

Fichas de rendimento e preços de soluções de reforço estrutural de elementos de betão armado

Costs sheets and prices for structural retrofitting solutions of reinforced concrete elements

Fichas de rendimiento y precios de soluciones de refuerzo estructural para elementos de hormigón armado

DOI:10.34117/bjdv10n6-033

Submitted: Apr 26th, 2024

Approved: May 27th, 2024

Cláudia Sofia Folgado Santos

Mestre em Engenharia Civil

Instituição: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

Endereço: Lisboa, Portugal

E-mail: cfsantos@lneec.pt

António Manuel Gardete Mendes Cabaço

Doutor em Engenharia Civil

Instituição: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

Endereço: Lisboa, Portugal

E-mail: acabaco@lneec.pt

Ana Neyra Brandão de Vasconcelos

Doutora em Engenharia Civil

Instituição: Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)

Endereço: Lisboa, Portugal

E-mail: avasconcelos@lneec.pt

RESUMO

As fichas de rendimento de operações de construção, contendo informação sobre os recursos, os rendimentos e os preços unitários das atividades, assumem um papel importante no planeamento económico da construção. No caso particular das soluções de reforço de elementos de betão armado, não existem, até à data, fichas de rendimento para esse tipo de operações. Neste sentido, foi realizado um estágio profissional para a Ordem dos Engenheiros, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo em vista a elaboração de fichas de rendimento para diferentes soluções de reforço de elementos de betão armado: chapas de aço coladas, chapas de aço aparafusadas, laminados de compósitos reforçados com fibras de carbono colados e betão projetado. Foi utilizada, para o efeito, a estrutura de informação das fichas de rendimento do LNEC – com a indicação dos custos diretos, custos indiretos e custo total –, tendo sido estudadas, para as referidas soluções de reforço, diferentes áreas de reforço e elementos construtivos (pilares e vigas). O estudo contemplou a elaboração de 120 fichas de rendimento. Nesta comunicação, é apresentada uma ficha de rendimento tipo e é efetuada uma comparação de preços para diferentes cenários de 4 soluções de reforço, identificando-se quais as soluções recomendáveis para cada cenário e as circunstâncias que ditam essa

recomendação. Os custos apresentados nas fichas de rendimento são referentes ao ano de 2020.

Palavras-chave: fichas de rendimento, reforço estrutural, preços, betão armado.

ABSTRACT

Construction income statements, containing information on resources, revenues and unit prices of activities, play an important role in the economic planning of construction. In the particular case of reinforced concrete reinforcement solutions, there are as yet no performance sheets for such operations. In this sense, a professional internship was carried out for the Order of Engineers, in the National Laboratory of Civil Engineering (LNEC), with a view to the elaboration of yield sheets for different solutions for reinforcing reinforced concrete elements: glued steel sheets, bolted steel sheets, laminated composites reinforced with glued carbon fibers and engineered concrete. To this end, the information structure of the LNEC income statements - with the indication of direct costs, indirect costs and total costs - was used, and different areas of reinforcement and building elements (pillars and beams) were studied for these reinforcement solutions. The study included the preparation of 120 income statements. In this communication, a standard income statement is presented and a price comparison is made for different scenarios of 4 augmentation solutions, identifying which solutions are recommended for each scenario and the circumstances that dictate that recommendation. The costs presented in the income statements refer to the year 2020.

Keywords: yield plugs, structural reinforcement, prices, reinforced concrete.

RESUMEN

Los estados de ingresos de la construcción, que contienen información sobre los recursos, los ingresos y los precios unitarios de las actividades, desempeñan un papel importante en la planificación económica de la construcción. En el caso particular de las soluciones de refuerzo de hormigón armado, todavía no hay hojas de rendimiento para tales operaciones. En este sentido, se realizó una pasantía profesional para la Orden de Ingenieros, en el Laboratorio Nacional de Ingeniería Civil (LNEC), con miras a la elaboración de láminas de rendimiento para diferentes soluciones para elementos de hormigón armado de refuerzo: láminas de acero pegadas, láminas de acero atornilladas, compuestos laminados reforzados con fibras de carbono pegadas y hormigón de ingeniería. Para ello, se utilizó la estructura de información de las cuentas de resultados de la LNEC -con la indicación de costos directos, costos indirectos y costos totales-, y se estudiaron diferentes áreas de elementos de refuerzo y construcción (pilares y vigas) para estas soluciones de refuerzo. El estudio incluyó la preparación de 120 estados de ingresos. En esta comunicación, se presenta una cuenta de resultados estándar y se hace una comparación de precios para diferentes escenarios de 4 soluciones de aumento, identificando qué soluciones se recomiendan para cada escenario y las circunstancias que dictan esa recomendación. Los costes presentados en las cuentas de resultados se refieren al año 2020.

Palabras clave: tapones de rendimiento, refuerzo estructural, precios, hormigón armado.

1 INTRODUÇÃO

Num país como Portugal, com uma área densa de infraestruturas e de edifícios construídos, o reforço de estruturas é cada vez mais comum, seja por via da reabilitação, da alteração do uso, ou para correção de erros de dimensionamento ou de construção. São várias as soluções de reforço de estruturas a que os projetistas podem recorrer (Simenes, 2021) (Miranda, 2021), mas não se encontram disponíveis, no entanto, fichas de rendimento para as mesmas, contrariamente ao que sucede com outros trabalhos de construção.

A importância da realização deste estudo está, assim, relacionada com a necessidade de serem elaboradas e/ou atualizadas as Fichas de Rendimento que constituem a base de dados do LNEC referentes a trabalhos de reforço de estruturas de betão armado.

