



As estruturas de betão do início do séc. XX
Conservação das fachadas do TNSJ

Esmeralda Paupério
Eng. Civil



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Estruturas dos finais do séc. XIX/início do séc. XX

As construções desta época caracterizam-se por:

- Diversidade construtiva
- Diversidade de materiais
- Diversidade decorativa

Associadas ao **cimento armado** e ao **béton** como novos materiais



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Diversidade construtiva



Oliveira Ferreira - 1916



Michelangelo Soà - 1923



Marques da Silva - 1927



António Correia da Silva - 1914



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Diversidade material e construtiva



Mercado do Bolhão - António Correia da Silva - 1914



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Diversidade material e construtiva



Pensão Monumental - Michelangelo Soà - 1923



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Diversidade material e construtiva



Escola Rodrigues de Freitas - Marques da Silva - 1937



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Dificuldades de interpretação do esquema estrutural

O fingimento de estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



Escola Rodrigues de Freitas
Marques da Silva - 1937



Pensão Monumental
Michelangelo Soà - 1923

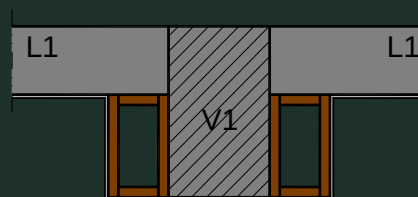


AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



Oliveira Ferreira - 1916

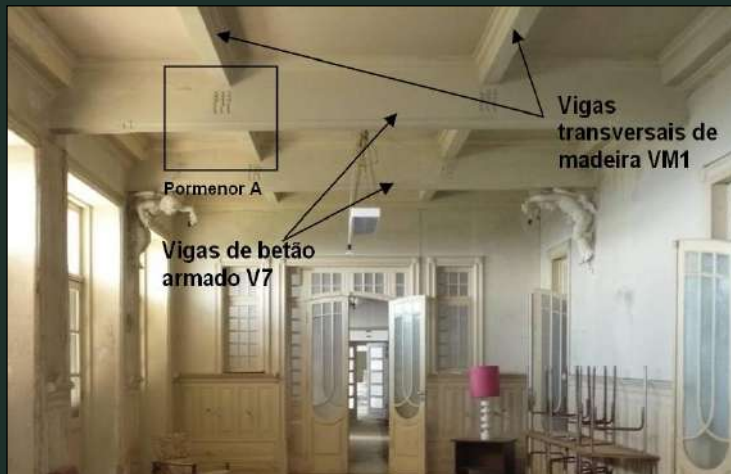


AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



Oliveira Ferreira - 1916



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



Cavaliças Santos Jorge (Cascais)
Norte Júnior - 1914



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA



Edifício FCP – AV. Aliados
Manuel Marques - 1933



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O fingimento de estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

As estruturas de betão do início do século XX



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

Porquê a necessidade do betão armado?



Os **romanos** foram os primeiros a tentar o reforço do betão com elementos metálicos: tentaram o reforço com elementos em bronze... mas **não tiveram sucesso** dado que **o coeficiente de expansão térmica do bronze é superior ao do betão**: o bronze causava fissuração do betão

As primeiras experiências que envolveram a combinação de betão com ferro **não pretendiam melhorar o comportamento do betão**. O objetivo era **proteger as estruturas em ferro da corrosão e do fogo**

Experiências conduzidas no séc. XIX mostraram que se obtinha uma boa ligação material entre o betão e o ferro, formando um material monolítico (**nomeadamente verificou-se que o betão e o ferro tinham um coeficiente de expansão térmica muito próximo**)



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

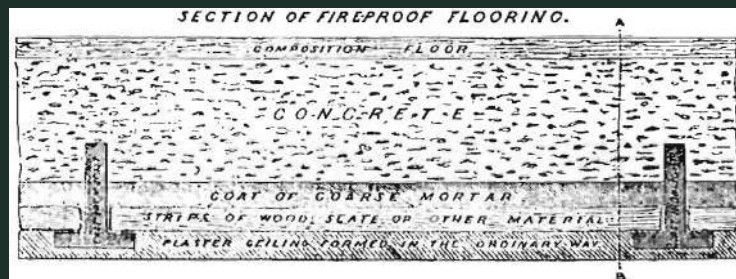


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

Em 1833, John Claudius Loudon, **um jardineiro e arquitecto**, publica um artigo na “Encyclopaedia of Cottage, Farm and Villa Architecture” que uma grelha de barras de ferro poderia ser embebida em betão para criar um piso com resistência ao fogo

Entre 1829 e 1833, Henry Fox, **um médico**, desenvolveu uma solução para pisos com resistência ao fogo que envolvia betão e vigas de ferro em T invertidas. Esta solução foi a primeira a ser usada no Reino Unido, tendo sido o sistema construtivo usado para os pisos na construção do sanatório de Gloucestershire entre 1833-34.



