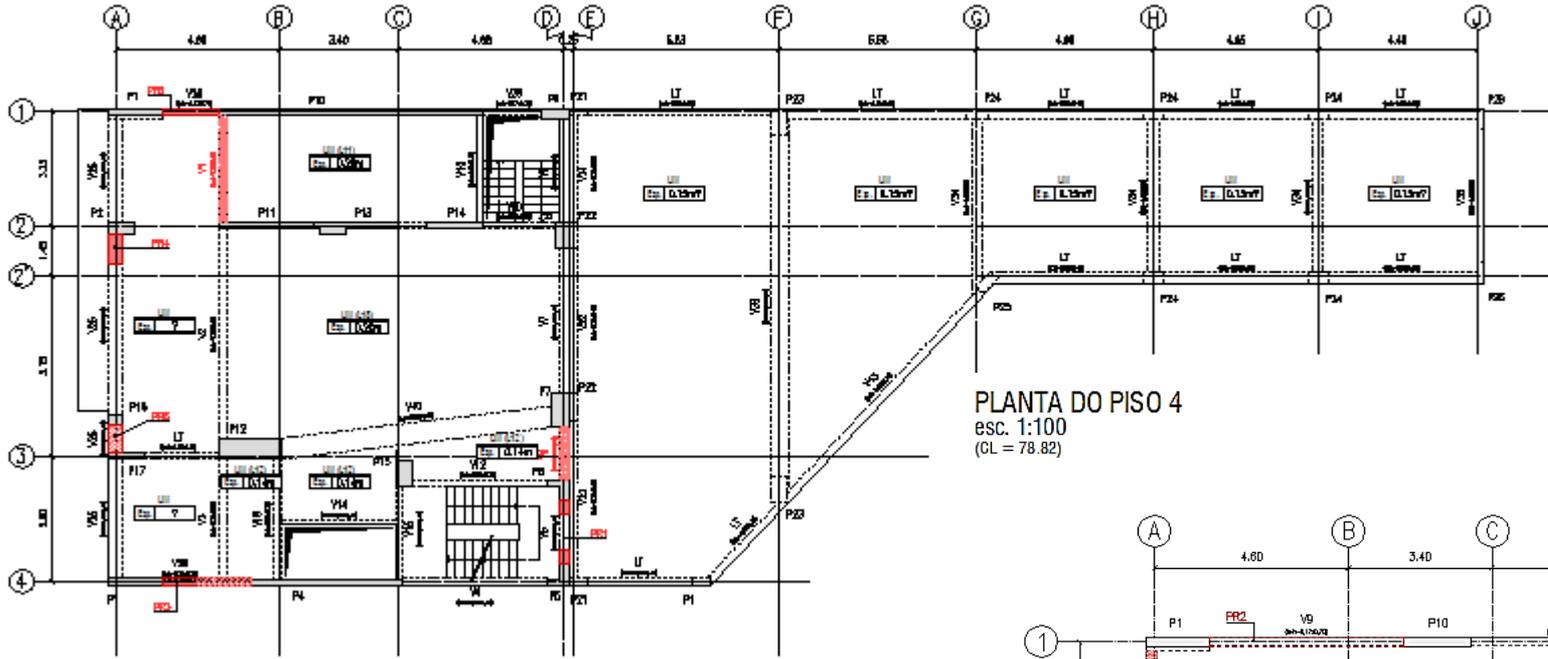
Deslocamentos



Elementos com
deficiência

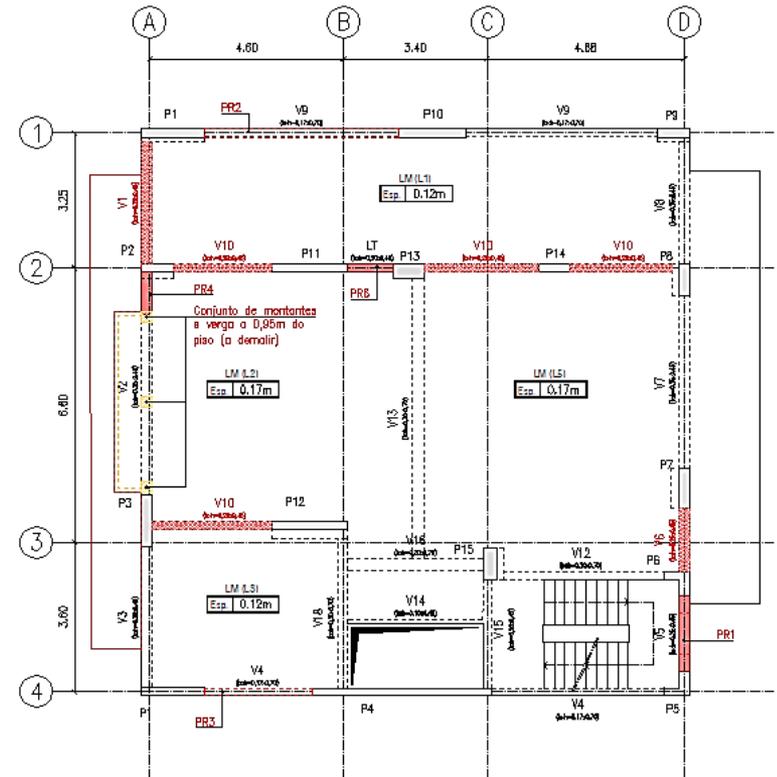
PLANTA DO PISO 2

esc. 1:100
(CL = 79.32)



