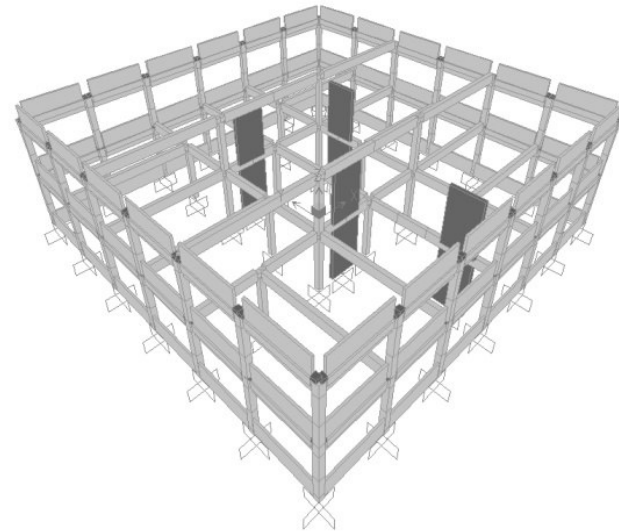
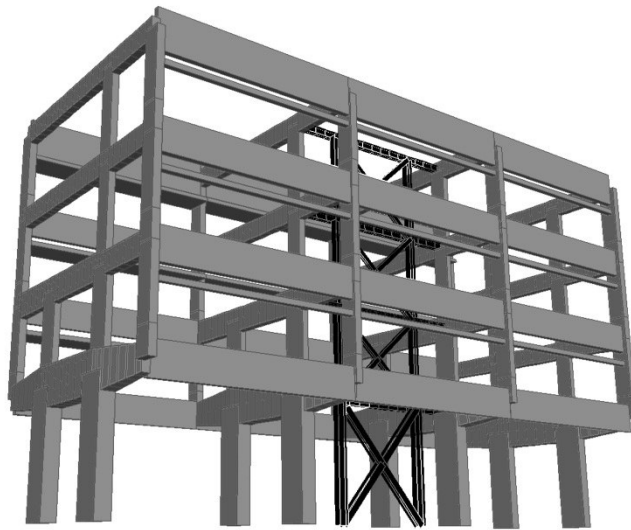


Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

A Experiência Acumulada da Parque Escolar



Jorge Miguel Proença e António Sousa Gago

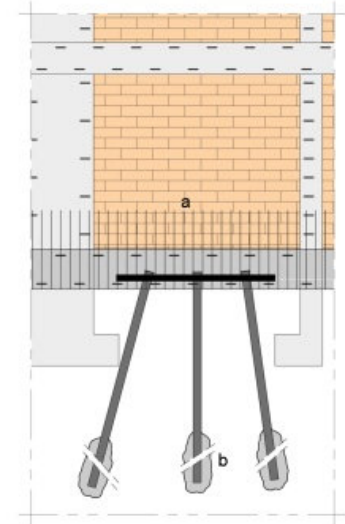
10 de Janeiro de 2013

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

No ano de **2008** o Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (ICIST), do Instituto Superior Técnico (IST), iniciou colaboração com a Parque Escolar, EPE, para avaliação da segurança sísmica e para a definição de soluções gerais de reforço nos edifícios escolares a intervencionar no Programa de Modernização das escolas do ensino secundário.

Nesse âmbito, o IST estudou um total de **vinte e cinco escolas** (uma da Fase 0; cinco da Fase 2; e dezanove da Fase 3),

Dessas escolas onze foram objeto de estudo detalhado e catorze (todas da Fase 3) foram objeto dum estudo mais generalizado, que aproveitou os resultados obtidos em estudos anteriores.



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Os estudos do IST foram enriquecidos através da discussão dos seus resultados com as equipas de projecto das novas intervenções e com as equipas técnicas da Parque Escolar, EPE.

Apresenta-se de seguida uma síntese dos estudos realizados no âmbito do projeto da Parque Escolar, EPE, referentes à avaliação e reforço sísmico dos edifícios escolares situados em zonas de maior sismicidade (Algarve, Alentejo e Lisboa e Vale do Tejo), com projeto anterior a 1983 (RSAEEP).