2 ELEMENTOS DE BETÃO ARMADO E SOLUÇÕES DE REFORÇO UTILIZADAS

Nas fichas de rendimento para as soluções de reforço de estruturas de betão armado foi dado destaque aos elementos de viga e de pilar. A unidade de medição considerada foi o metro quadrado (m^2) de superfície reforçada. As fichas de rendimento foram elaboradas para as soluções de reforço com chapas metálicas coladas, aplicação de sistemas de compósitos de fibras de carbono reforçados (CFRP), encamisamento com betão armado moldado “*in situ*” e encamisamento com betão projetado com as espessuras e dimensões de elementos apresentados na Tabela 1 e Tabela 2, respetivamente, para pilares e vigas.

Tabela 1 – Dimensão dos pilares e espessuras das soluções de reforço utilizadas

Elemento		Espessura das soluções de reforço (cm)															
Dimensões		Chapas metálicas coladas		Sistema de compósitos de fibras de carbono reforçados		Betão moldado “ <i>in situ</i> ”					Betão projetado						
Pilar	30x20	0,4		0,12	0,14	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15
	30x30	0,4		0,12	0,14	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15
	30x40	0,4		0,12	0,14	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15
	30x50	0,4		0,12	0,14	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15
	20x25	0,3	0,6	0,12		2,5					2,5						
	25x25	0,4	0,8	0,12		2,5					2,5						
	30x25	0,4	1,0	0,12		2,5					2,5						

Fonte: Santos et al., 2020

Tabela 2 – Dimensões das vigas e espessuras das soluções de reforço utilizadas

Elementos		Espessura das soluções de reforço (cm)															
Largura		Chapas metálicas coladas		Sistema de compósitos de fibras de carbono reforçados		Betão moldado “ <i>in situ</i> ”					Betão projetado						
Viga	15	0,4		0,12	0,14				-						-		
	20	0,4		0,12	0,14	10	11	12	13	14	15	10	11	12	13	14	15
	25	0,4		0,12	0,14	10					10						
	30	0,4		0,12	0,14	10					10						
	35	0,4	1,0	0,12	0,14	2,5		10			2,5		10				
	40	0,4	0,5	1,0	0,12	0,14	2,5		10			2,5		10			
	45	0,4		0,12	0,14	10					10						
50	0,4	1,0	0,12	0,14	10					10							

Fonte: Santos et al., 2020

3 FICHAS DE RENDIMENTO

As fichas de rendimento são organizadas em formato de tabela e contêm a informação econômica, os recursos e os rendimentos necessários para executar uma unidade de medição de uma operação de construção. Assim, é indicado o custo direto, o custo da operação e o custo total da operação (preço). O custo direto representa o total do custo dos recursos utilizados para o trabalho. O custo da operação representa o valor anterior com a adição dos encargos de estrutura e custos indiretos do trabalho referido (admitindo-se, para o efeito, o valor adicional de 10%). O custo total da operação é a adição da parcela dos lucros e imprevistos ao custo da operação (admitindo-se, para o efeito, o valor adicional de 8%). As percentagens referidas anteriormente são as utilizadas nas fichas de rendimento do LNEC.

As fichas de rendimento elaboradas apresentam os custos relativamente à operação de aplicação da solução de reforço. Na Tabela 3, exemplifica-se o modelo das

fichas de rendimento do LNEC, recorrendo a uma ficha de rendimento de reforço de um pilar de betão armado de 30 cm x 20 cm com enchimento de 10 cm de espessura, em todas as suas faces, com betão armado. O preço por metro quadrado deste trabalho é de 95,28 €/m² e os recursos referentes aos equipamentos são os que têm uma maior incidência (59,85 %) para esta operação.

Tabela 3 – Ficha de rendimento de reforço de pilar de betão armado de 30 cm x 20 cm com enchimento de 10 cm de espessura, em todas as suas faces, com betão armado (betão moldado “in situ”) [m²]

Descrição da operação (Unidade=m ²)							
Reforço de pilar de betão armado de 30 x 20 cm, através de enchimento de 10 cm de espessura em todas as suas faces, com betão armado, realizado com betão C25/30 (XC1 (P); D12; S3; C1 0,4) fabricado em central, betonagem com grua, e aço A400 NR, com uma quantidade de 120 kg/m ³ , ligação direta através de adesivo; descarga com meios manuais desde a laje da planta superior por orifícios executados previamente; prévia aplicação de uma camada contínua de adesivo tixotrópico de dois componentes à base de resina epóxi sobre a superfície do betão endurecido. Inclui montagem e desmontagem do sistema de cofragem e montagem e colocação de armadura.							
Descrição de recursos		Unidade	Quant.	Custo Unitário (€)	Custo (€)	Subtotal (€)	Incidência no custo direto (%)
M.T.	Adesivo tixotrópico de dois componentes à base de resina epóxi, para a correta ligação entre o betão fresco e o betão endurecido ou para melhorar a aderência do betão endurecido e o aço, segundo NP EN 1504-7.	kg	0,0803	10,85	0,90	12,87	16,05
	Betão C25/30 (XC1 (P) D12; S3; C1 0,4), fabricado em central, segundo NP EN 206-1.	m ³	0,078	83,08	6,46		
	Aço em varões nervurados, A400NR, fornecido em obra, de vários diâmetros	kg	9,067	0,60	5,44		
	Arame galvanizado para atar, de 1,30 mm de diâmetro	kg	0,062	1,10	0,07		
E.Q.	Chapa metálica para cofragem de pilares de betão armado de secção retangular ou quadrada, de até 3 m de altura, incluindo acessórios de montagem	m ²	1,000	48,00	48,00	48,00	59,85
M.O.	Oficial de 1.ª armador de ferro	h	0,079	18,05	1,42	19,33	24,10
	Ajudante de armador de ferro	h	0,088	17,64	1,54		
	Oficial de 1.ª em trabalhos de betonagem	h	0,533	18,05	9,62		
	Ajudante em trabalhos de betonagem	h	0,382	17,64	6,75		
Custo Direto (CD)						Total (€)	80,20
Custo da operação S/lucro, 10% Custos indiretos						Total (€)	88,22
Custo total operação ou preço, 8% de Lucros						Total (€)	95,28