PLANTA DO PISO 4

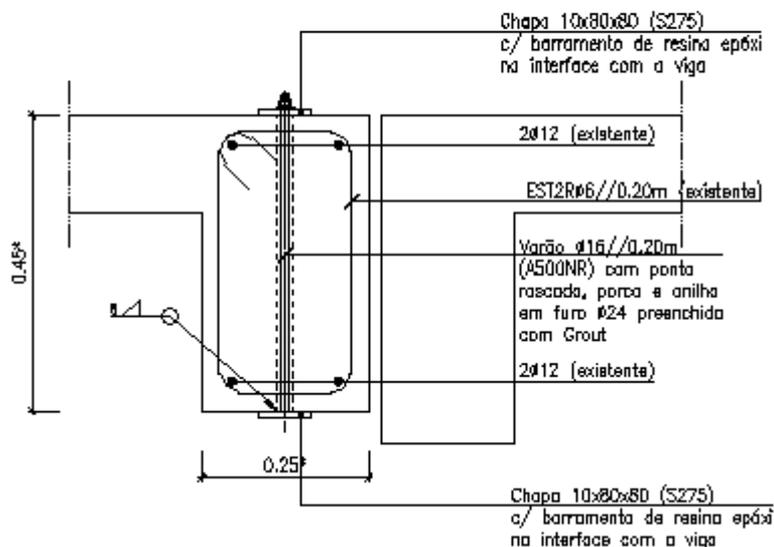
esc. 1:100
(CL = 78.82)



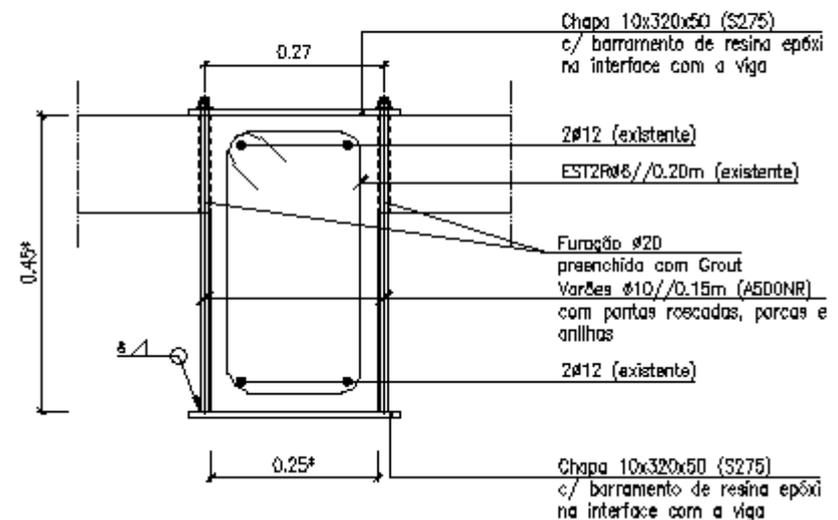
Exemplo 2 – Plantas de intervenção estrutural

