



**UNIVERSIDADE DE ÉVORA
ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA**

**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE NOVOS ENDURECEDORES DE
SUPERFÍCIE APLICADOS EM BETÕES DE BASE**

Cíntia Marisa Pereira de Freitas

Dissertação

**MESTRADO EM ENGENHARIA CIVIL
ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÃO**

ORIENTADOR: Professora Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves

Évora, 12 de Julho de 2013



**ANÁLISE DO COMPORTAMENTO DE NOVOS
ENDURECEDORES DE SUPERFÍCIE APLICADOS EM
BETÕES DE BASE**

CÍNTIA MARISA PEREIRA DE FREITAS

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil

Orientadora: PROFESSORA MARIA TERESA GUERRA PINHEIRO ALVES

*Este trabalho foi realizado com o apoio da Fundação para a Ciência e
Tecnologia (FCT) no âmbito do projeto PTDC/ECM/105075/2008.*

Évora, 12 de Julho de 2013

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer aos meus pais por todo o apoio dado ao longo do meu percurso académico.

Gostaria também de agradecer a minha orientadora, Professora Maria Teresa Pinheiro Alves, pela orientação prestada e por sempre estar disponível para retirar as dúvidas que me ocorriam durante a realização deste trabalho.

Aos meus colegas Marco Nunes, Óscar Rodrigues, Ana Vieira e Maria Marques pela ajuda prestada na realização da parte prática desta dissertação.

Ao Professor António Bettencourt Ribeiro e ao LNEC pela ajuda prestada com o ensaio das carotes.

À Britobetão pela disponibilidade para nos realizar os ensaios de resistência à compressão e pelo fornecimento do cimento para o laboratório.

Às empresas Basf e Sika pelo fornecimento dos adjuvantes.

E por fim gostaria de agradecer também aos meus amigos, Hélder Gonçalves, João Velosa e Luís da Rita, pela ajuda e companheirismo prestado por todo o meu percurso académico.

RESUMO

Atualmente, têm aparecido muitos problemas em lajes onde são aplicados endurecedores de superfície, nomeadamente destacamento e fendilhação do endurecedor de superfície.

Estas patologias têm surgido principalmente nas estações de verão.

De maneira a perceber um pouco mais essa ligação, nesta dissertação estudou-se a influência de diferentes composições de endurecedor na sua ligação a diferentes betões de base. Para o efeito, foram fabricados seis endurecedores de superfície, sendo estes comparados entre si e com outro já existente no mercado, assim como, foram feitas duas composições para os betões de base. A ligação endurecedor/betão foi estudada e verificou-se que a quantidade de ligante incorporado no endurecedor e a respetiva granulometria do agregado tem influência na ligação entre eles, assim como, a incorporação de adições no endurecedor de superfície.

Palavras chave: Endurecedor de superfície; destacamento; fissuração

ABSTRACT

Behavior analyses of new surface hardeners applied to a base concrete

Recently, have appeared a lot of problems in slabs where surface hardeners are applied, namely detachment and cracking of the surface hardener.

These pathologies have appeared mainly in the summer seasons.

In a way to understand a little bit about this attachment, in this dissertation was studied the influence of different composition of surface hardeners in their binding in different base concrete. For this purpose, there were fabricated six surface hardeners, being those compared between them and with another already existent in the market, as well as, it were made two compositions for the base concrete. The attachment surface hardener/concrete was studied and it was verified that the quantity of binder incorporated in the hardener and in the respective granulometry of the aggregate has influence in their binding with each other, as such as, the incorporation of additions in the surface hardener.

Keywords: Surface hardener; detachment; cracking

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Aspetos gerais.....	1
1.2. Objetivo.....	1
1.3. Estrutura da dissertação.....	2
2. ANTECEDENTES.....	3
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
3.1. Materiais.....	9
3.1.1. Cimento.....	9
3.1.2. Agregados.....	12
3.1.3. Água.....	16
3.1.4. Adjuvantes.....	16
3.1.5. Adições.....	18
3.1.6. Endurecedor A.....	19
3.2. Métodos.....	20
3.2.1. Fabrico dos endurecedores de superfície.....	20
3.2.2. Fabrico e colocação do betão de base.....	22
3.2.3. Aplicação e afagamento dos endurecedores de superfície.....	28
3.2.4. Taxa de evaporação.....	30
3.2.5. Ensaio no betão em estado endurecido.....	30
4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	36
4.1. Taxa de evaporação.....	36
4.2. Resistência à penetração.....	37
4.3. Ensaio de pull-off.....	38