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

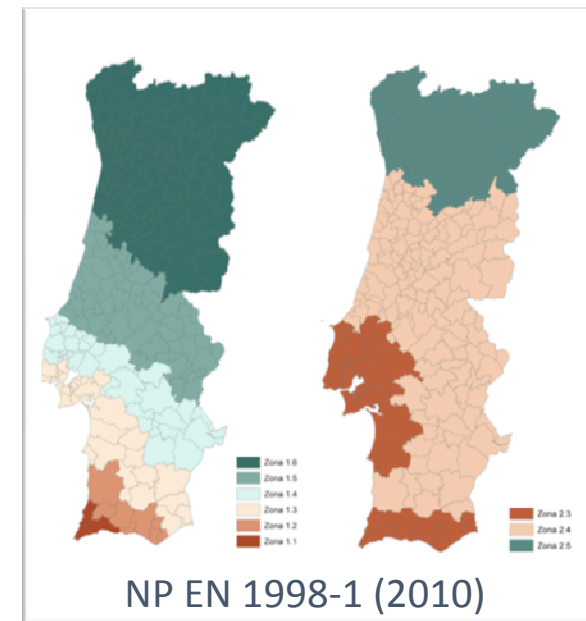
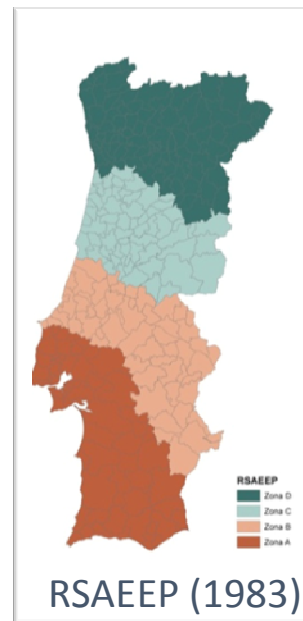
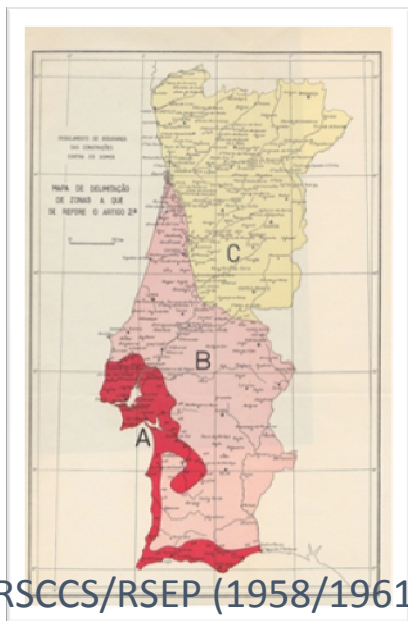
A necessidade de reforço sísmico pode inferir-se através da evolução da regulamentação nacional para resistência aos sismos:

1958 RSCCS Regulamento de Segurança das Construções Contra os Sismos

1961 RSEP Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes

1983 RSAAEP Regulamento de Segurança e Acções em Estruturas de Edifícios e Pontes

2010 NP EN 1998-1 Eurocódigo 8



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Considerando a evolução da regulamentação e a evolução da prática construtiva de edifícios escolares, consideraram-se as seguintes **cinco grandes tipologias de construções escolares** a serem alvo de reforço sísmico:

- 1) Edifícios históricos. Edifícios construídos entre o final do séc. XIX e 1935.
- 2) Edifícios de paredes portantes de alvenaria, com lajes de piso de betão armado, posteriores a 1935.
- 3) Edifícios integralmente de betão armado, sem cálculo sísmico (anteriores ao RSCCS).
- 4) Edifícios integralmente de betão armado, com cálculo sísmico simplificado, de acordo com o RSCCS/RSEP.
- 5) Outros edifícios construídos por métodos industrializados. Sistemas pré-fabricados, INDUBEL, CLASP, IMPREL, etc, projetados anteriormente a 1983.

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

As escolas estudadas (análise e reforço sísmico) pelo IST foram:

Edifícios de paredes portantes de alvenaria, com lajes de piso de betão armado:

- 1) Pólo de Educação e Formação de D. João de Castro, Lisboa
- 2) Escola Secundária de Sá da Bandeira, Santarém
- 3) Escola Secundária de Tomás Cabreira, Faro
- 4) Escola Secundária de D. Luísa de Gusmão, Lisboa
- 5) Escola Básica e Secundária de Alfredo Silva, Barreiro
- 6) Escola Secundária de João de Deus, Faro

Edifícios integralmente de betão armado, sem cálculo sísmico:

- 7) Escola Secundária de Poeta António Aleixo, Portimão
- 8) Escola Básica e Secundária de Dr. Manuel Fernandes, Abrantes

Edifícios integralmente de betão armado, com cálculo sísmico simplificado:

- 9) Escola Secundária de Rainha Dona Leonor, Lisboa
- 10) Escola Secundária de Rainha Santa Isabel, Estremoz

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escolas estudadas pelo IST (cont.):

Edifícios integrais de betão armado, com cálculo sísmico simplificado (cont.):

- 11) Escola Secundária de Ferreira Dias, no Cacém
- 12) Escola Secundária de Henriques Nogueira, em Torres Vedras
- 13) Escola Secundária de Jorge Peixinho, no Montijo
- 14) Escola Secundária de Vila Real de Santo António, Vila Real de Santo António

Edifícios integralmente de betão armado, com cálculo sísmico simplificado:

- 15) Escola Secundária de Dr. Azevedo Neves, Amadora
- 16) Escola Secundária de Gago Coutinho, Alverca
- 17) Escola Secundária de Monte de Caparica, Monte de Caparica
- 18) Escola Secundária de D. João II, Setúbal
- 19) Escola Secundária de Júlio Dantas, Lagos
- 20) Escola Secundária de Loulé, Loulé
- 21) Escola Secundária de Luis de Freitas Branco, Paço de Arcos

Edifícios construídos por métodos industrializados:

- 22) Escola Secundária de Professor Ruy Luís Gomes, Almada

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escolas estudadas pelo IST (cont.):

Edifícios construídos por métodos industrializados (cont.):

23) Escola Secundária de D. João V, Damaia

24) Escola Secundária de Camilo Castelo Branco, Carnaxide

25) Escola Secundária de Dr. Hernâni Cidade, Redondo

O IST ainda participou nos estudos das seguintes escolas:

26) Escola Secundária de Benavente, Benavente

27) Escola Secundária Rainha D. Amélia, Lisboa

28) Escola Secundária de Pedro Santarém, Lisboa

29) Escola Secundária de Padre António Vieira, Lisboa

Outras escolas intervencionadas em que o IST não participou nos estudos de avaliação e reforço sísmico:

Escola Secundária de Passos Manuel, Lisboa

Escola Secundária de Pedro Nunes, Lisboa

Escola Secundária de Camões, Lisboa

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Outras escolas intervencionadas em que o IST não participou nos estudos de avaliação e reforço sísmico (cont.):

Escola Secundária de D. Filipa de Lencastre, Lisboa

Escola Secundária de Sebastião da Gama, Setúbal

Escola Secundária de D. Inês de Castro, Alcobaça

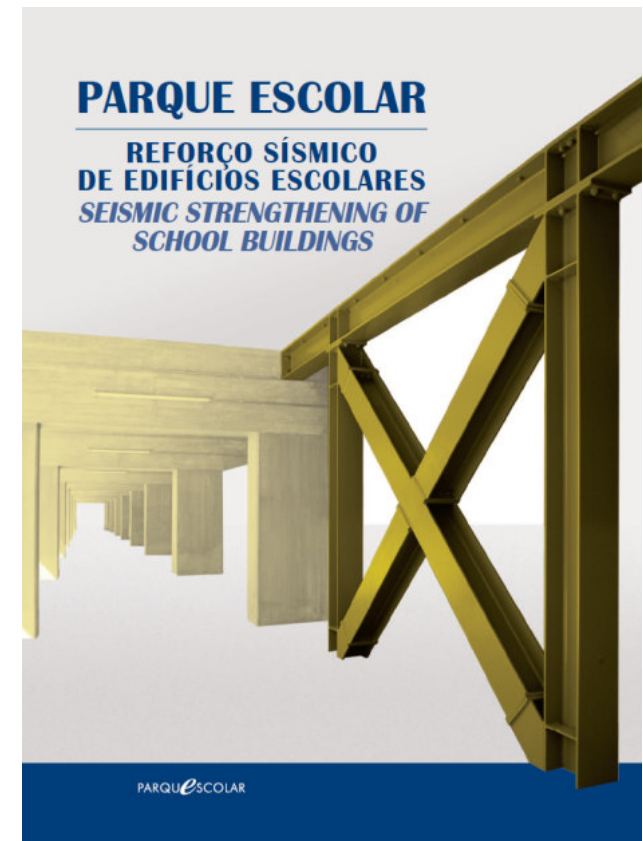
E outras ...

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Refere-se a a publicação do livro “Parque Escolar: Reforço Sísmico de Edifícios Escolares”, no qual se descreve um conjunto de **13 intervenções** em edifícios construídos em diferentes épocas, que testemunham a diversidade dos problemas e das soluções de reforço sísmico.

Nem todas as escolas cujos estudos são relatados no livro foram estudadas pelo IST. Em algumas, os estudos de avaliação da segurança sísmica e foram realizados autonomamente pelas equipas de projecto.

Apresenta-se de seguida uma seleção de **seis** desses **casos de estudo**, descrevendo as soluções técnicas e os respectivos custos.



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Pedro Nunes, Lisboa (1911)

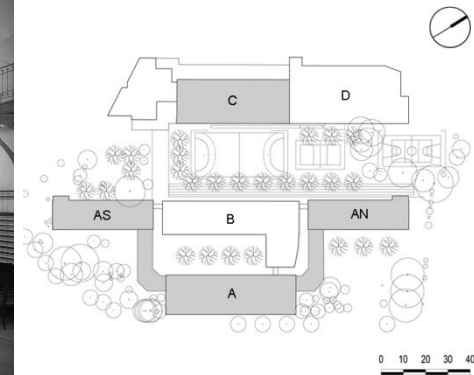
EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: Teixeira Trigo, Lda

ARQUITECTURA: Pedro Viana Botelho / Maria do Rosário Beija

EMPREITEIRO: Consórcio NETT Escolar (NOVOPCA, S.A. / EIFFAGE, S.A. / Teodoro Gomes Alho, S.A. / João Jacinto Tomé, S.A.)

FISCALIZAÇÃO: TECNOPLANO – Tecnologia e Planeamento, S.A.



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Pedro Nunes, Lisboa (1911)

Ações de reforço sísmico:

- Reforço de pavimentos (constituição de piso rígido);
- Introdução de pórticos de travamento, de betão armado;
- Reforço de paredes de alvenaria (reboco armado e fecho de vãos);
- Reforço de fundações de algumas paredes (microestacas);
- Reforço de coberturas;
- Introdução de estrutura metálica de travamento (ginásio exterior).

Custo do reforço sísmico:

Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
Ginásio/Cantina (edifício C)	1950s	2220	46 464	20.9
Edifício do Antigo Liceu (edifício A)	1911	7900	397 392	50.3

Valores indicativos

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Pedro Nunes, Lisboa (1911)



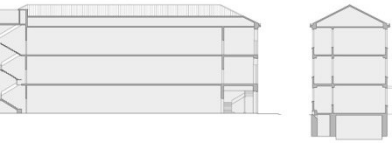
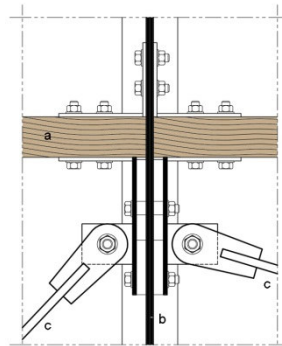
Ginásio interior – reforço de cobertura



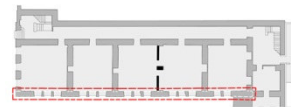
Ginásio exterior – travamento



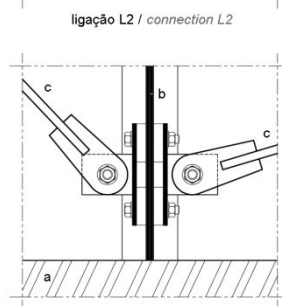
planta do tecto do ginásio
plan of gym roof