Exemplo 2 – Reforço das vigas em relação ao esforço transversal

V6
PISOS 1 E 2
esc. 1:10



V6
PISO 3 A PISO 12
esc. 1:10



Exemplo 2 – Tamponamento de pórtico e reforço de vigas



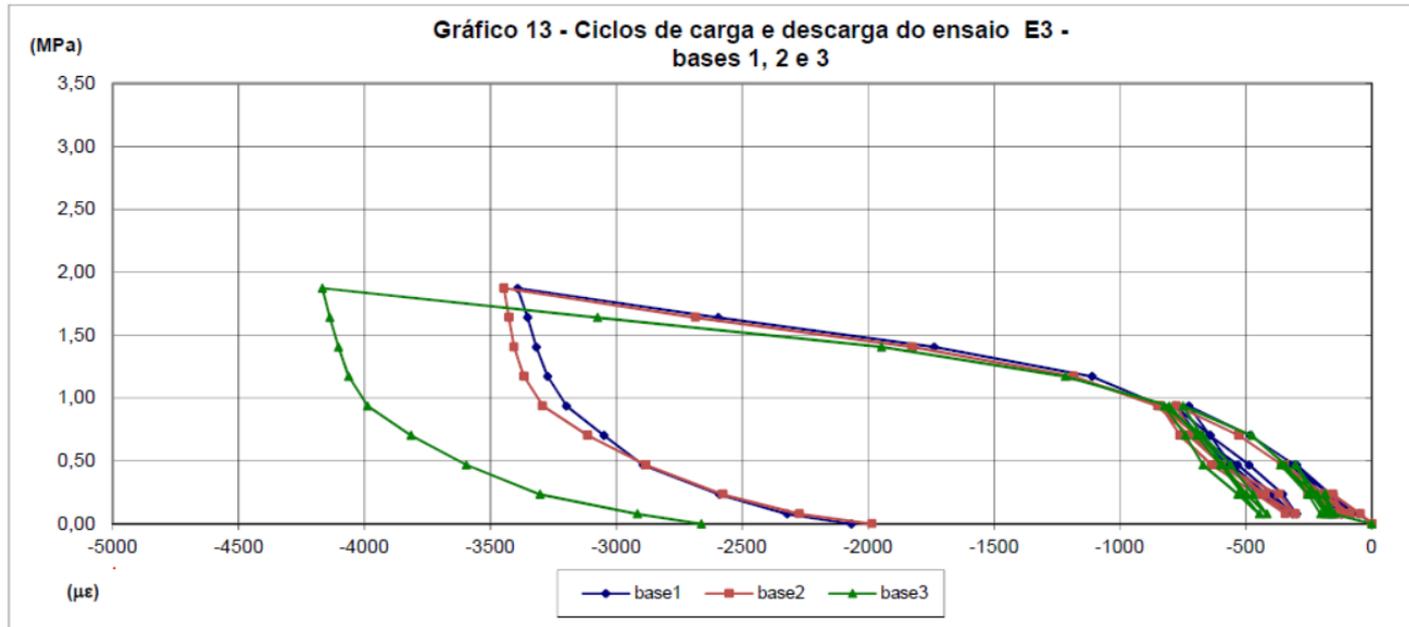
Exemplo 3

- Remodelação profunda de **edifício pombalino** (2018)
- Paredes de **alvenaria de pedra**, de **frontal** e de **tabique**; **pavimentos de madeira**
- Quatro pisos e zonas de cave com caráter “caótico”
- Edifício em **muito mau estado**
- Levantamento **dimensional**, **estrutural** e da geometria das **paredes de frontal**
- Reconhecimento geotécnico e sondagens a fundações
- Realização de ensaios (in situ e laboratoriais) de **caracterização mecânica** da alvenaria e da **madeira dos pavimentos**

Exemplo 3 – Estado de degradação do edifício



Exemplo 3 – Ensaios de alvenaria



7 ensaios:

$$f_{c,max} = 1,2MPa$$

$$f_{c,min} = 0,94MPa$$

(Piso 0)



