



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA
Escola Superior de Tecnologia e de Gestão

RELATÓRIO

DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO DO BETÃO APLICADO EM PILARES E VIGAS

ENTIDADE: MBC Engenharia, Lda.

OBRA: Hotel Holiday Inn - Armação de Pera

LOCAL: Armação de Pera - Algarve

Relatório Elaborado por: Hermínia Maria Mesquita Morais

Paula Plasencia Matos

LABORATÓRIO DE MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO

Bragança, 20 de março de 2024

Índice

1. Objetivo.....	3
2. Procedimento dos ensaios em laboratório.....	3
2.1 Determinação da profundidade de carbonatação em betão endurecido pelo método da fenolftaleína	3
2.2 Preparação das carotes	4
2.3 Determinação do teor de Cloretos	5
3. Resultado dos ensaios Realizados	5
3.1 Determinação da profundidade de contaminação.....	5
3.2 Determinação da Resistência à compressão simples	6
3.3 Teor de Cloretos	9
4. Conclusões	10
5. Bibliografia	11

Determinação da resistência à compressão do betão aplicado em Pilares e Vigas

Ensaio elaborado para:	MBC Engenharia, Lda.
Obra:	Hotel Holiday Inn - Armação de Pera
Data de betonagem dos pilares e vigas:	> 50 anos
Data de extração das carotes:	02-02-2024
Data de entrega no LMC	07-02-2024

1. Objetivo

Elaboração de um parecer para estimar a resistência à compressão simples em pilares e vigas para betão armado numa estrutura construída há aproximadamente 50 anos, com base nos resultados dos ensaios à compressão de trinta e nove (39) carotes cilíndricos de betão, com diâmetro de 103 mm e quatro (4) com diâmetro de 93 mm com alturas variáveis, determinação do teor de cloretos e determinação da profundidade de carbonatação pelo método da fenolftaleína referentes à obra em epígrafe. As carotes foram extraídas em diversos locais da obra, sendo estas posteriormente entregues no Laboratório de Materiais de Construção (LMC) da Escola Superior de Tecnologia e Gestão de Bragança – Instituto Politécnico de Bragança (ESTiG – IPB) por pessoal técnico do dono de obra no dia 7 de fevereiro de 2024.

2. Procedimento dos ensaios em laboratório

2.1 Determinação da profundidade de carbonatação em betão endurecido pelo método da fenolftaleína

O método de ensaio da fenolftaleína destina-se a medir a profundidade da camada carbonatada junto à superfície do betão endurecido e pode ser utilizado no local ou em laboratório, em provetes de ensaio ou em núcleos ou fragmentos retirados de estruturas de betão endurecido, segundo as normas BS EN 14630 [5] e a LNEC E 391,1993 [7].

A determinação da profundidade de carbonatação foi feita às carotes cilíndricos conforme foram entregues no LMC nesse mesmo dia, vaporizando-as posteriormente com uma solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1% (Figura 1b). A zona incolor dos provetes indica que o pH do betão é inferior a 8 concluindo-se que o betão nessa determinada área se encontrava carbonatado, Figura 1c. No entanto, não se pode concluir que as corotes estejam todas

carbonatadas uma vez que o ensaio não foi executado logo após a extração das carotes e estas estiveram vários dias ao ar.

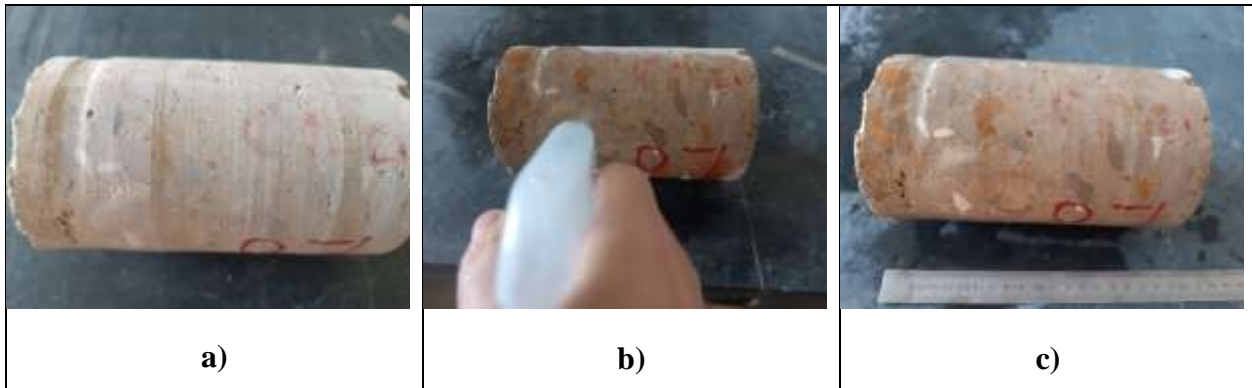


Figura 1: a) Carotes conforme foram entregues no LMC; b) Carote vaporizada com solução alcoólica de fenolftaleína a 0,1%; c) Carote carbonatada