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

Numa outra vertente, a tecnologia do betão armado foi também desenvolvida para reduzir a **fragilidade do betão** (não para aumentar a sua resistência). Esses desenvolvimentos foram feitos **empiricamente** (e por pessoas com formação inesperada):

- Em 1845, Joseph Lambot (**um agricultor**) desenvolveu caixas e contentores para laranjas que usavam redes metálicas embebidas em betão (ao qual deu o nome de **ferrocimento**). Em 1848 construiu um barco usando a mesma tecnologia.



Museu de Brignoles - França



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

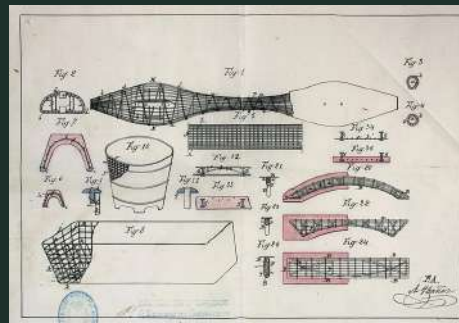
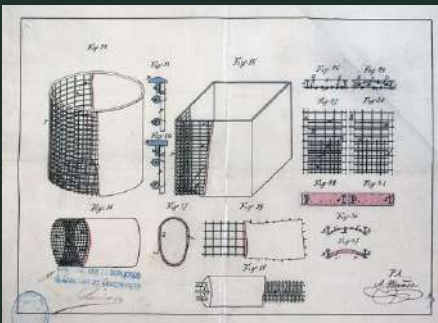


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

- Em 1850, Joseph Monier (**um jardineiro**) construiu vasos de flores com malhas de ferro embebidas em betão (patenteou a invenção em 1867). Continuou a fazer experiências com este novo material e desenvolveu mais patentes: **tubagens e tanques de água** (1868), **painéis para fachadas** de edifícios (1869), **pontes** (1873).

Em 1875 a primeira ponte de betão reforçado com ferro foi construída no Castelo de Chazelet e Monier foi o projetista. Em 1878 Monier obtém uma patente para vigas em betão reforçado com ferro



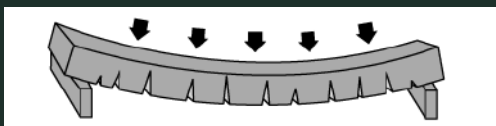
AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

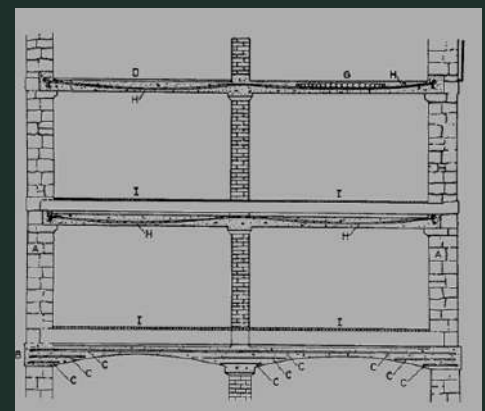
J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

- In 1854 William Wilkinson construiu uma casa de 2 pisos em que reforçou o betão dos pisos e da cobertura com barras de ferro e fio de arame. Patenteou o sistema construtivo em Inglaterra e construiu mais estruturas. Foi o primeiro a formular (empiricamente) **que o ferro de reforço deveria ser colocado em zonas sujeitas a tensões de tracção**



As tensões de tração esticam a parte inferior da laje quando flete por ação das cargas verticais



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

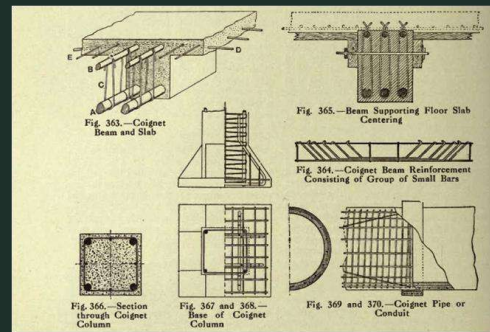
U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

- Em 1853 Francois Coignet construiu a primeira casa com betão reforçado com ferro (a que chamou *béton armé*). Usou barras de ferro nos pisos como **tirantes que ligavam as paredes exteriores**. Coignet também usou betão para realizar as cornijas e molduras de vãos da casa (misturando betão com materiais pétreos menos nobres)

Mais tarde Coignet aperfeiçoou este sistema construtivo e no seu livro de 1861 *Bétons agglomérés* descreve um método de combinar vigas de ferro em pisos de betão para **aumentar o seu vão e garantir uma proteção ao fogo adequada**