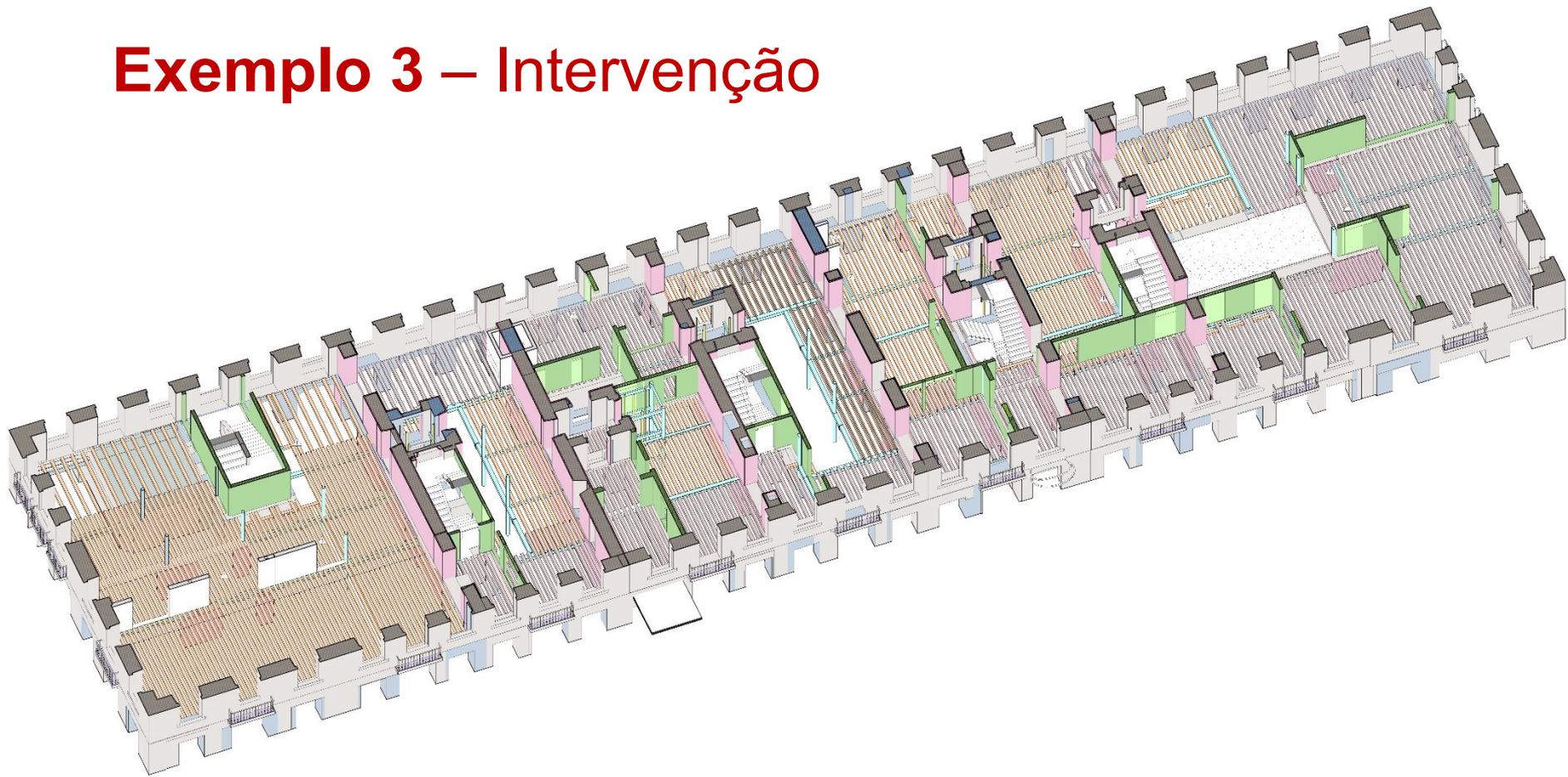
Exemplo 3 – Intervenção de reforço sísmico

- **Reforço de paredes** de alvenaria transversais com **lâmina de betão armado** projetado, incluindo armaduras verticais de reforço nas extremidades
- Reforço do paramento interior das fachadas com **reboco armado com rede de fibra de carbono**
- Reconstrução de **paredes de frontal**
- **Reposição dos nembos de fachada** ausentes, em alvenaria
- Colocação de **tirantes transversais** de travamento de fachadas em três níveis
- Fundação de novos elementos verticais com **micro-estacas** (não relacionado com o reforço sísmico)

Exemplo 3 – Intervenção de reforço sísmico (cont.)