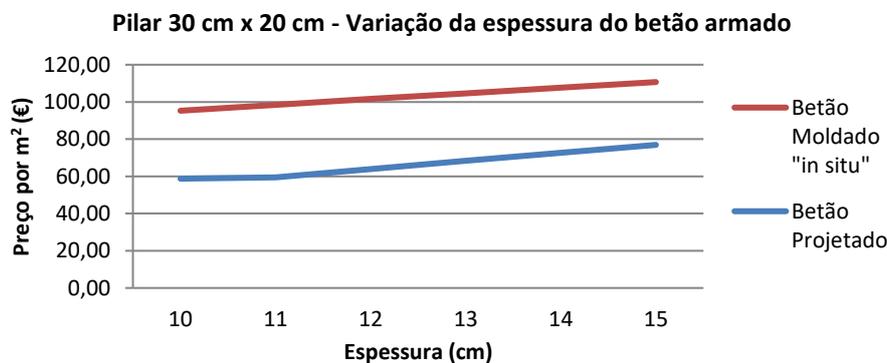
Fonte: Santos et al., 2020

4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

Da análise global, apresentam-se os resultados obtidos expressos em forma de gráfico.

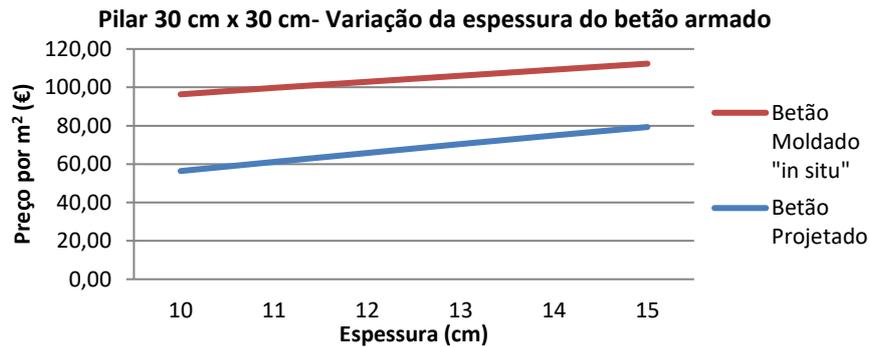
Na Figura 1, referente ao gráfico do reforço com betão armado em pilares de 30 cm x 20 cm com variação da espessura de enchimento de 10 cm a 15 cm, observa-se que, para a menor espessura, o valor da solução de reforço para a solução de betão projetado é de € 58,75 e, para a solução de betão moldado “*in situ*”, é de € 95,28. Os valores entre estas duas soluções, para as diferentes espessuras de reforço, diferenciam de € 33,57 a € 39,06, contudo, quanto maior é a espessura, menor é a diferença entre ambas. Constatase assim que o valor por metro quadrado da solução de reforço de betão armado moldado “*in situ*” – apesar de ser superior, para uma mesma espessura, que o do betão projetado –, quando a espessura aumenta, o valor aumenta de forma menos significativa do que se verifica na solução de betão projetado.

Figura 1 – Preço por m² do reforço de pilares 30 cm x 20 cm com betão armado moldado “*in situ*” e projetado de diferentes espessuras



Na Figura 2, apresenta-se o gráfico do reforço com betão armado (moldado “*in situ*” e projetado) em pilares de 30 cm x 30 cm, com variação da espessura de enchimento de 10 cm a 15 cm. Neste gráfico, observa-se que, para a menor espessura estudada, o valor da solução de reforço na solução de betão projetado é de € 56,40 e, na solução de betão moldado “*in situ*”, é de € 96,37. Os valores entre estas duas soluções diferenciam de € 33,04 a € 39,97, contudo, tal como sucede no caso anterior para a solução de betão moldado “*in situ*”, quanto maior é a espessura, menos significativo é o aumento do valor desta solução.

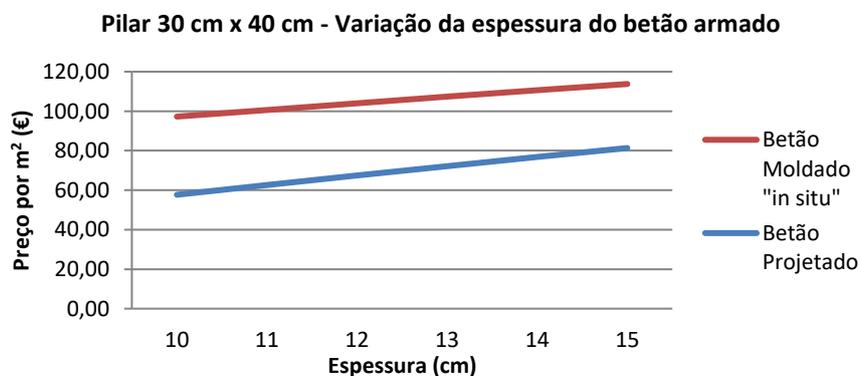
Figura 2 – Preço por m² do reforço de pilares com 30 cm x 30 cm com betão armado moldado “in situ” e projetado de diferentes espessuras



Fonte: Santos et al., 2020

Através do gráfico do reforço com betão armado em pilares de 30 cm x 40 cm, representado na Figura 3, observa-se que o valor para a solução de reforço com betão projetado de 10 cm de espessura é de € 57,68 e, para o reforço com betão moldado “in situ”, é de € 97,27 com uma diferença de € 39,58. Para uma espessura de 15 cm, os valores para betão projetado e para o betão moldado “in situ” são de € 68,48 e € 95,77, respetivamente, com uma diferença de € 27,30.