2.2 Preparação das carotes

A preparação das carotes consistiu na retificação das suas extremidades através de um equipamento de desgaste de modo a obter superfícies planas e paralelas de acordo com a norma ASTM C617-94 [1], seguido de pesagem e medição (diâmetro e comprimento) (Figuras 3a) e 3b), pois os provetes ensaiados eram de diâmetro de 103 mm e de 93 mm com alturas variáveis conforme Quadro I e Quadro II. As carotes foram submetidas ao ensaio de compressão (Figura 3c), tendo sido registado, para cada uma delas, o valor da carga de rotura por compressão (kN).

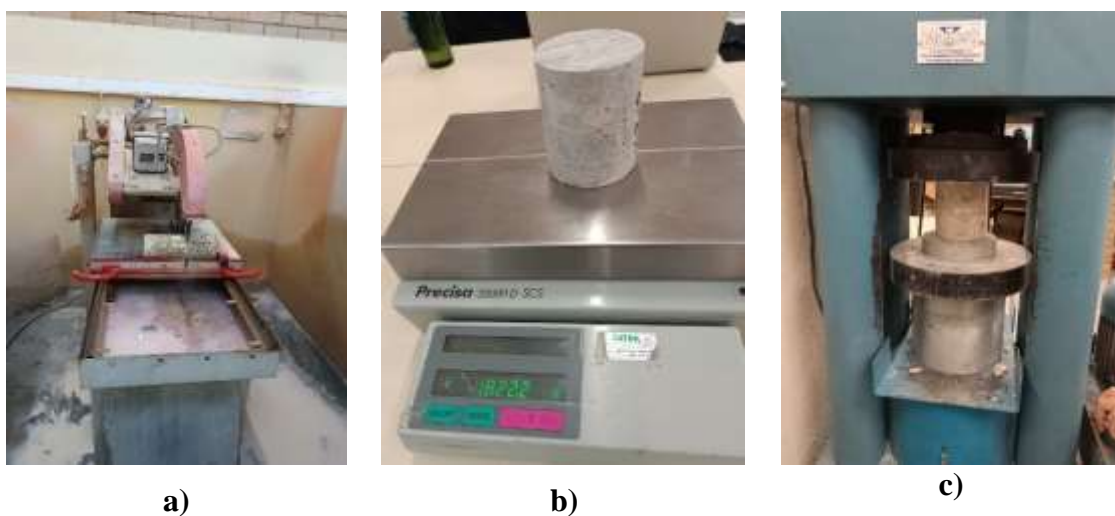


Figura 3: a) Rectificação das carotes

b) Pesagem das carotes

c) Ensaio à compressão das carotes

2.3 Determinação do teor de Cloretos

A digestão da amostra para a determinação do teor de cloretos foi efetuada segundo a norma [11] AASHTO: T260-97 e a análise por titulação foi efetuada segundo a norma NP EN 1744 [10] usando o método de Mohr.

A determinação do teor de cloretos solúveis em ácido foi efetuada a 20 carotes (aleatórias), estando os resultados obtidos no quadro III.

3. Resultado dos ensaios Realizados

3.1 Determinação da profundidade de contaminação

A determinação da resistência à carbonatação foi realizada de acordo com a Especificação do LNEC E391-1993 [7] utilizando fenolftaleína. A frente de carbonatação desenvolve-se paralelamente à superfície, sendo a profundidade de carbonatação que se pretende determinar a distância entre a superfície do provete e a linha da frente de carbonatação (fim da cor roxa). Uma vez que este ensaio não foi efetuado em obra logo após a extração das carotes, posteriormente, em laboratório cortaram-se as carotes ao meio e logo após o corte saturou-se a carote com fenolftaleína ao longo de todo o comprimento da carote e mediu-se a distância de profundidade. A zona incolor dos provetes indica que o pH do betão é inferior a 8 concluindo-se que o betão nessa determinada área se encontrava carbonatado (no recobrimento). Na Figura 2 podem-se verificar os provetes após pulverizadas com fenolftaleína.