4.4.	Ensaio esclerométrico.....	54
4.5.	Resistência à compressão.....	55
4.6.	Trabalhabilidade dos endurecedores.....	69
5.	CONCLUSÃO.....	71
	BIBLIOGRAFIA.....	73
	ANEXOS.....	76
	Anexo 1 – Dados relativos ao fabrico dos ensaios.....	76
	Anexo 2 – Dados relativos às medições efetuadas com o penetrómetro.....	90
	Anexo 3 – Dados relativos à determinação da taxa de evaporação.....	97
	Anexo 4 – Temperaturas registadas.....	105
	Anexo 5 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off.....	110
	Anexo 6 – Resultados obtidos do ensaio do índice esclerométrico.....	117
	Anexo 7 – Dados relativos ao ensaio de resistência à compressão.....	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Quartzo.....	4
Figura 2.2 – Corindo.....	4
Figura 2.3 – Basalto.....	4
Figura 2.4 – Talocha mecânica.....	6
Figura 2.5 – Talocha mecânica com dupla hélice.....	6
Figura 2.6 – Aplicação do endurecedor de superfície.....	7
Figura 2.7 – Adição de água durante o processo de afagamento.....	7
Figura 2.8 – Acabamento final.....	8
Figura 3.1 – Brita 2.....	12
Figura 3.2 – Brita 1.....	13
Figura 3.3 – Areia fina.....	15
Figura 3.4 – Adjuvante P.....	17
Figura 3.5 – Adjuvante SP.....	17
Figura 3.6 – Agitador mecânico.....	20
Figura 3.7 – Estufa.....	20
Figura 3.8 – Excicador.....	20
Figura 3.9 – Agregado separado por dimensões.....	21
Figura 3.10 – Moldes utilizados.....	23
Figura 3.11 – Betoneira.....	23
Figura 3.12 – Cone de Abrams.....	24
Figura 3.13 – Ensaio de abaixamento pelo Cone de Abrams.....	24
Figura 3.14 – Medição do abaixamento.....	25
Figura 3.15 – Vibrador de agulha.....	25

Figura 3.16 – Túneis.....	26
Figura 3.17 – Penetrômetro.....	28
Figura 3.18 – Esquema do posicionamento no interior dos túneis.....	28
Figura 3.19 – Talocha mecânica.....	29
Figura 3.20 – Afagamento.....	29
Figura 3.21 – Tanque de cura.....	31
Figura 3.22 – Prensa.....	31
Figura 3.23 – Caroteadora.....	32
Figura 3.24 – Colagem das pastilhas.....	33
Figura 3.25 – Equipamento de ensaio de pull-off.....	33
Figura 3.26 – Esquema dos diferentes tipos de rutura.....	34
Figura 3.27 – Esclerômetro.....	35
Figura 4.1 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E1 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	42
Figura 4.2 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E1 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	42
Figura 4.3 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E2 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	43
Figura 4.4 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E2 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	43
Figura 4.5 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E3 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	44
Figura 4.6 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E3 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	44
Figura 4.7 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E4 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	45

Figura 4.8 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E4 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	45
Figura 4.9 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E5 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	46
Figura 4.10 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E5 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	46
Figura 4.11 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E6 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	47
Figura 4.12 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E6 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	47
Figura 4.13 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2 E1 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	48
Figura 4.14 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E1 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	48
Figura 4.15 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E2 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	49
Figura 4.16 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E2 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	49
Figura 4.17 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E3 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	50
Figura 4.18 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E3 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	50
Figura 4.19 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E4 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	51
Figura 4.20 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E4 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	51
Figura 4.21 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E5 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	52
Figura 4.22 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E5 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	52