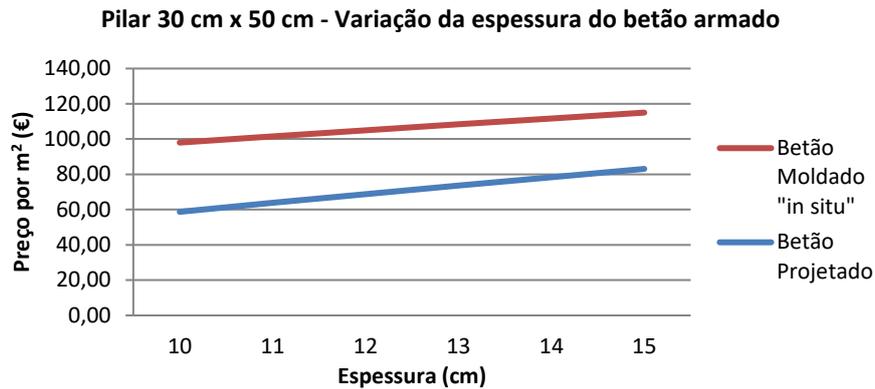
Figura 3 – Preço por m² do reforço de pilares com 30 cm x 40 cm com betão armado moldado “in situ” e projetado de diferentes espessuras



Fonte: Santos et al., 2020

Na Figura 4, o gráfico indica os valores para as soluções de reforço com betão moldado “in situ” e betão projetado em pilares com 30 cm x 50 cm. Para a espessura de 10 cm e 15 cm, o valor do reforço com betão moldado “in situ” é de € 98,01 e € 114,99, respetivamente e, para a solução de reforço com betão projetado, é de € 58,75 e € 83,09, respetivamente.

Figura 4 – Preço por m² do reforço de pilares com 30 cm x 50 cm com betão armado moldado “in situ” e projetado de diferentes espessuras

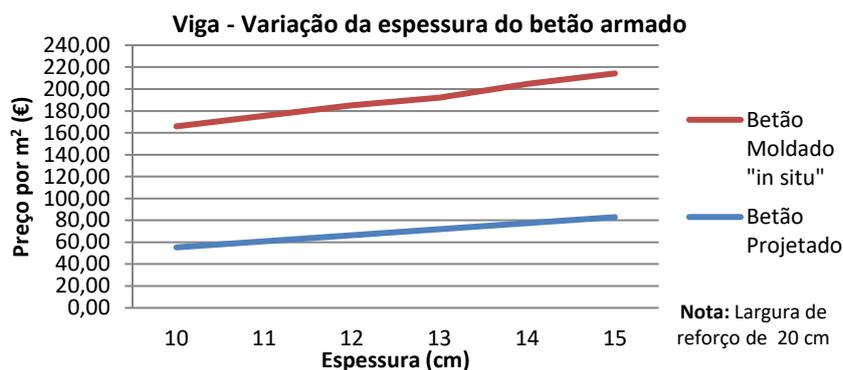


Fonte: Santos et al., 2020

Na Figura 5, referente ao gráfico do reforço com betão armado de vigas de 20 cm de largura e variação da espessura, de 10 cm a 15 cm, observa-se que quanto maior a espessura do reforço, maior é o valor por metro quadrado. Para uma espessura de 10 cm, o valor por metro quadrado para o betão projetado é de € 55,28 e, para o betão moldado “in situ”, é de € 165,89. Para a espessura de 15 cm, os valores são de € 82,92 e € 214,26, respetivamente, para o betão projetado e para o betão moldado “in situ”. As diferenças de valores entre as duas soluções de reforço, para as diferentes espessuras, variam de € 110,61 a € 131,35.

Através da Figura 1, Figura 2, Figura 3, Figura 4 e Figura 5 observa-se que, quanto maior é a espessura do reforço, maior é o valor por metro quadrado para as soluções de betão moldado “in situ” e betão projetado. Para os pilares, os valores da solução de reforço de betão moldado “in situ” são aproximadamente o dobro da solução de reforço de betão projetado. Concluiu-se assim que, quanto maior for a espessura do reforço, menor é a diferença no preço entre as duas soluções.

Figura 5 – Preço por m2 do reforço de vigas com 20 cm de largura com betão armado moldado “in situ” e projetado para diferentes espessuras

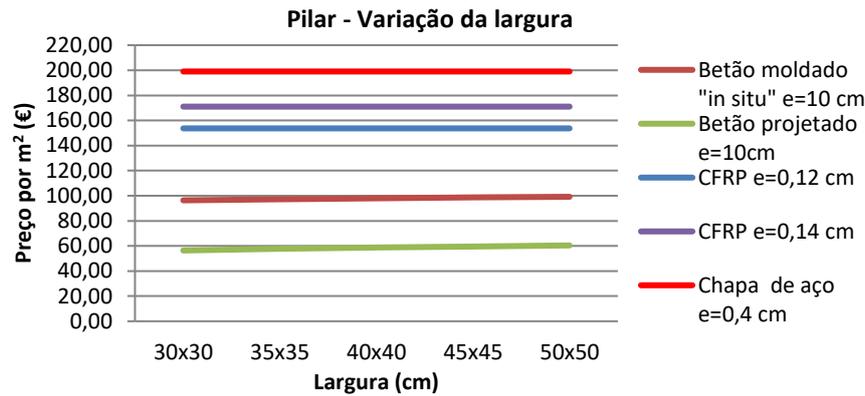


Fonte: Santos et al., 2020

De seguida, na Figura 6, apresentam-se os resultados referentes às soluções de reforço de betão moldado “*in situ*”, de betão projetado, de compósitos de fibras de carbono reforçado e de chapas de aço para pilares 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm e 50 cm de largura. O valor do reforço com betão moldado “*in situ*” com 10 cm de espessura para pilares com 30 cm x 30 cm é de 96,37 €/m² e, para pilares de 50 cm x 50 cm, é de 99,18 €/m², ou seja, quanto maior a largura dos pilares, maior o valor por metro quadrado. De igual forma, o valor do reforço com betão projetado também aumenta de acordo com o aumento da largura do pilar. Relativamente ao reforço com betão projetado com 10 cm de espessura para pilares com 30 cm x 30 cm, o valor é de 56,40 €/m² e, para pilares de 50 cm x 50 cm, é de 60,43 €/m².