Figura 2: Aspeto das carotes após pulverização das superfícies com fenolftaleína

3.2 Determinação da Resistência à compressão simples

O betão das carotes é representativo do betão que se quer caracterizar; assim, foram extraídas em pilares e vigas trinta e nove (39) carotes cilíndricas de betão, com diâmetro de 103 mm e quatro (4) com diâmetro de 93 mm, pertencendo a betonagens diferentes, logo, são betões diferentes. As carotes foram extraídas horizontalmente, examinadas e preparadas segundo a norma NP EN 12504-1:2009-pt [6] e ensaiadas à compressão sem varões de aço segundo a norma EN 12390-3:2011[9].

A resistência à compressão das carotes obtida através de ensaio de compressão axial bem como respectivo valor da resistência à compressão estimado para provetes cúbicos, estão representados em resumo nos quadros I e II (ver Anexo I).

Quadro I: Estimativa das tensões de rotura para os pilares e vigas para diâmetro D=103 mm

Referência Carote	Tamanho da carote <i>in situ</i>	Altura do provete (L)	Relação L/D	Força de rotura	Tensão de rotura da carote - f_{carote}	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo}	Tensão de rotura média - f_m
	(mm)	(mm)		(kN)		(MPa)	(MPa)
C1+1	285	108	1,05	100,03	12,01	12,24	21,3
C1+2	215	114	1,11	108,39	13,02	13,54	
C1+3	260	115	1,12	152,81	18,35	19,15	
C1-0	304	116	1,13	261,33	31,38	32,85	
C1-1	360	112	1,09	230,66	27,70	28,62	
C2+1	220				Partido		
C2+2	217	112	1,09	113,00	13,57	14,02	19,0
C2+3	250	112	1,09	164,18	19,71	20,36	
C2-1	300	115	1,12	180,32	21,65	22,59	
C3+1	255	111	1,08	90,85	10,91	11,23	16,3
C3+2	240	111	1,08	99,42	11,94	12,29	
C3+3	245	112	1,09	144,05	17,30	17,87	
C3-1	153	113	1,10	192,55	23,12	23,97	

C4+1	220	112	1,09	170,04	20,42	21,10	17,7
C4+2	215	114	1,11	178,56	21,44	22,30	
C4+3	255	112	1,09	107,29	12,88	13,31	
C4-1	142	118	1,15	130,35	15,65	16,49	
C40	308	116	1,13	120,14	14,43	15,11	
C5+1	310	112	1,09	145,87	17,52	18,10	15,3
C5+2	245	115	1,12	114,77	13,78	14,38	
C50	297	113	1,10	95,01	11,41	11,83	
C5-1	310	111	1,08	136,64	16,41	16,90	
C6+1	237	107	1,04	98,05	11,77	11,95	18,3
C6+2	215	112	1,09	149,84	17,99	18,59	
C60	305	115	1,12	193,66	23,25	24,26	
C6-1	310	122	1,18	145,20	17,44	18,60	
C7+1	320	109	1,06	92,86	11,14	11,39	19,1
C7+2	215	111	1,08	191,42	22,99	23,67	
C70	310	113	1,10	84,32	10,50	10,89	
C7-1	305	112	1,09	243,82	29,28	30,25	
C8+1	225	110	1,07	170,34	20,45	20,98	17,9
C8+2	265	110	1,07	120,14	14,43	14,81	
C9+1	210	113	1,10	193,86	23,28	24,13	21,4
C9+2	225	112	1,09	149,91	18,00	18,60	
CL1-0	130	112	1,09	185,15	22,23	22,97	23,3
C10+1	300	116	1,13	176,45	21,19	22,18	
C10+2	217	113	1,10	198,16	23,79	24,66	
C100	335	115	1,12	131,38	15,78	16,47	16,5
C100	320				Partido		

Pelo quadro I verifica-se que o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=18,7$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=10,9$ MPa para as trinta e nove (39) carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com diâmetro de 103mm.

As resistências à compressão são obtidas a partir do ensaio de cubos moldados de 150mm de lado, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfizer as seguintes condições segundo a norma NP EN 206-1:2013[8]

$$f_{ck} < f_{cm} / 0,85$$

$$f_{ck} < f_{min} / 0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 22,0 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 14,5 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos seja de 14 MPa.

De acordo com a norma NP EN 206-1:2013 [8] este betão poder-se-ia classificar da classe C12/15.