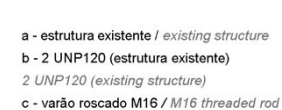
cut longitudinal and transverse
longitudinal and transverse cross-sections



piso 0 / ground floor



ligação L2 / connection L2



ligação L1 / connection L1

- a - estrutura existente / existing structure
- b - 2 UNP120 (estrutura existente)
2 UNP120 (existing structure)
- c - varão roscado M16 / M16 threaded rod

- === reforço com microestacas
strengthening with micropiles
- fecho de vãos de parede (BA)
closure of wall openings (RC)



Ligação entre paredes ortogonais e pavimentos



Novo pavimento (diafragma rígido)

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de D. Inês de Castro, Alcobaça (1950-1960s)

EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: VERSOR – Consultas Estudos Projectos, Lda

ARQUITECTURA: Gárgula – Arquitectura e Empreendimentos, Lda

EMPREITEIRO: Alexandre Barbosa Borges, S.A. / BRITALAR – Sociedade de Construções, S.A.

FISCALIZAÇÃO: TPF Planege – Consultores de Engenharia e Gestão, S.A. / IPERPLANO – Gestão, Planeamento e Fiscalização de Obras, Lda

OBJ



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de D. Inês de Castro, Alcobaça (1950-1960s)

Ações de reforço sísmico:

- Reforço de paredes de alvenaria resistente mediante colocação armadura e projeção de betão (variante do “reboco armado”);
- Reforço das fundações das paredes intervencionadas;
- Encamisamento de alguns dos pilares existentes;
- Criação e reforço de vigas em zonas de vãos de paredes.

Custo do reforço sísmico:

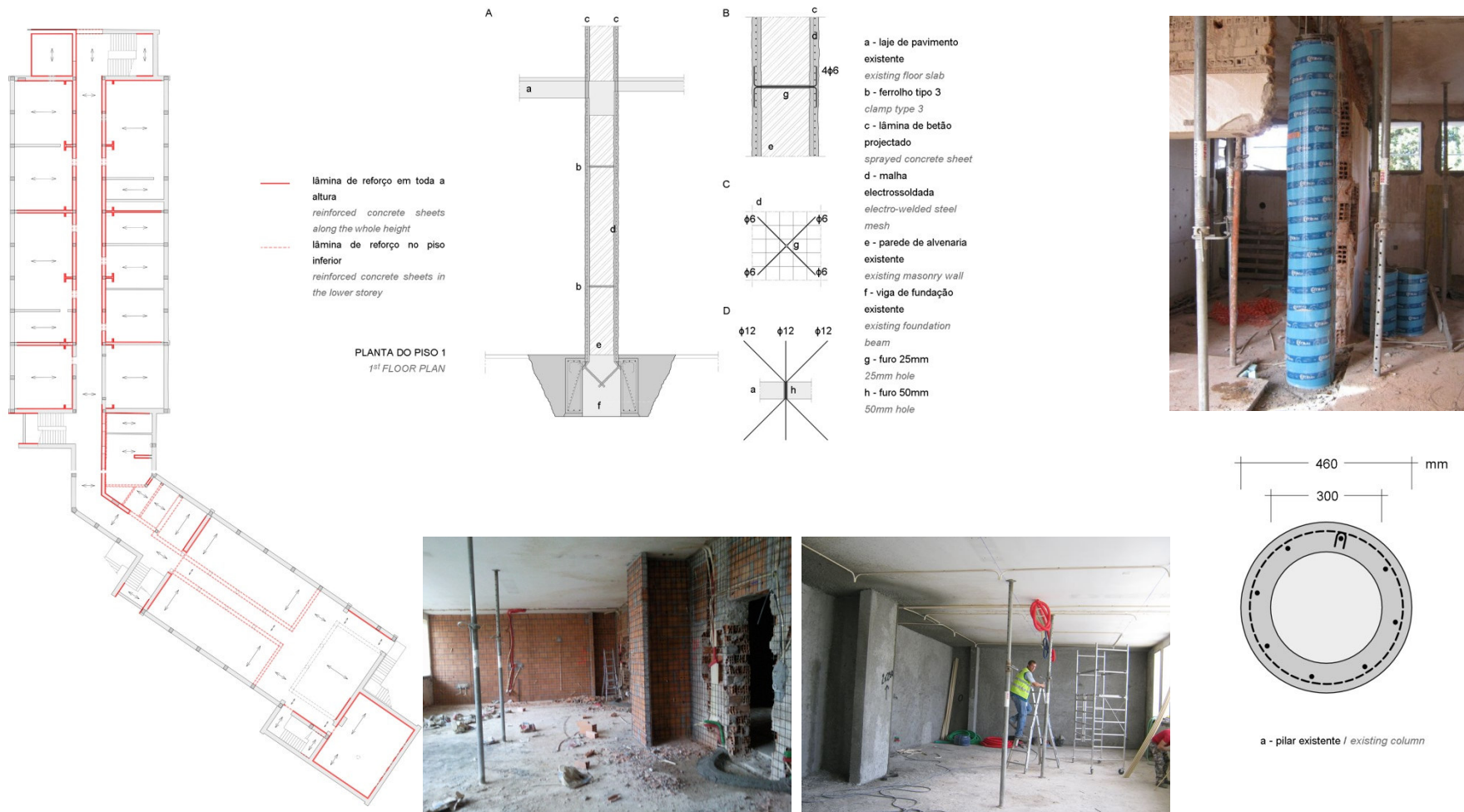
Valores indicativos



Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
Edifício Matriz (principal)	1960s	4074	125 115	30.7

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de D. Inês de Castro, Alcobaça (1950-1960s)



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Padre António Vieira, Lisboa (1965)

EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: PROFICO, Lda

ARQUITECTURA: Teresa Nunes da Ponte Arquitectura, Lda

EMPREITEIRO: Construtora Abrantina, S.A. / Lena Engenharia e Construções, S.A. / Manuel Rodrigues Gouveia, S.A.