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

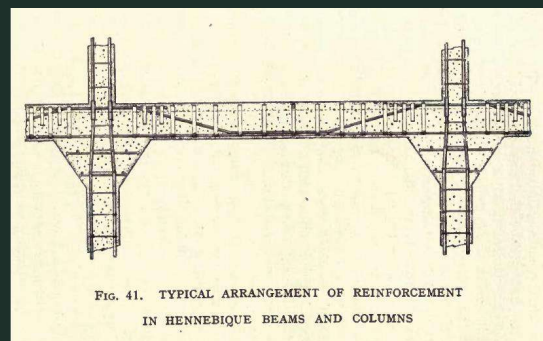
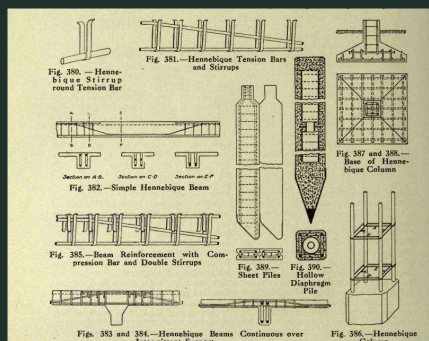


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

- Muitos dos sistemas construtivos em betão armado são desenvolvidos ao longo da 2ª metade do séc. XIX. Um dos sistemas mais conhecidos e disseminados é o de **François Hennebique**. A primeira construção onde utiliza betão é uma casa na Bélgica, em 1879, para garantir **resistência ao fogo**.

Ao longo dos 13 anos seguintes, ele realiza estudos para desenvolver um sistema construtivo completo (pilares, vigas, lajes, fundações) em betão armado, o qual é patenteado em 1892.



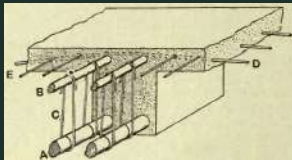
AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



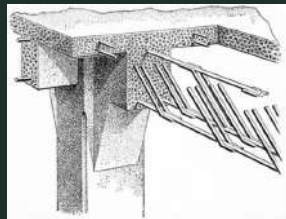
J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

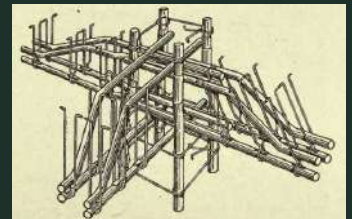
As diferentes patentes de sistemas construtivos em betão armado da época indicavam a função de cada tipo de elemento, descreviam a **localização e o tipo de armaduras** (armadura superior, inferior; barras retilíneas, curvas) e, por vezes, também a **justificação para determinadas configurações de armadura** (para resistir a trações, esforço transversal, etc.)... No entanto, estas patentes basearam-se em hipóteses teóricas muito diferentes das que são consideradas hoje em dia!!



Viga com sistema Coignet



Viga com sistema Kahn



Nó viga-pilar com sistema Keeton



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

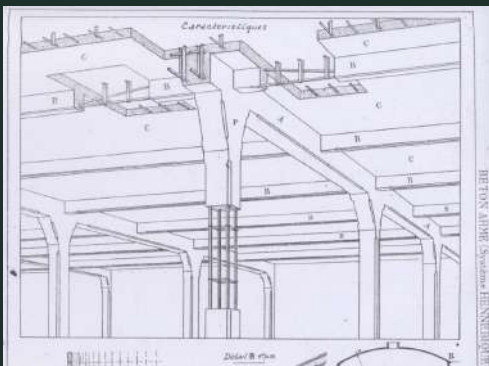
U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

O sucesso de **Hennebique** esteve associado a uma **concepção e preparação da execução** das obras que permitia uma **grande rapidez e qualidade da construção**, com custos competitivos quando comparados com os obtidos para outros materiais

Em 1910 tem mais de 40 000 obras já realizadas no mundo (edifícios, pontes, reservatórios e navios)