No Quadro II são representados os valores das tensões de rotura para os pilares e vigas com diâmetro de 93 mm.

Quadro II: Estimativa das tensões de rotura para os pilares e vigas para diâmetro $D=93$ mm

Referência Carote	Tamanho da carote <i>in situ</i>	Altura (L)	Relação L/D	Força de rotura	Tensão de rotura da carote - f_{carote}	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo}
	(mm)	(mm)		(kN)	(MPa)	(MPa)
C20	320	115	1,24	122,81	18,05	19,55
C30	318	108	1,16	105,33	15,53	16,44
C8-0	310	112	1,20	238,76	35,17	37,73
C9-0	330	114	1,23	83,86	12,35	13,33

Pelo quadro II verifica-se que para as quatro (4) carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com diâmetro de 93mm o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=21,8$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=13,3$ MPa.

As resistências à compressão são obtidas a partir do ensaio de cubos moldados, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfizer as seguintes condições:

$$f_{ck} < f_{cm} / 0,85$$

$$f_{ck} < f_{min} / 0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 25,6 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 17,8 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos seja de 17 MPa.

De acordo com a norma NP EN 206-1:2007 [8] este betão poder-se-ia classificar da classe C12/15.

3.3 Teor de Cloretos

O resultado do teor de cloretos obtido às 20 carotes estudadas encontram-se no quadro III

Quadro III: Resultado do teor de cloretos

Referência Carote	Volume (V ₈)	Massa de agregado	Volume inicial da amostra	Rácio água/agregado (W)	Teor total de cloretos solúveis no agregado (C=0,01×0,03545×V ₈ ×W×4)
	(ml)	(gr)	(ml)	(gr)	(%)
C1+2	0,43	3,0008	147,00	48,9869	0,0896
C10+2	0,63	3,0152	142,00	47,0947	0,1269
C100	0,62	3,0276	135,00	44,5897	0,1187
C2+1	0,50	3,0104	136,00	45,1767	0,0964
C20	0,60	3,1665	148,00	46,7393	0,1259
C3+1	7,10	3,0185	140,00	46,3806	1,4095
C3+2	0,62	3,0088	135,00	44,8684	0,1187
C30	0,40	3,0000	145,00	48,3333	0,0822
C40	0,05	3,0007	138,00	45,9893	0,0098
C4-1	1,10	3,0185	138,00	45,7181	0,2153
C5+2	0,05	3,0004	150,00	49,9933	0,0106
C50	0,58	3,0164	135,00	44,7553	0,1110
C5-1	0,66	3,0009	148,00	49,3185	0,1385
C6+1	0,18	3,0456	140,00	45,9679	0,0357
C6-1	0,05	3,004	148,00	49,2676	0,0105

C7+1	0,50	3,0224	146,00	48,30598	0,1035
C70	0,40	3,1987	150,00	46,89405	0,0851
C8+1	0,43	3,0017	146,00	48,6391	0,0890
C9+2	0,45	3,0106	150,00	49,82396	0,0957
CL1-0	2,56	3,0208	140,00	46,34534	0,5082

4. Conclusões

A análise dos resultados obtidos indica que globalmente o betão é de fraca resistência mecânica. A resistência à compressão equivalente a cubos de betão *in situ* será da ordem de 14 a 25 MPa.

- Para as carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com **diâmetro de 103mm**, ou seja, trinta e nove (39) carotes verificou-se que o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=21,8$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=13,3$ MPa.

A resistência à compressão é obtida a partir do ensaio de cubos moldados, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfizer as seguintes condições:

$$f_{ck} < f_{cm}/0,85$$

$$f_{ck} < f_{min}/0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 22,0 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 14,5 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos para estas carotes seja de 14 MPa.

- Para as carotes extraídas horizontalmente em pilares e vigas com **diâmetro de 93mm**, ou seja, quatro (4) carotes verificou-se que o betão apresenta uma tensão de rotura média $f_{cm}=18,7$ MPa, e um valor mínimo $f_{min}=10,9$ MPa.

Como a resistência à compressão é obtida a partir do ensaio de cubos moldados, sendo o betão aceite se a tensão característica, f_{ck} , satisfizer as seguintes condições:

$$f_{ck} < f_{cm}/0,85$$

$$f_{ck} < f_{min}/0,75$$

Assim, para se poder estimar o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão as condições anteriores eram satisfeitas se:

$$f_{ck} < 25,6 \text{ MPa};$$

$$f_{ck} < 17,8 \text{ MPa}$$

Deste modo, estima-se que o valor característico da tensão de rotura à compressão do betão ensaiado em cubos para estas carotes seja de 17 MPa.