FISCALIZAÇÃO: TECNOPLANO – Tecnologia e Planeamento, S.A.



Escola Secundária de Padre António Vieira, Lisboa (1965)

Ações de reforço sísmico:

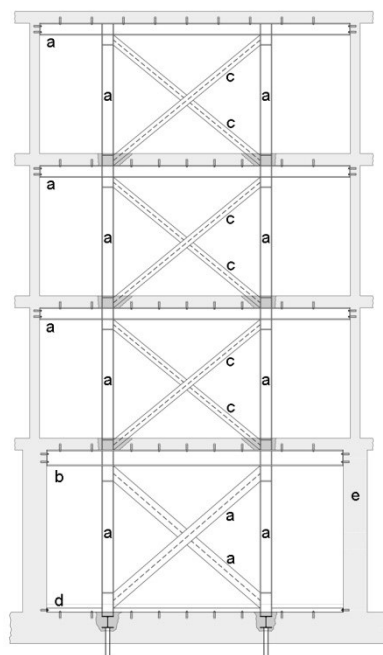
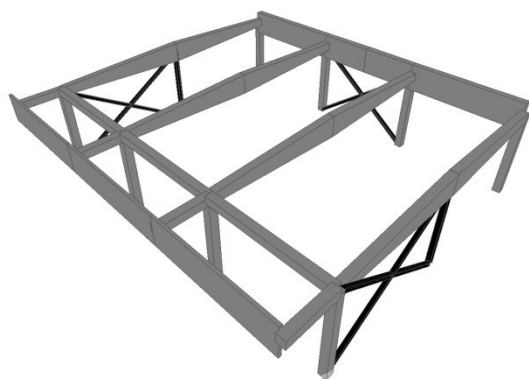
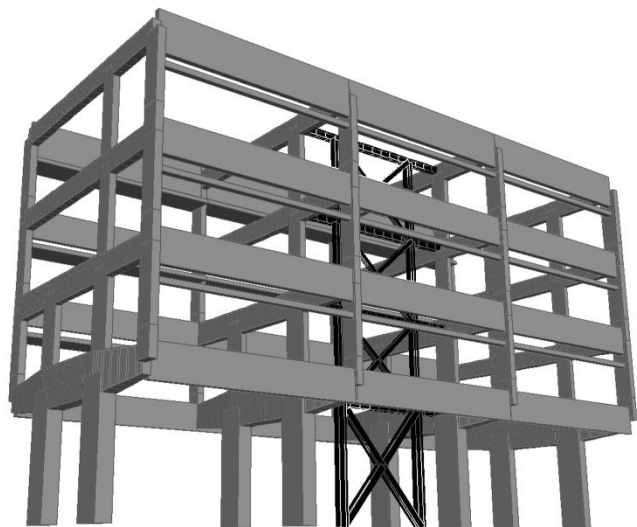
- Construção de estruturas metálicas de travamento longitudinal dos 4 corpos do bloco A3;
- Construção de estruturas metálicas de travamento, em ambas as direções dos corpos do bloco A2;
- Todas as estruturas metálicas anteriores apresentam fundações próprias, por microestacas;
- Reforço pontual do elementos estruturais do bloco A1 (ginásio).

Custo do reforço sísmico:

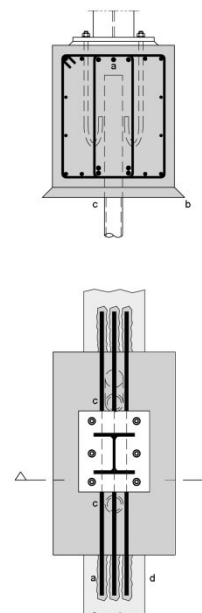
Valores indicativos

Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
Todos os corpos	1960s	7900	400 000	50.6

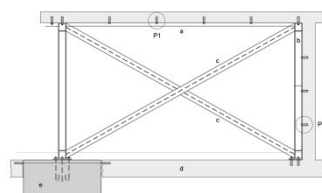
Escola Secundária de Padre António Vieira, Lisboa (1965)



- a - HEB300
- b - HEB400
- c - HEB200
- d - UNP300
- e - estrutura existente / existing structure



- a - varões selados à viga existente / rebars anchored in existing beam
- b - botão de regularização / levelling concrete screed
- c - microestaca / micropile
- d - viga existente / existing beam



- a - UPN180
- b - HEB180
- c - HEB140
- d - estrutura existente / existing structure
- e - maciço / pilecap block



1º Projecto Normalizado

Escola Secundária de Rainha Santa Isabel, Estremoz (1960s)