Projeto em sistema Hennebique



Armazém Nascimento – Marques da Silva, 1914
Construção em sistema Hennebique

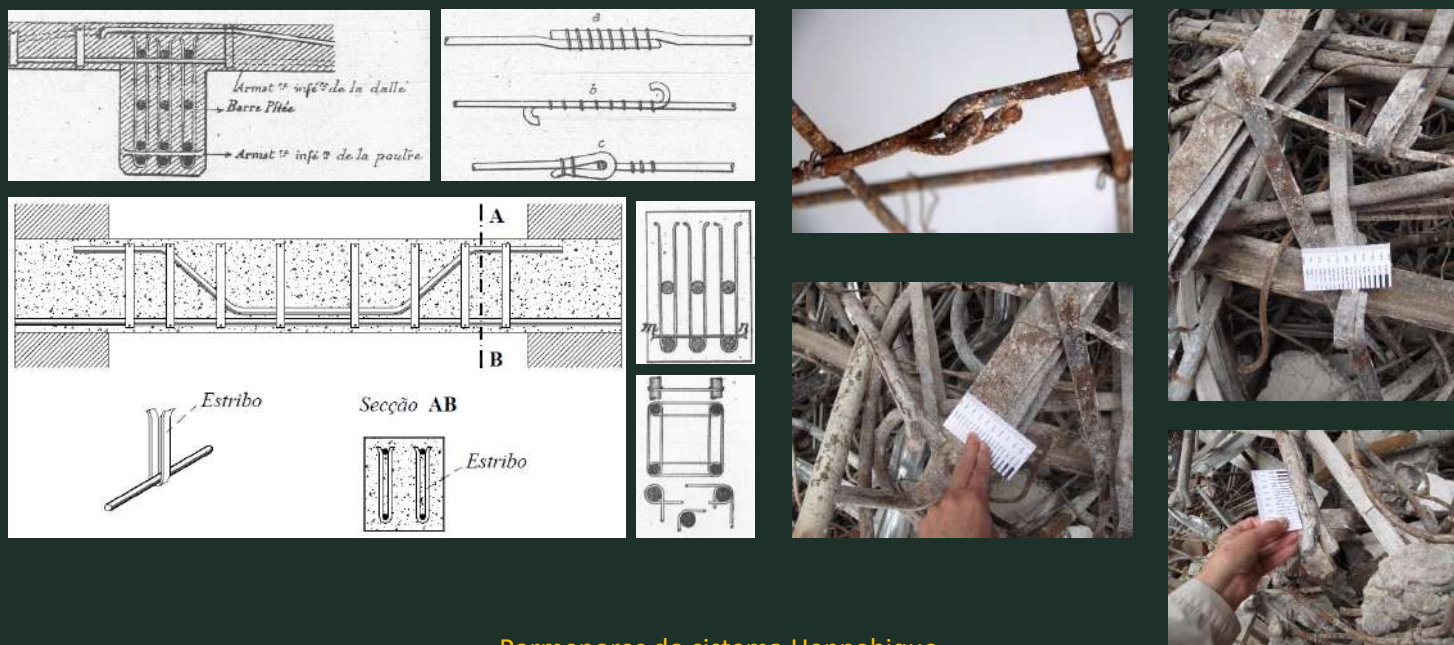


AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado



Pormenores do sistema Hennebique



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

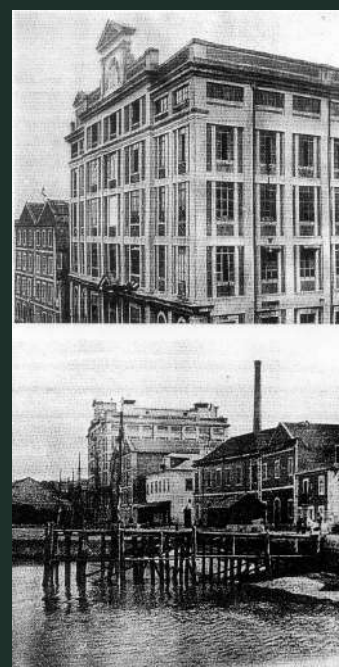
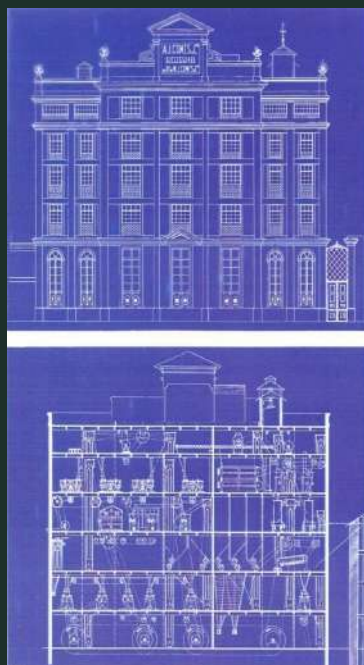


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

Moagem do Caramujo, Cova da Piedade
(1898)

Primeiro edifício em betão armado em
Portugal. Construído em sistema
Hennebique



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado



Ponte Luís Bandeira, Sejães, construída em 3 meses e 4 dias (1907)



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

O início do betão armado

Muitos destes sistemas construtivos foram criados e patenteados antes de se desenvolver a teoria formal do comportamento do betão armado, antes de existirem regulamentos (**este só apareceram no início do séc. XX**) e o seu funcionamento era verificado através de ensaios experimentais realizados pelos seus criadores. O dimensionamento baseava-se em **fórmulas empíricas simplificadas, tabelas e regras práticas**, as quais eram diferentes de sistema para sistema

Em 1906 são publicadas as primeiras instruções francesas (Regulamento), traduzidas e publicadas em 1907 pela Revista de Obras Públicas e Minas da Associação Portuguesa dos Engenheiros Cíveis, com o título **“As Instruções Francesas para o Formigão Armado”**