Figura 4.23 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E6 aos 8,5 MPa de resistência à penetração.....	53
Figura 4.24 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E6 aos 8,5 MPa + 45 min de resistência à penetração.....	53
Figura 4.25 – Carotes retiradas da lajeta C1E1 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	57
Figura 4.26 – Carotes retiradas da lajeta C1E1 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	58
Figura 4.27 – Carotes retiradas da lajeta C1E2 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	58
Figura 4.28 – Carotes retiradas da lajeta C1E2 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	59
Figura 4.29 – Carotes retiradas da lajeta C1E3 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	59
Figura 4.30 – Carotes retiradas da lajeta C1E3 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	60
Figura 4.31 – Carotes retiradas da lajeta C1E4 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	60
Figura 4.32 – Carotes retiradas da lajeta C1E4 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	61
Figura 4.33 – Carotes retiradas da lajeta C1E5 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	61
Figura 4.34 – Carotes retiradas da lajeta C1E5 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	62
Figura 4.35 – Carotes retiradas da lajeta C1E6 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor.....	62
Figura 4.36 – Carotes retiradas da lajeta C1E6 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	63
Figura 4.37 – Carotes retiradas da lajeta C2E1 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	63

Figura 4.38 – Carotes retiradas da lajeta C2E1 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	64
Figura 4.39 – Carotes retiradas da lajeta C2E2 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	64
Figura 4.40 – Carotes retiradas da lajeta C2E2 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	65
Figura 4.41 – Carotes retiradas da lajeta C2E3 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	65
Figura 4.42 – Carotes retiradas da lajeta C2E3 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	66
Figura 4.43 – Carotes retiradas da lajeta C2E4 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	66
Figura 4.44 – Carotes retiradas da lajeta C2E4 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	67
Figura 4.45 – Carotes retiradas da lajeta C2E5 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	67
Figura 4.46 – Carotes retiradas da lajeta C2E5 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	68
Figura 4.47 – Carotes retiradas da lajeta C2E6 aos 8,5MPa de aplicação do endurecedor.....	68
Figura 4.48 – Carotes retiradas da lajeta C2E6 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor.....	69

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da brita 2.....	13
Gráfico 3.2 – Curva granulométrica da brita 1.....	14
Gráfico 3.3 – Curva granulométrica da areia grossa.....	15
Gráfico 3.4 – Curva granulométrica da areia fina.....	16
Gráfico 4.1 – Evolução das resistências à penetração	37
Gráfico 4.2 – Evolução das resistências à compressão dos provetes cúbicos e cilíndricos.....	56

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 3.1 – Ensaio Mecânicos	9
Tabela 3.2 – Ensaio Físicos.....	10
Tabela 3.3 – Análise química	10
Tabela 3.4 – Ensaio Mecânicos	11
Tabela 3.5 – Ensaio Físicos	11
Tabela 3.6 – Análise química	11
Tabela 3.7 – Composição química do filler calcário.....	18
Tabela 3.8 – Composição do endurecedor A.....	19
Tabela 3.9 – Análise química ao endurecedor EA.....	20
Tabela 3.10 – Composição dos endurecedores.....	22
Tabela 3.11 – Dosagens utilizadas no fabrico dos dois betões de base.....	22
Tabela 4.1 – Água disponível.....	36
Tabela 4.2 – Resultados obtidos pelo pull-off	39
Tabela 4.3 – Percentagem obtidas pelo tipo de ruturas para o EA e E1.....	40
Tabela 4.4 – Percentagem obtidas pelo tipo de ruturas para o EA, E4 e E5.....	41
Tabela 4.5 – Resultados obtidos através do índice esclerométrico	55

ÍNDICE DE TABELAS EM ANEXO

Tabela A.1– Dados relativos ao fabrico do C1E1.....	76
Tabela A.2 – Dados relativos ao fabrico do C1E2.	77
Tabela A.3 – Dados relativos ao fabrico do C1E3.....	78
Tabela A.4 – Dados relativos ao fabrico do C1E4.....	79
Tabela A.5 – Dados relativos ao fabrico do C1E5.....	80
Tabela A.6 – Dados relativos ao fabrico do C1E6.....	81
Tabela A.7 – Dados relativos ao fabrico do C1EA.....	82
Tabela A.8 – Dados relativos ao fabrico do C2E1.....	83
Tabela A.9 – Dados relativos ao fabrico do C2E2.....	84
Tabela A.10 – Dados relativos ao fabrico do C2E3.....	85
Tabela A.11 – Dados relativos ao fabrico do C2E4.....	86
Tabela A.12 – Dados relativos ao fabrico do C2E5.....	87
Tabela A.13 – Dados relativos ao fabrico do C2E6.....	88
Tabela A.14 – Dados relativos ao fabrico do C2EA.....	89
Tabela A.15 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E1.....	90
Tabela A.16 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E2.....	90
Tabela A.17 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E3.....	91
Tabela A.18 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E4.....	91
Tabela A.19 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E5.....	92
Tabela A.20 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E6.....	92
Tabela A.21 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1EA.....	93
Tabela A.22 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E1.....	93
Tabela A.23 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E2.....	94