- **Reconstrução integral da cobertura** com estrutura de madeira (Glulam)
- **Manutenção dos pavimentos** de madeira (barrotes) com reconstrução/reparação das zonas danificadas
- Introdução de **vigas metálicas de reforço dos pavimentos** (não relacionado com o reforço sísmico)
- Análise modal com modelo linear para o edifício reforçado

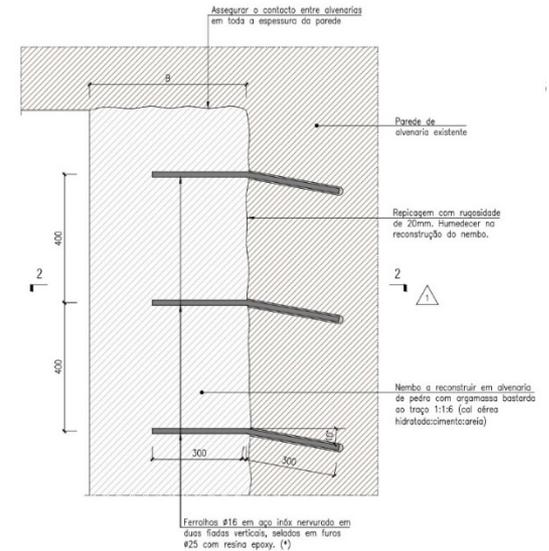
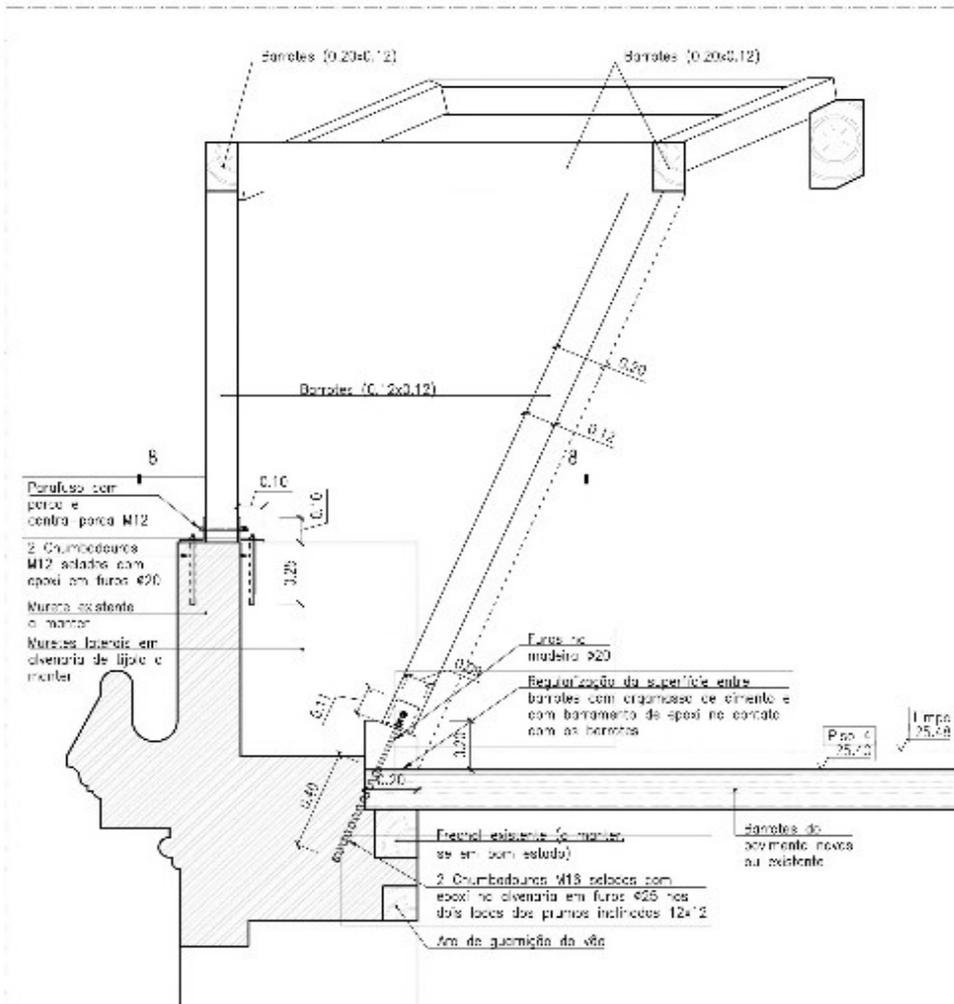
Exemplo 3 – Intervenção