Nos reforços com chapa de aço com uma espessura de 0,4 cm e nos compósitos de fibra de carbono reforçados com uma espessura de 0,12 cm e 0,14 cm, os valores são 199,03 €/m², € 153,70 €/m² e 171,04 €/m², respetivamente. Estes valores mantêm-se constantes, independentemente da alteração da largura dos pilares.

Figura 6 – Preço por m² do reforço de pilares com betão moldado “in situ”, betão projetado, compósitos de fibra de carbono reforçados e chapa de aço

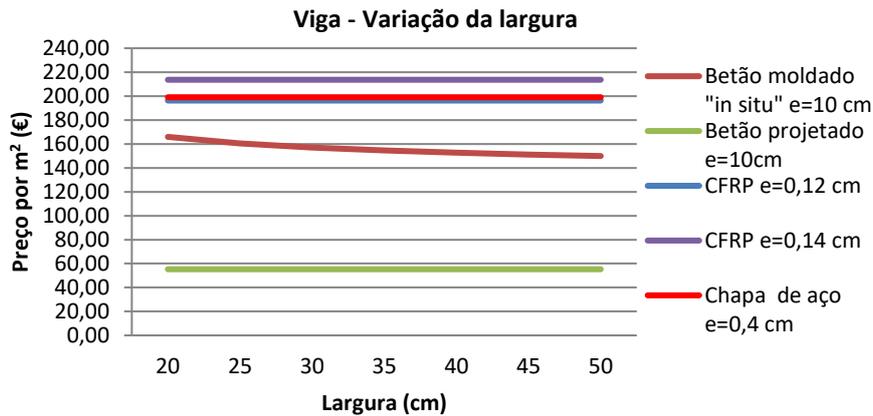


Fonte: Santos et al., 2020

Na Figura 7, são indicados os preços das soluções de reforço de betão moldado “in situ”, de betão projetado, de compósitos de fibras de carbono reforçado e de chapas de aço para vigas com larguras de 20 cm, 25 cm, 30 cm, 35 cm, 40 cm, 45 cm e 50 cm. O valor do reforço com betão moldado “in situ” com 20 cm de largura e 10 cm de espessura é de 165,89 €/m² e de € 149,92 €/m², para uma viga de 50 cm de largura. Ao contrário do que sucede na variação da largura dos pilares, onde o valor aumenta consoante o aumento da largura, no caso do reforço em vigas verifica-se que, quanto maior for a largura da viga, menor é o valor por metro quadrado da solução de reforço.

Os reforços com betão projetado com uma espessura de 10 cm, chapa de aço com uma espessura de 0,4 cm e com compósitos de fibra de carbono reforçados com uma espessura de 0,12 cm e 0,14 cm, têm valores de 55,28 €/m², 199,03 €/m², 196,28 €/m² e 213,63 €/m², respetivamente. Estes valores mantêm-se constantes, independentemente da alteração da largura das vigas.

Figura 7 – Preço por m² do reforço de vigas com betão moldado “in situ”, betão projetado, compósitos de fibra de carbono reforçados e chapa de aço



Fonte: Santos et al., 2020

Neste trabalho, foram também determinados os preços dos reforços para elementos de betão armado representativos do edificado português sem dimensionamento sismorresistente, *i.e.* edifícios até 4 pisos (Sousa et al., 2017). Na Neste trabalho, foram também determinados os preços dos reforços para elementos de betão armado representativos do edificado português sem dimensionamento sismorresistente, *i.e.* edifícios até 4 pisos (Sousa et al., 2017). Na Tabela 4, apresentam-se os comprimentos dos elementos de betão armado (pilares e vigas). Na Tabela 5 e Tabela 6, representam-se os valores das espessuras e larguras dos confinamentos utilizados para o reforço dos pilares e vigas nesses edifícios representativos, respetivamente. O coeficiente de confinamento varia em função das espessuras e larguras das soluções de reforço; quanto maior são as espessuras e larguras maior é o coeficiente de confinamento. Para as soluções de reforço de chapas de aço, CFRP, betão moldado “in situ” e betão projetado considerou-se coeficientes de confinamento de 1,5 e 2.

Tabela 4 – Comprimento dos elementos de betão armado

	Comprimento dos elementos [m]	
	Pilares	Primeiro piso
	Restantes pisos	2,8
Vigas	Mínimo	2,5
	Máximo primeiro piso	5,0
	Máximo restantes pisos	4,0

Fonte: Santos et al., 2020

Tabela 5 – Espessuras e larguras dos confinamentos para o reforço dos pilares

Solução de reforço	Dimensões dos pilares [cm ²]	Conf. 1,5		Conf 2,0	
		Largura [cm]	Espessura [cm]	Largura [cm]	Espessura [cm]
Chapa de aço	20 x 25	5	0,3	5	0,6
	25 x 25	5	0,4	5	0,8
	30 x 25	5	0,4	5	1
CFRP	20 x 25	4	0,12	7	0,12
	25 x 25	4	0,12	8	0,12
	30 x 25	5	0,12	10	0,12
Betão moldado “ <i>in situ</i> ”	20 x 25	20	2,5		
	25 x 25	25			
	30 x 25	30			
Betão projetado	20 x 25	20	2,5		
	25 x 25	25			
	30 x 25	30			

Fonte: Santos et al., 2020

Tabela 6 – Espessuras e larguras dos confinamentos para o reforço das vigas

Solução de reforço	Dimensões das vigas [cm ²]	Conf. 1,5		Conf 2,0	
		Largura [cm]	Espessura [cm]	Largura [cm]	Espessura [cm]
Chapa de aço	35 x 20	7	0,4	7	1
	40 x 20	7	0,5	7	1
	50 x 20	5	1	10	1
CFRP	35 x 20	6	0,12	12	0,12
	40 x 20	8	0,12	14	0,12
	50 x 20	10	0,12	18	0,12
Betão moldado “ <i>in situ</i> ”	35 x 20	35	2,5		
	40 x 20	40			
	50 x 20	50			
Betão projetado	35 x 20	35	2,5		
	40 x 20	40			
	50 x 20	50			

Fonte: Santos et al., 2020

De seguida, na Tabela 7, apresenta-se o resumo dos preços das soluções de reforço para pilares.