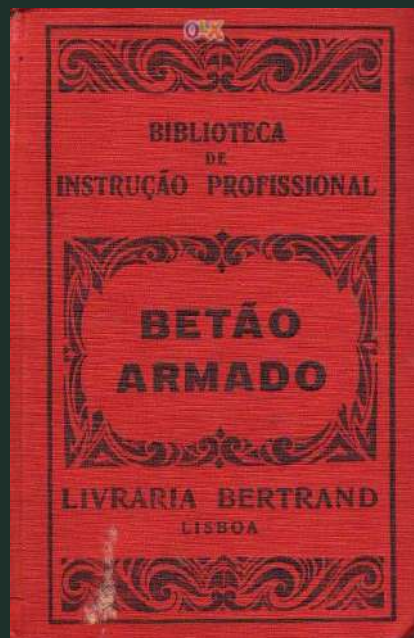
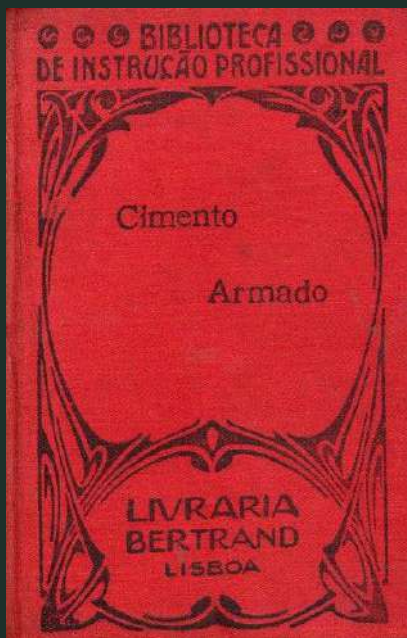
Em 1918 é aprovado o 1º Regulamento Português no domínio do betão armado **“Instruções Regulamentares para o Emprego do Béton Armado”**, realizadas com base nas normas francesas de 1906 e suas atualizações



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

A problemática da conservação do betão armado



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

A degradação do betão armado

Alguns dos mecanismos de degradação são específicos de construções antigas (e.g. a qualidade dos materiais e da mão-de-obra), mas os mais importantes são os que também se encontram em construções mais recentes:

- variações de temperatura (ciclos de gelo-degelo, incêndios)
- abrasão, erosão, impactos
- ataques químicos por ácidos
- **corrosão da armadura**



Mesmo podendo haver degradação devido a reações químicas (carbonatação, cloretos) o **betão é um material durável**

Apesar de aumentar a resistência do betão (e a sua utilidade), a armadura de reforço é um dos aspetos que **mais reduz o seu tempo de vida**



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenções em estruturas de betão armado

A abordagem tradicional na maioria das construções actuais consiste em **remover as zonas degradadas e substituí-las por material novo e compatível**



Mas como fazer em construções em que a estrutura tem **valor histórico ou faz parte da arquitectura?**

Que critérios de intervenção são admissíveis de modo a evitar a **destruição de processos construtivos** e garantir a **preservação do material original?**



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenções em estruturas de betão armado

Como cumprir as recomendações dos **Critérios para a Conservação do Património Arquitectónico do Século XX** (Documento de Madrid, ISC 20 – ICOMOS, 2011)?

➡ Preservar os processos construtivos e a autenticidade

➡ Necessidade de garantir a segurança estrutural das construções

CONHECIMENTO AVANÇADO, COMPREENSÃO E SIGNIFICADO

Artigo 1: Identificar e avaliar o significado cultural.

1.1: *Aplicar critérios de identificação e avaliação aceites.*

Na identificação e avaliação da importância do património arquitectónico do século XX, devem aplicar-se critérios patrimoniais aceites. O património arquitectónico deste século em concreto (incluindo todos os seus elementos) constitui um testemunho material do seu tempo, lugar e uso. O seu significado cultural pode residir nos seus atributos tangíveis, incluindo a sua localização física, desenho (por exemplo, esquemas cromáticos), **sistemas construtivos** e equipamento técnico, materiais, qualidade estética e uso, bem como nos seus valores intangíveis, nomeadamente valores históricos, sociais, associações científicas ou espirituais, ou o génio criativo do seu autor.



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenções em estruturas de betão armado

Artigo 3: Investigação sobre os aspectos técnicos do património arquitectónico do século XX.

3.1: *Investigar e desenvolver métodos específicos de conservação adequados aos materiais e técnicas construtivas próprias do século XX.*

3.2: *A aplicação das normas de edificação vigentes necessita de abordagens flexíveis e inovadoras para assegurar soluções apropriadas de conservação do património.*

A aplicação das normas de edificação vigentes (por exemplo as de acessibilidade, segurança e saúde, protecção contra incêndios, sísmica e de melhoria da eficiência energética) pode requerer adaptações para conservar o significado cultural. Uma análise pormenorizada e a negociação com as autoridades deverão procurar minimizar os impactes negativos. Cada caso deve ser avaliado individualmente (v).

Artigo 7: Respeitar a autenticidade e a integridade do bem.

7.1: *As intervenções devem potenciar e manter o significado cultural.*

Os elementos significativos devem reparar-se ou restaurar-se, mais que substituir-se. É preferível estabilizar, consolidar e conservar elementos significativos a substituí-los. Quando possível, os materiais de substituição utilizados deverão ser semelhantes aos originais, mas marcados ou datados para distingui-los.

A reconstrução de bens patrimoniais totalmente perdidos ou dos seus elementos construídos principais não constitui uma acção de conservação e não é recomendável. No entanto, a reconstrução de elementos isolados, se apoiada em documentação, pode contribuir para a integridade e/ou a correcta interpretação do bem patrimonial.



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenções em estruturas de betão armado

É possível enquadrar, atualmente, a verificação da segurança deste tipo de estruturas do ponto de vista regulamentar?