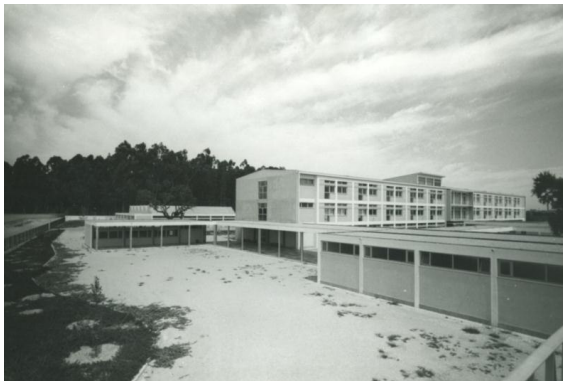
EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: PROFICO, Lda

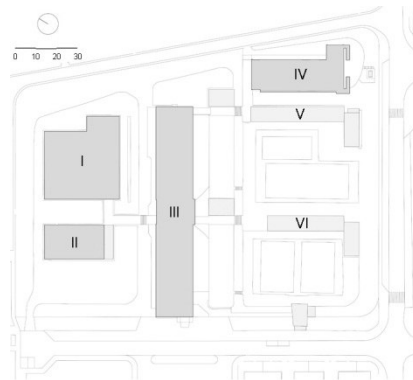
ARQUITECTURA: Oficina Ideias em Linha – Arquitectura e Design, Lda

EMPREITEIRO: SETH, S.A. / ENGIARTE – Engenharia e Construções, S.A. / Edificadora Luz & Alves, Lda

FISCALIZAÇÃO: PROSPECTIVA – Projectos, Serviços e Estudos, Lda / GIBB Portugal, S.A. / EFS – Engenharia Fiscalização Serviços, Lda



Campus escolar análogo (ES de Jorge Peixinho)



- I - Oficina de Mecânica *Mechanics Workshop*
- II - Oficina de Electricidade *Electricity Workshop*
- III - edifício principal *main building*
- IV - Pavilhão Gimnodesportivo *Gym/Sports Hall*
- V - Bloco Salas Desenho *Drawing Classrooms Block*
- VI - Bloco Gabinetes *Office's Block*



ES de Rainha Santa Isabel (Estremoz)

1º Projecto Normalizado

Escola Secundária de Rainha Santa Isabel, Estremoz (1960s)

Ações de reforço sísmico:

Edifício das salas de aula (III)

- Construção de estrutura porticada pelo exterior, transversal e longitudinal, ligada à estrutura existente;
- Reforço das diagonais de contraventamento transversal.

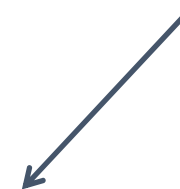
Pavilhão gimnodesportivo (IV)

- Reforço de pilares, paredes e vigas existentes, pelo exterior.

Custo do reforço sísmico:

Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
	1960s	7150	245 000	34.3

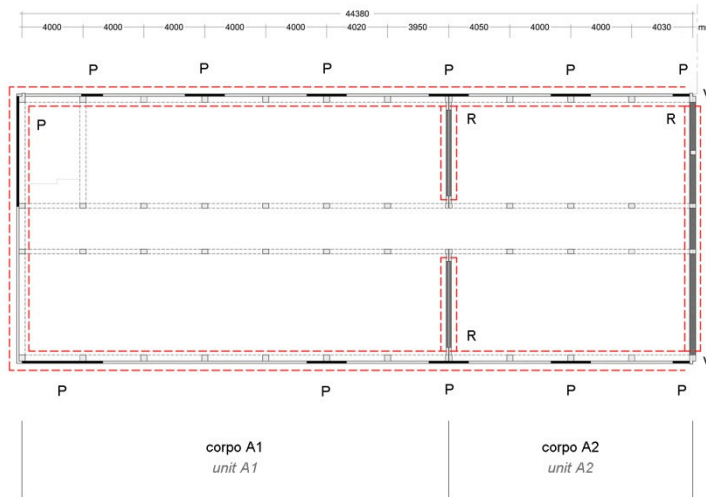
Valores indicativos



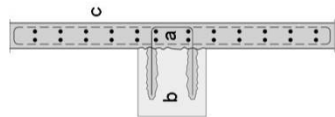
Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

1º Projecto Normalizado

Escola Secundária de Rainha Santa Isabel, Estremoz (1960s)



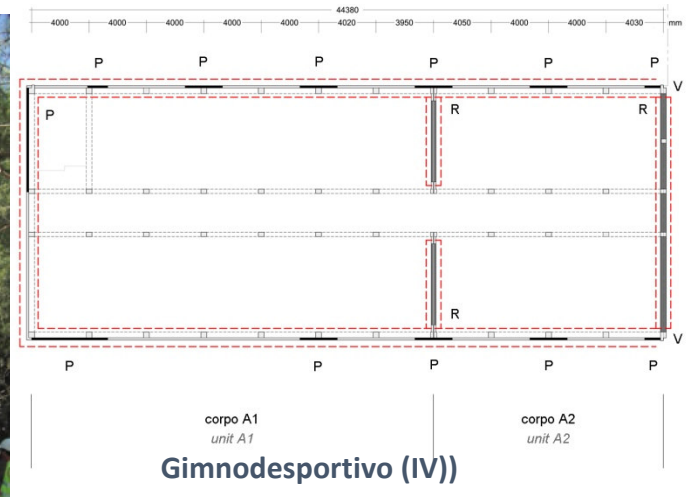
R - reforço das diagonais de betão existentes / *strengthening of existing RC diagonals*
 P - reforço de pilares e paredes existentes / *strengthening of existing columns and walls*
 V - reforço de vigas existentes / *strengthening of existing beams*



a - ferrolho af. 250 em U
U-shaped dowels @250mm
 b - pilar de betão existente
existing RC column
 c - parede de betão
RC shear wall (new)