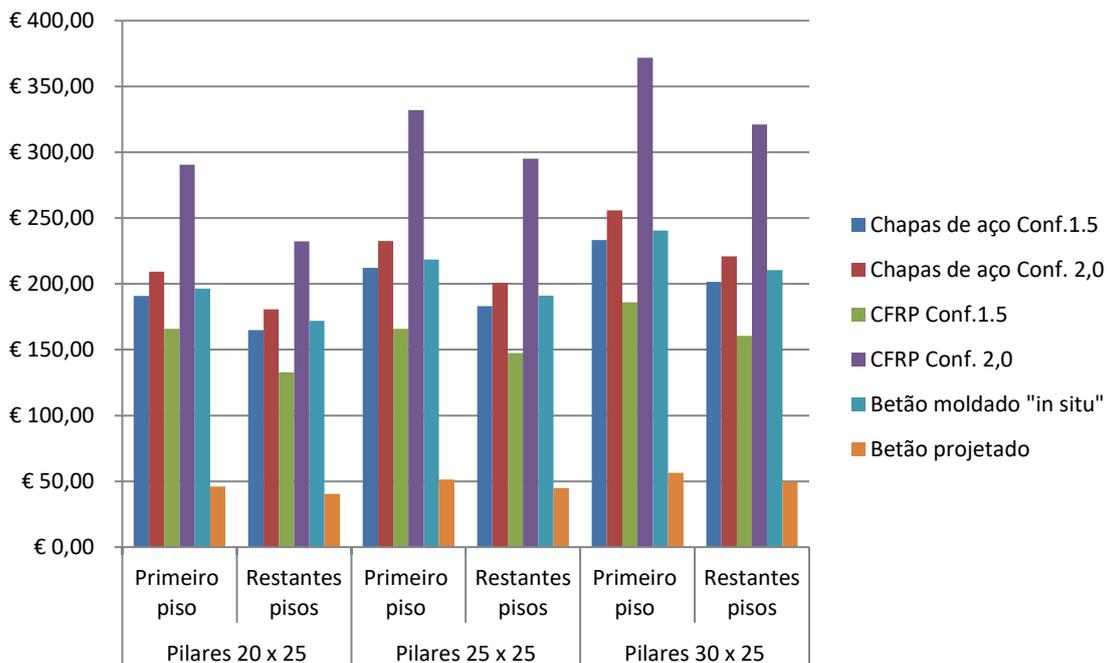
Tabela 7 – Resumo dos preços das soluções de reforço para pilares

		Chapas de aço		CFRP		Betão moldado "in situ" (€)	Betão projetado (€)
		Conf.1.5 (€)	Conf. 2,0 (€)	Conf.1.5 (€)	Conf. 2,0 (€)		
Pilares 20 x 25	Primeiro piso	190,9	209,3	166,0	290,5	196,4	46,2
	Restantes pisos	164,9	180,7	132,8	232,4	171,9	40,4
Pilares 25 x 25	Primeiro piso	212,1	232,5	166,0	332,0	218,5	51,3
	Restantes pisos	183,2	200,8	147,6	295,1	191,2	44,9
Pilares 30 x 25	Primeiro piso	233,3	255,8	186,0	371,9	240,6	56,4
	Restantes pisos	201,5	220,9	160,6	321,2	210,6	49,4

Fonte: Santos et al., 2020

Na Figura 8, apresentam-se os preços correspondentes ao reforço com chapas de aço para os confinamentos de 1,5 e 2,0, com CFRP para os confinamentos de 1,5 e 2,0, com betão moldado “in situ” e com betão projetado. Comparativamente com as outras soluções de reforço, para o confinamento 2,0, os CFRP são a solução de reforço mais dispendiosa, com valores entre € 232,39 e € 371,95; no entanto, para o confinamento de 1,5, são a segunda solução estudada mais económica. O reforço mais económico é o do betão projetado e esta é também a solução com menos discrepância de preços entre os pilares com diferentes dimensões. Os preços do reforço de pilares com esta solução variam entre € 40,38 e € 56,41.

Figura 8 – Preço das soluções de reforço para pilares



Fonte: Santos et al., 2020

Na Tabela 8 apresenta-se o resumo dos preços das soluções de reforço para vigas.

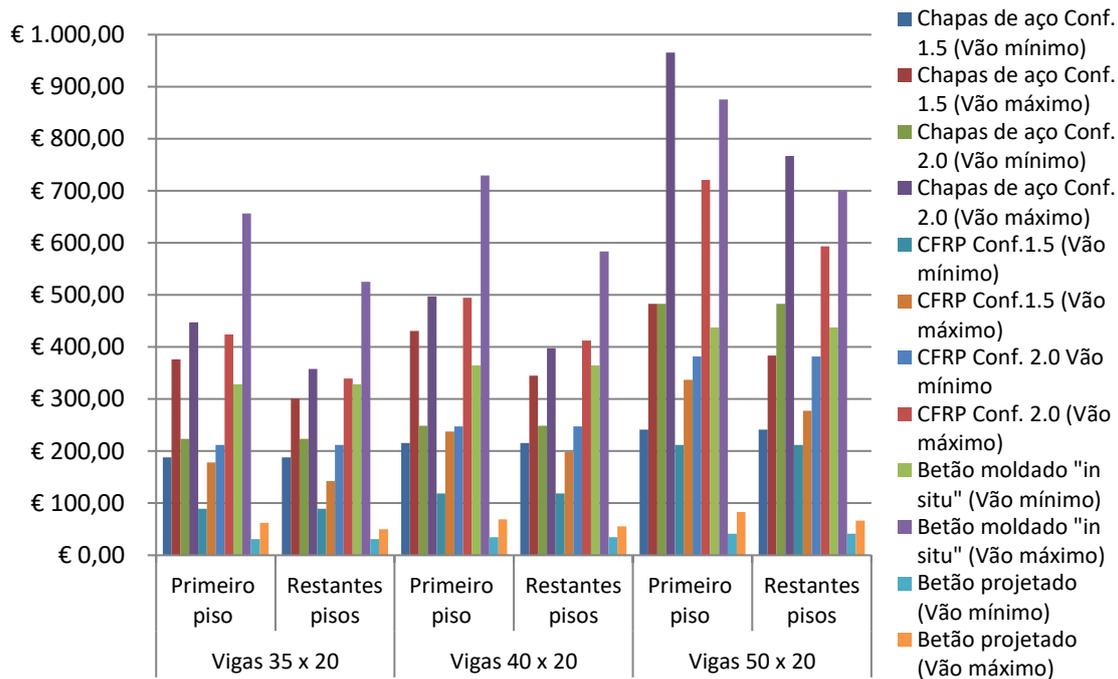
Tabela 8 – Resumo dos preços das soluções de reforço para vigas