Tabela A.24 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E3.....	94
Tabela A.25 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E4.....	94
Tabela A.26 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E5.....	95
Tabela A.27 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2E6.....	95
Tabela A.28 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C2EA.....	96
Tabela A.29 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E1.....	97
Tabela A.30 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E2.....	97
Tabela A.31 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E3.....	98
Tabela A.32 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E4.....	98
Tabela A.33 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E5.....	99
Tabela A.34 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E6.....	99
Tabela A.35 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1EA.....	100
Tabela A.36 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E1.....	100
Tabela A.37 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E2.....	101
Tabela A.38 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E3.....	101
Tabela A.39 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E4.....	102
Tabela A.40 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E5.....	102
Tabela A.41 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E6.....	103
Tabela A.42 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2EA.....	103
Tabela A.43 – Resultados das taxas de evaporação (L/m ² .h)	104
Tabela A.44 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E1.....	105
Tabela A.45 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E2.....	105
Tabela A.46 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E3.....	105
Tabela A.47 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E4.....	106
Tabela A.48 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E5.....	106

Tabela A.49 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E6.....	106
Tabela A.50 – Temperaturas registadas para o ensaio C1EA.....	107
Tabela A.51 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E1.....	107
Tabela A.52 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E2.....	107
Tabela A.53 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E3.....	108
Tabela A.54 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E4.....	108
Tabela A.55 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E5.....	108
Tabela A.56 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E6.....	109
Tabela A.57 – Temperaturas registadas para o ensaio C2EA.....	109
Tabela A.58 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E1.....	110
Tabela A.59 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E2.....	110
Tabela A.60 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E3.....	111
Tabela A.61 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E4.....	111
Tabela A.62 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E5.....	112
Tabela A.63 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E6.....	112
Tabela A.64 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1EA.....	113
Tabela A.65 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E1.....	113
Tabela A.66 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E2.....	114
Tabela A.67 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E3.....	114
Tabela A.68 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E4.....	115
Tabela A.69 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E5.....	115
Tabela A.70 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E6.....	116
Tabela A.71 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2EA.....	116
Tabela A.72 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E1.....	117
Tabela A.73 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E2.....	117

Tabela A.74 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E3.....	117
Tabela A.75 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E4.....	118
Tabela A.76 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E5.....	118
Tabela A.77 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E6.....	118
Tabela A.78 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1EA.....	119
Tabela A.79 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E1.....	119
Tabela A.80 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2 E2.....	119
Tabela A.81 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E3.....	120
Tabela A.82 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E4.....	120
Tabela A.83 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E5.....	120
Tabela A.84 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E6.....	121
Tabela A.85 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2EA.....	121
Tabela A.86 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cúbicos do C1.....	122
Tabela A.87 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cúbicos do C2.....	122
Tabela A.88 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cilíndricos do C1.....	123
Tabela A.89 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cilíndricos do C2.....	124

ABREVIATURAS

C1 – Composição 1

C2 – Composição 2

EA – Endurecedor A

E1 – Endurecedor 1

E2 – Endurecedor 2

E3 – Endurecedor 3

E4 – Endurecedor 4

E5 – Endurecedor 5

E6 – Endurecedor 6

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspetos gerais

Atualmente têm ocorrido muitos problemas no verão em pavimentos onde se utilizam endurecedores de superfície. Os principais problemas detetados são o destacamento e fendilhação do endurecedor de superfície.

Estes problemas podem ocorrer devido a diversos fatores: sendo um deles a aplicação tardia do endurecedor de superfície, ou seja, quando isto ocorre o betão de base já se encontra num estado demasiado endurecido e o endurecedor de superfície não consegue aderir corretamente ao betão de base. Um outro fator para a ocorrência destas anomalias é a elevada exsudação do betão, ou seja, parte da água do betão ascende à superfície. Também as elevadas temperaturas e vento, secam rapidamente a superfície do betão de base dificultando a ligação ao endurecedor. No capítulo seguinte, capítulo 2 – Antecedentes, este tema será mais aprofundado.