... envolvem **materiais** com características **diferentes dos actuais**

... envolvem **sistemas construtivos diferentes** e cujo funcionamento estrutural foi desenvolvido com base em **hipóteses teóricas diferentes** das actuais

... apresentam **níveis de dano** e de **degradação** que devem ser tidos em conta na análise do seu comportamento



não

... mas estas construções **ainda estão de pé** e continuam a ser utilizadas

Qual a alternativa?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Antes de intervir é necessário conhecer



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Conhecer a estrutura para avaliar a sua segurança

Identificar as características da estrutura é fundamental!!



Uma inspeção estrutural e ensaios materiais permitem caracterizar as propriedades materiais, os processos construtivos e avaliar qualitativamente a segurança da estrutura

Objetivos:

- Avaliar o estado de conservação da estrutura e da sua segurança
- Identificar pontos críticos da estrutura (globais ou de elementos)
- Identificar a necessidade de uma eventual intervenção estrutural
- Analisar a necessidade de monitorizar para conhecer e decidir



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

Pacómetro
Fenolftaleína
Esclerómetro
Ensaio de carga
Ensaio Dinâmicos
Ensaio Sónicos
Extração de amostras
Teor de cloretos
Sondagens
Pull-Off
Pull-Out



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

- **Sondagens:**

Permitem a observação directa, a detecção de diferentes materiais, a medição de espessuras e de recobrimento, diâmetros, espaçamentos...



- **Extração de carotes:**

Permite extrair uma amostra material para ensaio em laboratório e a observação por videoscopia da constituição do interior das estruturas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

- **Ensaio de provetes em laboratório:**

Ensaio destrutivo realizado em laboratório sobre amostras materiais com dimensões padronizadas extraídas da estrutura.

Permitem obter características resistentes do material (tensão de rotura à compressão e à tração no caso do betão; tensão de cedência e tensão última no caso do aço).

Permite obter informação sobre a deformabilidade do material (módulo de elasticidade e extensões para vários níveis de tensão).

Análises químicas para determinar a sua composição



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

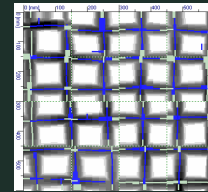


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

- **Deteção de elementos metálicos com pacómetro:**

Permite detetar a existência, o posicionamento, o espaçamento de armaduras → Dificuldades com espessura de recobrimento elevada, sobreposição de armaduras, proximidade de elementos metálicos...



- **Ensaio de fenolftaleína:**

Permite medir a profundidade de carbonatação do betão e verificar se as armaduras estão ou não em risco de corrosão (pH elevado, cor mais roxa, armaduras ok!)



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

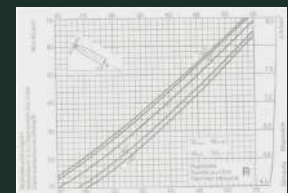


J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

- **Ensaio de esclerómetro:**

Mede a dureza superficial do material, a partir do recuo dum êmbolo que embate com a superfície a ensaiar, e pode ser convertida numa estimativa da resistência à compressão do betão



- **Ensaio pull-out:**

Mede a força de arranque numa peça metálica com cabeça expandida embebida num elemento de betão, a qual pode ser convertida na resistência à compressão do betão



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que tipos de ensaios podem ser utilizados?

- Ensaio de carga:

Determinação da capacidade de carga em serviço da estrutura através do registo da evolução (linear?) da resposta força-deslocamento e de eventuais deslocamentos residuais



Carregamento duma laje com reservatórios de água



Medição de deslocamentos na face inferior



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



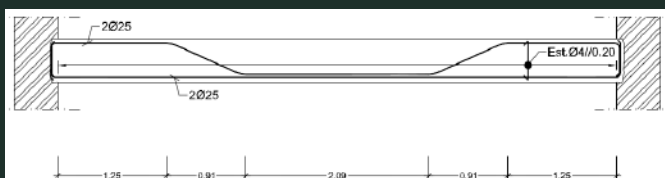
J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Exemplo da informação obtida duma inspeção



Oliveira Ferreira - 1916

Foram identificadas vigas com sistema Hennebique



Viga	b(m)	h(m)	Corte transversal (Esc. 1/40)	
			Apoio	Meio vão
V2b	0.10	0.23		
V4	0.15	0.28		
V5a	0.20	0.48		
V5b	0.20	0.48		



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Dificuldades da inspeção estrutural

Além da variedade de soluções estruturais dificultar a identificação eficaz da estrutura, há outros aspetos a ter em conta também...

A inspeção e levantamento da estrutura requer, por vezes, que sejam executadas algumas **ações semi-destrutivas** (e.g. remover revestimentos e/ou elementos decorativos). Estas ações podem **não ser compatíveis com a utilização da construção** enquanto se fazem estas operações.