		Chapas de aço				CFRP				Betão moldado "in situ"		Betão projetado	
		Con f. 1.5 Vão mín . (€)	Con f. 1.5 Vão máx . (€)	Con f. 2.0 Vão mín . (€)	Con f. 2.0 Vão máx . (€)	Con f. 1.5 Vão mín . (€)	Con f. 1.5 Vão máx . (€)	Con f. 2.0 Vão mín . (€)	Con f. 2.0 Vão máx . (€)	Vão mín . (€)	Vão máx . (€)	Vão mín . (€)	Vão máx . (€)
Vigas 35 x 20	Prim. piso	188,1	376,1	223,7	447,4	89,2	178,4	212,0	424,0	328,4	656,7	31,1	62,2
	Rest. pisos	188,1	300,9	223,7	357,9	89,2	142,8	212,0	339,1	328,4	525,4	31,1	49,8
Vigas 40 x 20	Prim. piso	215,5	430,9	248,6	497,1	119,0	237,9	247,3	494,6	364,8	729,7	34,6	69,1
	Rest. pisos	215,5	344,8	248,6	397,7	119,0	198,2	247,3	412,2	364,8	583,7	34,6	55,3
Vigas 50 x 20	Prim. piso	241,5	482,9	482,9	965,8	212,0	337,1	381,6	720,8	437,8	875,6	41,5	82,9
	Rest. pisos	241,5	383,5	482,9	767,0	212,0	277,6	381,6	593,6	437,8	700,5	41,5	66,3

Fonte: Santos et al., 2020

Na Figura 9 apresenta-se o gráfico dos preços do reforço de vigas estudadas no projeto de investigação do LNEC, para o reforço com chapas de aço em confinamentos de 1,5 e 2,0, com CFRP em confinamentos de 1,5 e 2,0, com betão moldado “in situ” e com betão projetado. A solução de reforço mais dispendiosa são as chapas de aço das vigas com 50 cm x 20 cm em confinamento de 2,0. Esta solução apresenta preços máximos de € 965,83 para o primeiro piso e de € 766,98 nos restantes pisos. A solução de reforço de betão moldado “in situ” é, de seguida, a mais dispendiosa para todas as vigas. O reforço mais económico é o do betão projetado, com valores de € 31,09 a € 82,92.

Figura 9 – Preço das soluções de reforço para vigas



Fonte: Santos et al., 2020

5 CONCLUSÕES

As fichas de rendimento assumem um papel importante no planeamento económico da construção, pois contêm informação sobre os recursos, os rendimentos e os preços unitários das atividades de construção. As fichas de rendimento têm, no entanto, sido trivializadas pelo meio técnico, não tendo sido dado o devido valor e utilização aquando do planeamento de uma obra, do planeamento logístico e dos aprovisionamentos e, ainda, na fundamentação das estimativas e dos orçamentos das obras.

Na realização deste trabalho, elaboraram-se fichas de rendimento referentes a soluções de reforço em elementos de betão armado. Da informação económica constante dessas fichas, importa extrair algumas conclusões, que se apresentam neste capítulo.

Em pilares de betão armado, com a variação da espessura do reforço de 10 cm a 15 cm, o preço por metro quadrado das soluções de betão moldado “*in situ*” e do betão projetado aumentam linearmente em função da espessura de reforço. Também com o aumento da secção dos pilares (largura), o preço por metro quadrado aumenta para as soluções de reforço com betão moldado “*in situ*” e betão projetado. Tal verifica-se principalmente devido ao facto de, para o betão moldado “*in situ*”, ser necessária uma maior quantidade de cofragem por metro quadrado e, para o betão projetado, ser necessária uma pequena quantidade de metros cúbicos de betão. Semelhante variação não

acontece para as soluções de reforço com chapas de aço e com CFRP, nas quais o valor por metro quadrado se mantém constante independentemente da variação das dimensões dos pilares.

Os preços para as soluções de reforço em pilares 30 cm x 30 cm são, por ordem crescente, 46,15 €/m² do betão projetado com uma espessura de 10 cm, 96,37 €/m² do betão moldado “*in situ*” com uma espessura de 10 cm, 153,70 €/m² do CFRP com uma espessura de 0,12 cm, 171,04 €/m² do CFRP com uma espessura de 0,14 cm e, por fim, 199,03 €/m² das chapas de aço com uma espessura de 0,4 cm.

Na solução de reforço de vigas com betão moldado “*in situ*”, ao contrário do que sucede com os pilares, quanto maior é a largura da viga, menor é o valor por metro quadrado. Para vigas reforçadas com chapas de aço, com CFRP e betão projetado, os preços são constantes por metro quadrado, independentemente da largura da viga. Os preços das vigas com 20 cm de largura para as soluções de reforço são, por ordem crescente, 55,28 €/m² do betão projetado com uma espessura de 10 cm, 165,89 €/m² do betão moldado “*in situ*” com uma espessura de 10 cm, 153,70 €/m² do CFRP com uma espessura de 0,12 cm, 199,03 €/m² das chapas de aço com uma espessura de 0,4 cm e, por fim, 213,63 €/m² do CFRP com uma espessura de 0,14 cm.