O instante de aplicação do endurecedor e afagamento atualmente não está sujeito à aplicação de nenhuma legislação, sendo os trabalhos realizados apenas através de conhecimentos empíricos. Apenas existem algumas recomendações, nomeadamente a do ACI Committee 302, fichas técnicas da SIB, e empresa SIKA.

Esta dissertação está enquadrada num projeto de investigação financiado pela FCT (PTDC/ECM/105075/2008) e todos os ensaios foram realizados no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Évora.

1.2. Objetivo

Esta dissertação tem como principal objetivo estudar a influência de diferentes composições dos endurecedores na sua ligação a diferentes betões de base. Para o efeito, foram fabricados vários endurecedores de superfície, sendo estes comparados entre si e com outro já existente no mercado.

Pretende-se com este estudo avaliar de que forma a quantidade de ligante incorporado no endurecedor e a respetiva granulometria do agregado influência essa ligação.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação foi estruturada da seguinte forma:

- Capítulo 1 – Introdução

Neste capítulo apresenta-se uma breve introdução, assim como, os objetivos pretendidos.

- Capítulo 2 – Antecedentes

Neste capítulo é feita uma recolha bibliográfica sobre os endurecedores de superfície já existentes no mercado e sobre os problemas que podem ocorrer devido à sua aplicação.

- Capítulo 3 – Materiais e Métodos

Neste capítulo é descrita a metodologia e respetivos materiais utilizados para a realização dos ensaios, assim como as suas características.

- Capítulo 4 – Apresentação e análise de resultados

Neste capítulo são apresentados os resultados e é feita a sua análise.

- Capítulo 5 – Conclusões

Neste capítulo são apresentadas as conclusões.

2. ANTECEDENTES

2. ANTECEDENTES

Atualmente existe uma grande variedade de endurecedores de superfície no mercado, no entanto é um produto pouco utilizado. Visto que os endurecedores de superfície tratam-se de um produto recente, não existe uma grande informação sobre eles na bibliografia existente.

A anomalia principal a que os endurecedores de superfície estão sujeitos está relacionada com a sua ligação ao betão de base, sendo esta anomalia o destacamento do endurecedor. Mais á frente neste capítulo refere-se as causas que originam este destacamento do endurecedor de superfície.

Outros problemas que poderão ocorrer neste tipo de pavimentos são a fendilhação do betão, uma baixa resistência ao desgaste, o desenvolvimento de um material fino na superfície do betão, o destacamento da superfície do betão, o aparecimento de bolhas à superfície e a fragmentação do betão. [1] A fendilhação é causada pela restrição à variação de volume, nomeadamente a retração do betão e a contração térmica, podendo estas causas serem reduzidas através da introdução de juntas de dilatação e através do uso de adjuvantes que reduzam a quantidade de água utilizada na amassadura. [1] A elevada temperatura, a baixa humidade e a presença de vento vem agravar a fendilhação do betão, pois fazem com que a superfície sofra uma secagem demasiado rápida que não permita que a água de exsudação se restabeleça à superfície causando assim uma variação entre a contração que existe à superfície e à contração no interior do betão. A baixa resistência ao desgaste é causada pela utilização de uma excessiva quantidade de água de amassadura, da utilização de uma elevada razão água/cimento, de um elevado abaixamento do betão e uma excessiva entrada de ar na superfície.[1] Relativamente ao desenvolvimento de material fino na superfície do betão este poderá ser causado pela reação entre a água e o cimento que irá provocar o processo de presa do betão, que devido ao cimento e aos agregados serem mais densos que a água, estes iram afundar, trazendo assim a água e os finos para a superfície.[1,9] As causas para a ocorrência do destacamento da superfície são a permeabilidade e a fraca qualidade do betão devido a uma elevada razão água/cimento, um abaixamento excessivo e uma baixa resistência à compressão à superfície. O destacamento poderá ser também causado pelo facto de o ar do interior do betão ficar preso nos poros mesmo por baixo da superfície, sendo que durante os trabalhos de acabamento estes poros vão se tornar uma camada mais fraca à superfície o que irá propiciar o destacamento desta mesma camada.[10] O aparecimento de bolhas é causado pela secagem mais rápida da superfície em relação ao interior do betão, sendo que a insuficiente vibração e o excesso de vibração do betão também poderá provocar o aparecimento de bolhas. A fragmentação do betão é causada pela expansão no interior do