Estima-se que este betão de acordo com a norma NP EN 206-1:2007 [8] poder-se-ia classificar como da classe C12/15.

5. Bibliografia

- [1] ASTM C617-94 - Standard Practice for Capping Cylindrical Concrete Specimens English language.
- [2] BS 1881 - Part 124: 1988 - British Standard Testing concrete. Part 124. Methods for analysis of hardened concrete
- [3] BS 1881- Part 120: 1983 – Testing concrete – Part 120: Method for determination of compressive strength of concrete cores;
- [4] BS 6089:2010 – Assessment of in-situ compressive strength in structures and precast concrete components – Complementary guidance to that given in BS EN 13791.
- [5] BS EN 14630:2006 - Products and systems for the protection and repair of concrete structures — Test methods — Determination of carbonation depth in hardened concrete by the phenolphthalein method;
- [6] NP EN 12504-1:2009-pt - Ensaio do betão nas estruturas; Parte 1: Carotes; Extracção, exame e ensaio à compressão;
- [7] LNEC E 391-1993, Betões – Determinação da resistência à carbonatação.
- [8] NP EN 206-1:2013+A1:2017, Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade.
- [9] NP EN 12390-3:2011 – Ensaio do betão endurecido. Parte 3: Resistência à compressão de provetes.

[10] NP EN 1744-1:2009+A1 – Ensaios para determinação das propriedades químicas dos agregados. Parte 1: Análise química.

[11] T 260-97 – AASHTO DESIGNATION : T260-97 – Sampling and Testing for Chloride Ion in Concrete and Concrete Raw Materials.

IPB-ESTG, Bragança, 20 de março de 2024

<p>Hermínia Maria M. Morais MSc, Engenheiro Civil ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança Técnica Superior do Lab. de Eng. Civil Ordem dos Engenheiros – 41244</p> <p>Campus de S. Apolónia 5300-253 Bragança – Portugal Phone: +351 273 303 173 e-mail: hmorais@ipb.pt</p>	<p>Paula Plasencia Matos MSc, Química ESTiG – Inst. Politécnico de Bragança Técnica Superior do Lab. de Química</p> <p>Campus de S. Apolónia 5300-253 Bragança – Portugal Phone: +351 273 303 167 e-mail: marina@ipb.pt</p>
--	--

ANEXOS

ANEXO I

CAROTES - Resistência Real

Ref.ª Carote	Tamanho da carote <i>in situ</i> (mm)	Diâmetro da carote (D) (mm)	Altura do provete (L) (mm)	Peso (Kg)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote} (MPa)	a_1 $a_1=D/(1,5+Dc/L)$	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	f_m (MPa)
C1+1	285	103	108	2,03	1,05	100,03	12,01	1,02	12,24	21,3
C1+2	215	103	114	2,25	1,11	108,39	13,02	1,04	13,54	
C1+3	260	103	115	2,17	1,12	152,81	18,35	1,04	19,15	
C1-0	304	103	116	2,32	1,13	261,33	31,38	1,05	32,85	
C1-1	360	103	112	2,20	1,09	230,66	27,70	1,03	28,62	
C2+1	220	103					Partido			
C2+2	217	103	112	2,11	1,09	113,00	13,57	1,03	14,02	19,0
C2+3	250	103	112	2,12	1,09	164,18	19,71	1,03	20,36	
C2-1	300	103	115	2,24	1,12	180,32	21,65	1,04	22,59	
C3+1	255	103	111	2,06	1,08	90,85	10,91	1,03	11,23	16,3
C3+2	240	103	111	2,14	1,08	99,42	11,94	1,03	12,29	
C3+3	245	103	112	2,29	1,09	144,05	17,30	1,03	17,87	
C3-1	153	103	113	2,25	1,10	192,55	23,12	1,04	23,97	
C4+1	220	103	112	2,29	1,09	170,04	20,42	1,03	21,10	17,7
C4+2	215	103	114	2,22	1,11	178,56	21,44	1,04	22,30	
C4+3	255	103	112	2,13	1,09	107,29	12,88	1,03	13,31	
C4-1	142	103	118	2,31	1,15	130,35	15,65	1,05	16,49	
C40	308	103	116	2,31	1,13	120,14	14,43	1,05	15,11	
C5+1	310	103	112	2,15	1,09	145,87	17,52	1,03	18,10	15,3
C5+2	245	103	115	2,21	1,12	114,77	13,78	1,04	14,38	
C50	297	103	113	2,16	1,10	95,01	11,41	1,04	11,83	
C5-1	310	103	111	2,19	1,08	136,64	16,41	1,03	16,90	
C6+1	237	103	107	2,12	1,04	98,05	11,77	1,02	11,95	18,3
C6+2	215	103	112	2,14	1,09	149,84	17,99	1,03	18,59	
C60	305	103	115	2,26	1,12	193,66	23,25	1,04	24,26	
C6-1	310	103	122	2,23	1,18	145,20	17,44	1,07	18,60	
C7+1	320	103	109	2,10	1,06	92,86	11,14	1,02	11,39	19,1
C7+2	215	103	111	2,16	1,08	191,42	22,99	1,03	23,67	
C70	310	103	113	2,18	1,10	84,32	10,50	1,04	10,89	
C7-1	305	103	112	2,18	1,09	243,82	29,28	1,03	30,25	