Para pilares e vigas, a solução de betão projetado é a mais económica comparativamente com as outras soluções de reforço estudadas, atendendo a que, além de não necessitar de cofragem, é aquela na qual os recursos utilizados são mais económicos por metro quadrado. Esta solução tem um preço de aproximadamente metade da solução de reforço com betão moldado “*in situ*”.

Dos resultados obtidos referentes aos reforços de elementos de betão armado representativos do edificado português sem dimensionamento sismorresistente (reforço de pilares com chapas de aço em coeficientes de confinamento de 1,5 e 2,0, com CFRP em coeficientes de confinamento de 1,5 e 2,0, com betão moldado “*in situ*” e com betão projetado), destaca-se o seguinte: as soluções de reforço com CFRP e chapas de aço com os coeficientes de confinamento 2,0 têm uma área de aplicação de reforço maior e um maior preço por metro quadrado, sendo portanto as soluções de reforço mais dispendiosas. No entanto, como a solução de reforço com CFRP, com um coeficiente de confinamento de 1,5, tem uma área bastante inferior à anterior, torna-se a segunda solução de reforço mais económica para os pilares, logo a seguir ao betão projetado. A solução de reforço com betão projetado, apesar de necessitar de uma maior área de aplicação, como

o valor por metro quadrado é o mais económico torna-se a solução de reforço para pilares também mais económica.

Regista-se ainda, relativamente aos pilares, que a média do preço do reforço com betão projetado é de aproximadamente 16 % do valor do reforço com CFRP com um coeficiente de confinamento 2,0, para pilares com as mesmas dimensões.

Relativamente às vigas – e de forma semelhante ao efetuado para os pilares em estudo – através da área de reforço para cada solução determinaram-se os preços do reforço de cada viga com chapas de aço e CFRP com coeficientes de confinamento de 1,5 e 2,0, com betão moldado “*in situ*” e betão projetado. Para a viga 50 cm x 20 cm, a solução de reforço com chapa de aço com coeficiente de confinamento 2,0 revelou-se ser a solução mais dispendiosa (€ 965,83), seguida do reforço com betão moldado “*in situ*” (€ 875,60) e do reforço com CFRP com coeficiente de confinamento 2,0 (€ 720,75). No entanto, tal como sucede com os pilares, a solução de reforço com CFRP, com um coeficiente de confinamento de 1,5, tem uma área bastante inferior às anteriores, tornando-se, por isso, a terceira solução de reforço mais económica (€ 211,99). A solução de reforço mais económica para as vigas é o betão projetado para um coeficiente de confinamento de 1,5 e 2,0, respetivamente, com os valores (€ 41,46) e (€ 82,92).

Assim, para vigas, a média do preço do reforço com betão projetado é de aproximadamente 12 % do preço do reforço com chapas de aço com um coeficiente de confinamento 2,0, para vigas com as mesmas dimensões.

REFERÊNCIAS

APPLETON, J.; GOMES, A., 1997 – **Reforço de estruturas de betão armado por encamisamento de secções**. Revista Portuguesa de Engenharia e Estruturas N.º42.

CRUZ, J., 2012 – **Reabilitação e reforço de estruturas - Projecto de reforço com FRP**. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

JÚLIO, E., 2012 – **Reabilitação e Reforço de Estruturas - Técnicas de reforço de estruturas de betão armado**. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

MANSO, A.; FONSECA, M.; ESPADA, J., 2013 – **Informação sobre custos. Fichas de Rendimento**. 2 volumes. 10.ª edição. Lisboa: LNEC.

MANSO, A., 2013 – **Informação sobre custos. Fichas de atualização – dez 2012**. 1.ª edição. Lisboa: LNEC.

MIRANDA, J. A. T.; COSTA E SILVA, A.; CRUZ MOREIRA, A. V.; LOPES, H. M.; ALMEIDA FILHO, R. R.; OLIVEIRA, S. S.; MONTEIRO, E. C. B., 2021 – **Estudo de Caso: Recuperação e reforço estrutural em edifício empresarial no meio urbano / Case Study: Recovery and structural reinforcement in business building in the urban environment**. Brazilian Journal of Development, 7(7), 74509–74523. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n7-570>.

SANTOS, C., 2018 – **Análise de soluções de reforço de estruturas de betão armado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil apresentada na Universidade Lusófona de Humanidades e Tecnologias. Lisboa: ULHT.

SANTOS, C., 2019 – **Elaboração de fichas de rendimento para trabalhos de reforço estrutural**. Relatório de Estágio Formal para Admissão como Membro Efetivo da Ordem dos Engenheiros. Lisboa: Ordem dos Engenheiros.

SANTOS, C.; CABAÇO, A.; BRANDÃO DE VASCONCELOS, A., 2020 – **Fichas de rendimento e preços de soluções de reforço estrutural de elementos de betão armado**. ENCORE 2020, 4º Encontro sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, Lisboa: LNEC.

SIMENES, C.; HUBNER, M.; LUÍS GAMINO, A., 2021 – **Estudo experimental de técnicas de reparo e reforço aplicadas ao concreto estrutural/ Experimental study of repair and strengthening techniques applied to structural concrete**. Brazilian Journal of Development, 7(6), 57010–57044. <https://doi.org/10.34117/bjdv7n6-215>.

SOUSA, R.; COSTA, A.; ROMÃO, X.; CANDEIAS, P., 2017 – **Caracterização do comportamento sísmico de edifícios de betão armado representativos do edificado português sem dimensionamento sismorresistente**. Revista Portuguesa de Engenharia e Estruturas N.º3. Série III.

VENTURA, A., 2009 – **Os Compósitos e a sua aplicação na Reabilitação de estruturas metálicas**. Lisboa: Instituto Superior Técnico.