- Reforço de paredes transversais (rosa)
- Manutenção do pavimento com reconstrução de zonas danificadas (dois tons de castanho)
- Vigas metálicas de reforço dos pavimentos (azul)
- Manutenção de paredes de frontal (verde)

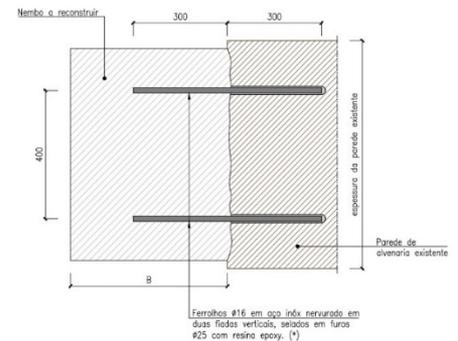
Exemplo 3 – Pormenores da Intervenção

PORMENOR DE RECONSTRUÇÃO DE NEMBOS NA FACHADA NO PISO 0
ALÇADO TIPO
esc. 1:10



NOTA: (*) - Apenas nos casos em que B>0,40m.

CORTE 2:2
esc. 1:10

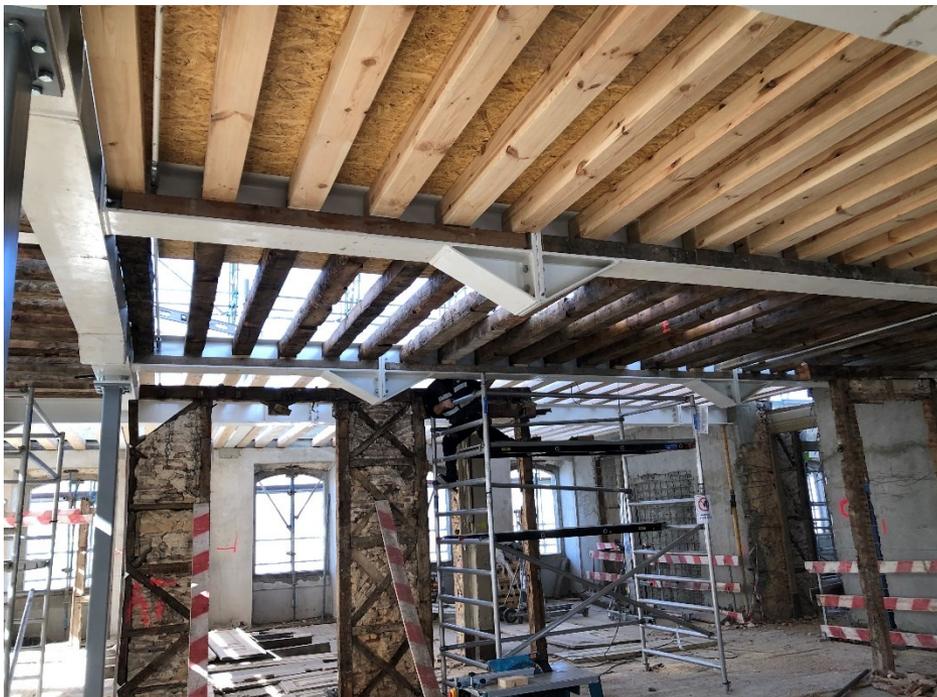


Ferrolos Ø16 em aço inox nervurado em duas fileiras verticais, selados em furos Ø25 com resina epoxy. (*)

Exemplo 3 – Reforço de paredes de alvenaria (lâmina de betão ou reboco com rede de carbono)



Exemplo 3 – Reconstrução de pavimentos; Tirantes de travamento transversal



Exemplo 3 – Reconstrução de paredes de frontal



Obrigado