Edifício principal (III)



R - reforço das diagonais de betão existentes / *strengthening of existing RC diagonals*
 P - reforço de pilares e paredes existentes / *strengthening of existing columns and walls*
 V - reforço de vigas existentes / *strengthening of existing beams*



Gimnodesportivo (IV)

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Básica e Secundária de Dr. Azevedo Neves, Amadora (1980s)

EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: PROCONSULTORES II – Projectos e Consultoria, Lda

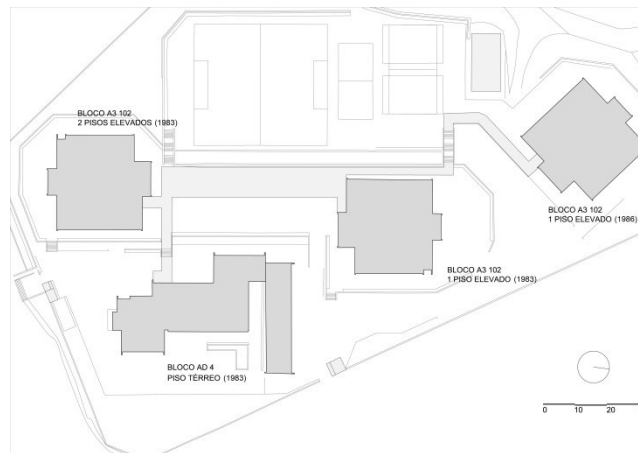
ARQUITECTURA: João Lúcio Lopes Arquitectos, Lda

EMPREITEIRO: HAGEN, S.A.

FISCALIZAÇÃO: CINCLUS – Planeamento e Gestão de Projectos, S.A.



Bloco A3 de campus similar (ES de Loulé)



Clarabóia e átrio interior

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Básica e Secundária de Dr. Azevedo Neves, Amadora (1980s)

Ações de reforço sísmico (em cada bloco das salas de aula):

- Construção de oito paredes resistentes em betão armado, substituindo empenas cegas existentes na periferia;
- As paredes resistentes anteriores têm fundações por microestacas;
- Supressão das juntas de dilatação entre blocos;
- Construção de uma viga periférica ao nível do apoio da cobertura, solidarizando os blocos.

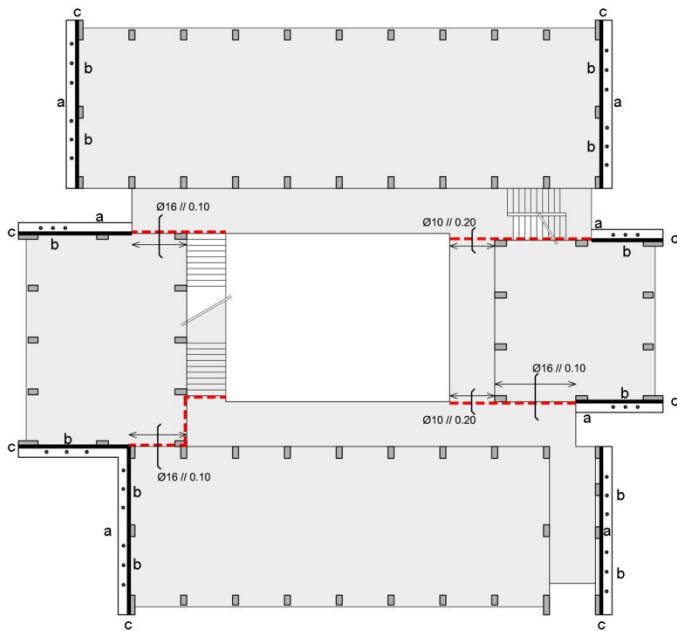
Custo do reforço sísmico:

Valores indicativos

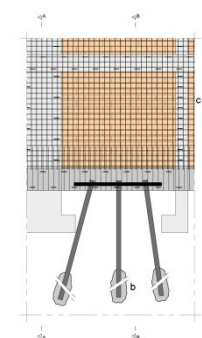
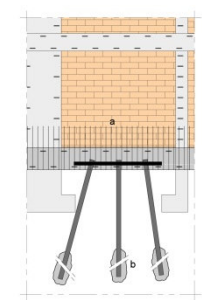
Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
Bloco A3 (2pisos+esteira), vários	1980s	2249.68	111 707	49.7
Bloco A3 (1pisos+esteira)	1980s	1523.34	66 762	43.8

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

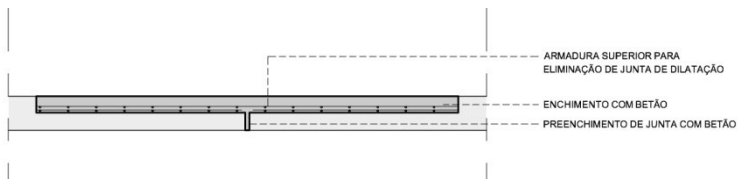
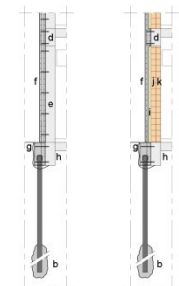
Escola Básica e Secundária de Dr. Azevedo Neves, Amadora (1980s)



- a - novo lintel de encabeçamento das microestacas / *new lintel as a pilecap for micropiles*
- b - microestacas / *micropiles*
- c - parede de reforço em betão armado / *strengthening reinforced concrete shear walls*