Ref.ª Carote	Tamanho da carote <i>in situ</i> (mm)	Diâmetro da carote (D) (mm)	Altura do provete (L) (mm)	Peso (Kg)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote} (MPa)	a_1 $a_1=D/(1,5+Dc/L)$	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	f_m (MPa)
C8+1	225	103	110	2,12	1,07	170,34	20,45	1,03	20,98	17,9
C8+2	265	103	110	2,14	1,07	120,14	14,43	1,03	14,81	
C9+1	210	103	113	2,21	1,10	193,86	23,28	1,04	24,13	21,4
C9+2	225	103	112	2,15	1,09	149,91	18,00	1,03	18,60	
CL1-0	130	103	112	2,21	1,09	185,15	22,23	1,03	22,97	23,3
C10+1	300	103	116	2,27	1,13	176,45	21,19	1,05	22,18	
C10+2	217	103	113	2,25	1,10	198,16	23,79	1,04	24,66	
C100	335	103	115	2,29	1,12	131,38	15,78	1,04	16,47	16,5
C110	320	103					Partido			
							Tensão de rotura média à compressão (MPa)	$f_m (D=103 \text{ mm})=$	18,7	
							Tensão de rotura mínima à compressão (MPa)	$f_m (D=103 \text{ mm})=$	10,9	

Ref.ª Carote	Tamanho da carote <i>in situ</i> (mm)	Diâmetro da carote (D) (mm)	Altura do provete (L) (mm)	Peso (Kg)	Relação L/D	Força de rotura (kN)	Tensão de rotura da carote - f_{carote} (MPa)	a_1 $a_1=D/(1,5+Dc/L)$	Tensão de rotura do cubo - f_{cubo} (MPa)	f_m (MPa)
C20	320	93	115	1,83	1,24	122,81	18,05	1,08	19,55	19,5
C30	318	93	108	1,72	1,16	105,33	15,53	1,06	16,44	16,4
C8-0 (fenolftaleína)	310	93	112	1,83	1,20	238,76	35,17	1,07	37,73	37,7
C9-0	330	93	114	1,82	1,23	83,86	12,35	1,08	13,33	13,3
							Tensão de rotura média à compressão (MPa)	$f_{cm} (D=93\text{mm})=$	21,8	
							Tensão de rotura mínima à compressão (MPa)	$f_{min} (D=93\text{mm})=$	13,3	

Valores característicos da tensão de rotura à compressão para $f_{cm}(D=103\text{mm})$	
$f_{ck} < f_{cm}/0,85$:	22,0
$f_{ck} < f_{min}/0,75$:	14,5

Valores característicos da tensão de rotura à compressão para $f_{cm}(D=93\text{mm})$	
$f_{ck} < f_{cm}/0,85$:	25,6
$f_{ck} < f_{min}/0,75$:	17,8

Obs.:

Data de extracção das carotes: 02-02-2024

Data do ensaio à compressão das carotes: 16-02-2024

Em que:

As carotes foram extraídas horizontalmente. Foram ensaiadas sem aço.

a_1 : Carotes sem aço $a_1 = D/(1,5 + D_c/L)$

Sendo:

$D=2,3$ para carotes extraídos verticalmente

$D=2,5$ para carotes extraídos horizontalmente

f_m : Valor médio da tensão de rotura à compressão (MPa)

D_c : Diâmetro da carote