A caracterização das propriedades materiais implica a realização de ensaios também, muitas vezes, de **natureza semi-destrutiva**

Além dos **custos envolvidos**, o **número de ensaios a realizar** é determinante pois influencia a confiança associada à informação obtida



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Uma possível abordagem para a verificação da segurança num contexto não-regulamentar

Calcular a **margem mínima de segurança** dos elementos estruturais:

As **ações** que actuam sobre a estrutura devem ser consideradas com o **valor mais realista** possível (e não com um valor regulamentar, pelo lado da segurança)

A **resistência** dos elementos estruturais deve ser avaliada de acordo com **metodologias actuais** utilizando os **valores esperados das propriedades materiais** (obtidos através da inspecção)

Caso seja necessário uma intervenção:

A solução a utilizar deverá ponderar a **preservação da autenticidade** da estrutura com a necessidade de **garantir a sua segurança...**

... a intervenção poderá envolver elementos de reforço **exteriores à estrutura existente** (solução visualmente mais intrusiva mas reversível)

... a intervenção poderá consistir na **alteração da utilização da estrutura**, de modo a reduzir as ações que a solicitam



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Teatro Nacional de São João

Consolidação estrutural das fachadas



Arquiteto Marques da Silva - 1909



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Arq. José Marques da Silva (1869 –1947)



José Marques da Silva foi o arquitecto que moldou a fisionomia da **cidade do Porto no início do século XX**

Formação académica, primeiro no Porto na **Academia de Belas Artes** (1882-1889) e depois em Paris na **École Nationale de Beaux-Arts** (1889-1896)

Entre 1913 e 1939 assumiu a direcção da Escola de Belas Artes do Porto



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Arq. José Marques da Silva (1869 –1947)



Estação de S. Bento: 1896



Armazéns Nascimento: 1914



Liceu Alexandre Herculano: 1916



Casa de Serralves: 1925

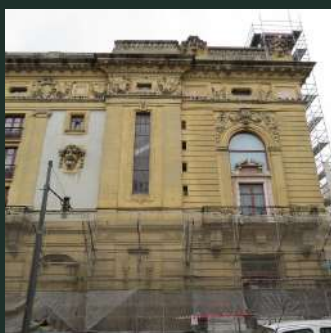


AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Diversidade construtiva e decorativa - TNSJ



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

TNSJ – Elementos decorativos em betão armado



Estuques e argamassas de cimento – António Baganha Pai

Esculturas fachadas – Diogo Macedo, Sousa Caldas, Gonçalves da Silva e Henrique Moreira

Pinturas – José de Brito e Acácio Lino



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

TNSJ – Elementos decorativos em betão armado



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

TNSJ – Elementos decorativos em betão armado



Figuras na fachada principal

Figuras nas fachadas laterais



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

55

TNSJ – Elementos decorativos em betão armado



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

56

Antes de intervir é necessário conhecer



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Que danos nos elementos decorativos?

Como são construídos?

Que critérios e soluções para a conservação?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Danos

Corrosão de armaduras
Delaminação do betão



Queda de argamassa na via pública

Depósitos de guano

Fissuração estrutural associada a variação de rigidez



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

59

Como intervir nos elementos decorativos e escultóricos de betão?

Que critérios para intervir na recuperação de elementos decorativos ou escultóricos de betão?



Se o avanço da corrosão não for impedido, não adianta consolidar...



Como atuar sem pôr em causa a sua autenticidade?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas

U. PORTO
FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Ensaio de caracterização de argamassas

Ref. das amostras:	Descrição	Foto frente	Foto verso	
TNSJ-FPo-1	Canto com a fachada Norte. Nariz de figura			
TNSJ-FPo-2	Zona aparentemente reabilitada			
TNSJ-FPo-3	Cornija com tijolo. Nível mais baixo			
TNSJ-FPo-4	Elementos decorativos junto à esquina com fachada Norte. Arco sobre varanda			
				



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Ensaio, sondagens e testes de limpeza



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Limpeza das fachadas



Vapor



Micro martelo



Água



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Sistema estrutural



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Sistema estrutural



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



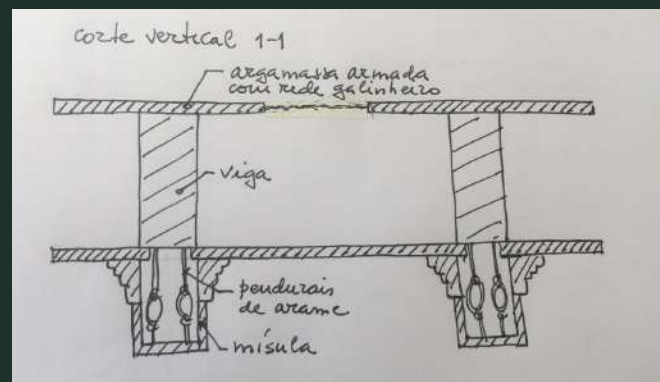
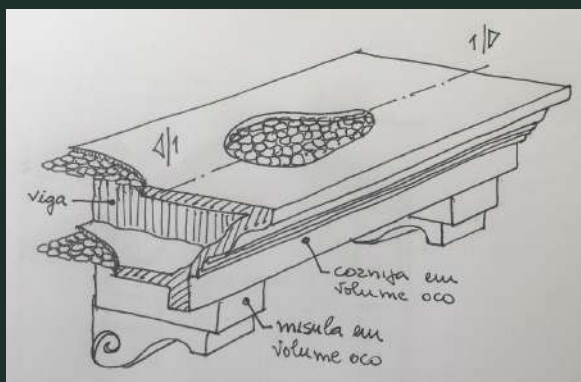
J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?