- a - armadura de espera para a parede de betão armado
steel rebars to be anchored in the RC shear walls
- b - microestaca / *micropile*
- c - malha quadrada / *square steel mesh*
- d - viga existente / *existing beam*
- e - pilar existente / *existing column*
- f - parede de reforço em betão armado
strengthening reinforced concrete shear wall
- g - novo lintel / *new lintel*
- h - lintel existente / *existing lintel*
- i - reboco existente / *existing render*
- j - pano exterior de alvenaria
exterior brick masonry leaf
- k - pano interior de alvenaria
interior brick masonry leaf



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Camilo Castelo Branco, Oeiras (1984)

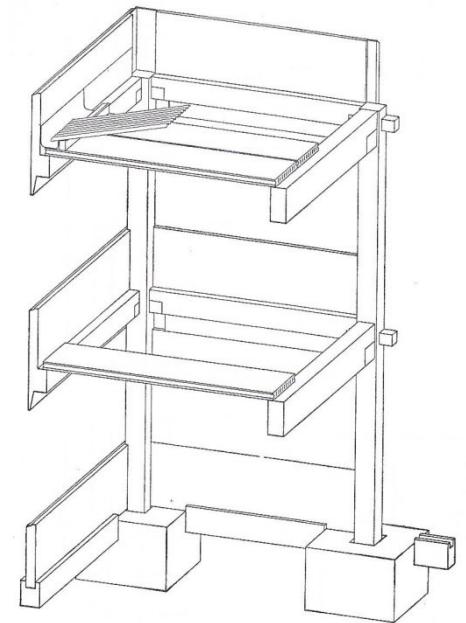
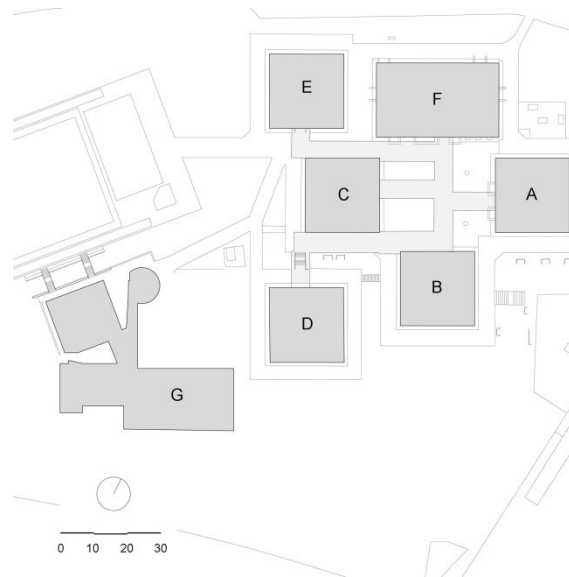
EQUIPA TÉCNICA

FUNDAÇÕES E ESTRUTURA: FTD, Consultores de Engenharia, Lda

ARQUITECTURA: João Lúcio Lopes Arquitectos, Lda, Júlio Quirino e Paulo Viana – Arquitectos, Lda

EMPREITEIRO: Construções Gabriel A.S. Couto, S.A. / MonteAdriano – Engenharia e Construção, S.A.

FISCALIZAÇÃO: PENGEST – Planeamento Engenharia e Gestão, S.A.



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Camilo Castelo Branco, Oeiras (1984)

Ações de reforço sísmico (em cada pavilhão):

- Construção de quatro estruturas metálicas em pórtico contraventado, distribuídas em planta, com fundações por microestacas;
- Construção de diafragma metálico no plano de apoio da cobertura.

Custo do reforço sísmico:

Valores indicativos



Edifícios/Corpos/Blocos	Data Const.	Área (m ²)	Custo Total Ref. Sis. (€)	Custo Unit. Ref. Sis. (€/m ²)
Bloco tipo (2pisos+esteira), vários	1980s	1399.5	72 550	51.8

Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

Escola Secundária de Camilo Castelo Branco, Oeiras (1984)



Avaliação e Reforço Sísmico de Edifícios Escolares

CONCLUSÕES:

As acções de reforço sísmico de edifícios executadas no âmbito do Programa de Modernização das Escolas do Ensino Secundário constituem a primeira acção do género, massificada, a nível nacional, aproveitando plenamente a oportunidade colocada pelas profundas intervenções arquitectónicas e funcionais que resultaram da modernização dos edifícios escolares.

A nível internacional trata-se, também, de uma iniciativa singular e exemplar, sobretudo pela sua dimensão e pelo curto período de execução.

Os estudos realizados pelo ICIST e pelos projectistas vieram invariavelmente comprovar a insuficiência de resistência sísmica dos edifícios escolares projetados anteriormente a 1983.

CONCLUSÕES (cont.):

A insuficiência de resistência sísmica resulta da maior vulnerabilidade de certas tipologias construtivas anteriores aos regulamentos para o projecto de estruturas com resistência aos sismos e pelos requisitos, hoje ultrapassados, impostos pelas primeiras gerações de regulamentos para o projecto de estruturas.

As soluções de reforço estudadas e desenvolvidas distinguem-se de acordo com a solução construtiva e estrutural pré-existente, verificando-se ainda uma grande diversidade de abordagens introduzidas pelos vários projectistas, reflectindo as condicionantes existentes.

Os custos da síntese representativa de intervenções de reforço sísmico situaram-se entre cerca de 20€/m² e de 50€/m².