Como são construídos?

Sistema construtivo da cornija



Como são construídos?



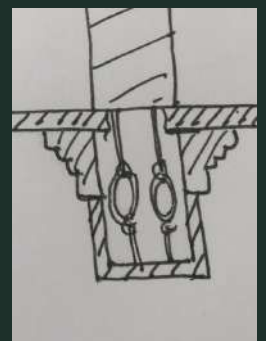
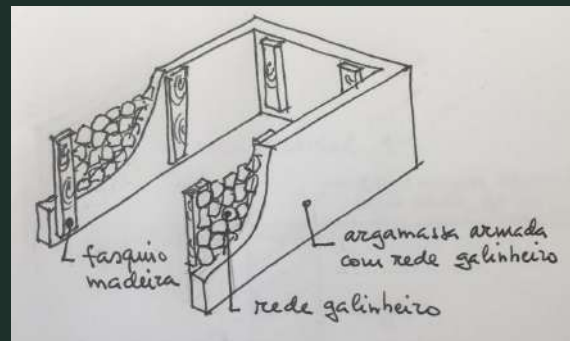
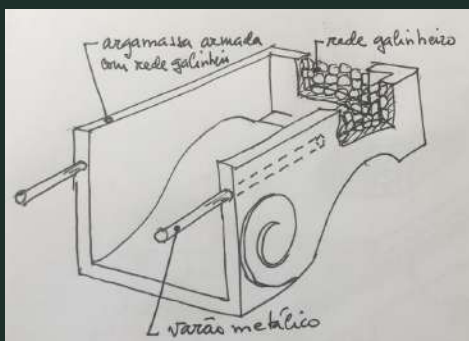
AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?

Sistema construtivo das mísulas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Como são construídos?

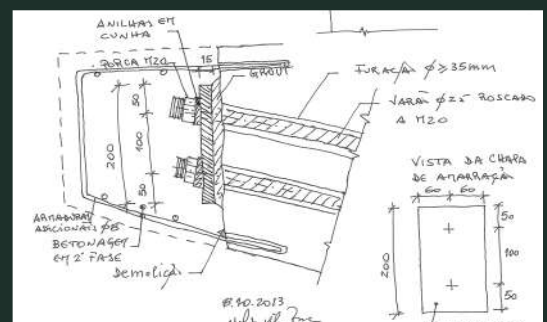
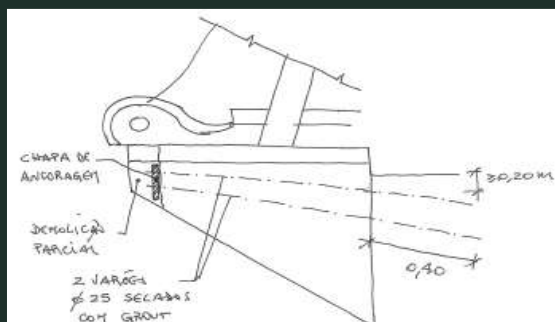
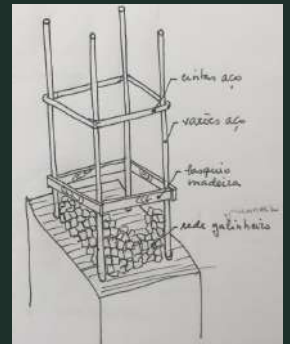


AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas



33 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção Civil e Obras Públicas



33 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Saneamento e tratamento de armaduras



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Moldes e réplicas



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Moldes, réplicas e corrido



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Ensaio de argamassa para fachadas, hidrorrepelente e testes de cor



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Caixilharias e serralharias



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Intervenção



Proteção com embozzo



Proteção anti-pássaros



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Notas finais

A **intervenção** em estruturas de betão armado terá de ser ponderada de modo a preservar os **processos construtivos** e garantir a **segurança estrutural**

Antes de intervir é necessário ter informação sobre os **materiais**, o **tipo de construção** e o **estado de conservação** da construção.

Quando se tratam de **construções com valor patrimonial**, é necessário ter em conta a **natureza semi-destrutiva de alguns dos procedimentos** que permitem obter essa informação.

Caso seja necessário **intervir numa construção histórica**, é importante equilibrar a **extensão dessa intervenção** com a potencial **perda de autenticidade e de valor** da construção.

A existência de um **plano de manutenção** é fundamental para a **salvaguarda** deste património.



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA

Obrigado



pauperio@fe.up.pt



AICCOPN
Associação dos Industriais da Construção
Civil e Obras Públicas



J3 | INOVAÇÃO DO PROJETO À REABILITAÇÃO APRESENTAÇÃO DE UMA OBRA DE REFERÊNCIA