2. ANTECEDENTES

betão, podendo esta ser causada pela colocação de juntas de dilatação mal dimensionadas ou pela corrosão de armaduras provoca por um insuficiente recobrimento, pela elevada exsudação e pelo aparecimento de fissuras que irão permitir que sais ataquem as armaduras.[1,9]

Para conseguir uma boa ligação entre o endurecedor de superfície e o betão de base será necessário evitar todas as causas que poderão provocar anomalias, nomeadamente, não efetuar os trabalhos de acabamento prematuramente, pois só se deverá começar os trabalhos de acabamento quando o betão de base conseguir sustentar a pressão de uma pegada sem o abaixamento ser superior a 6 mm. Assim sendo será necessário esperar até o betão de base já se encontrar num estado mais endurecido. [1] No entanto não se deverá deixar o betão de base chegar a um estado demasiado endurecido, pois nesta situação a água disponível para garantir uma boa ligação endurecedor/betão já será demasiada escassa.

Além das diferenças de granulometrias que estes podem apresentar, também podem conter diferentes tipos de ligantes e agregados. Normalmente o cimento utilizado é o cimento Portland CEM I, enquanto que os agregados mais comuns, são o: quartzo, basalto e corindo. O quartzo e o corindo são minerais, enquanto o basalto é uma rocha. É uma rocha magmática extrusiva (ou vulcânica).



Figura 2.1 – Quartzo [2]



Figura 2.2 – Corindo [3]



Figura 2.3 – Basalto [4]

O quartzo é um mineral que não possui clivagem e tem uma dureza de 7 na escala de Mohs, sendo principalmente composto por óxido de silício (SiO_2) [5]. O corindo é um mineral composto por óxido de alumínio (Al_2O_3) e tem uma dureza de 9 na escala de Mohs [6].

A composição do basalto é dada pelos seguintes intervalos de percentagem em peso de cada composto químico: 45 – 50 % de óxido de silício (SiO_2), 8 – 15 % de óxido de ferro (FeO), 8– 15 % de óxido de magnésio (MgO), 8 – 15 % de óxido de cálcio (CaO), 8 – 15 % de óxido de alumínio (Al_2O_3), 5 % de alcális ($\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$) e 1 – 4 % de óxido de titânio (TiO_2). A dureza estimada do basalto encontra-se no intervalo de 4,8 – 6,5 na escala de Mohs [7].

2. ANTECEDENTES

A principal função dos endurecedores de superfície é a de aumentar a resistência da superfície da camada superior do pavimento. Os endurecedores também proporcionam um aumento da resistência à abrasão da superfície, assim como, o aumento da resistência a ataques químicos e a resistência a impactos, nomeadamente a queda de algum objeto.

Uma superfície resistente é conseguida com o uso de materiais que sejam resistentes na sua constituição, ou seja, os endurecedores de superfície devem possuir materiais resistentes. Assim sendo, os agregados devem ser resistentes. É necessário ter em conta que o ligante presente na composição dos endurecedores de superfície deverá ser também resistente, sendo que o cimento Portland CEM I é um cimento que não possui adições e é constituído praticamente por clínquer.

A granulometria dos agregados também é muito importante, tanto para as características do betão de base como para o endurecedor de superfície. Uma das características afetadas é a trabalhabilidade. Com o aumento da dosagem de cimento a influência da granulometria diminui, enquanto se aumentarmos a quantidade de material fino pode-se provocar uma falta de coesão ao betão. Com uma granulometria contínua, o betão torna-se mais compacto e resistente [8].

Como já referido nos aspetos gerais, o maior número de problemas está associado ao aparecimento de fissuração e destacamento do endurecedor de superfície. O destacamento poderá ocorrer devido à variação das características da colocação do betão de base, nomeadamente a colocação de betão fresco por cima de betão que já começou a endurecer. Outra das causas para a ocorrência de destacamento poderá ser devido a que superfície do betão não foi bem alisada, se molhar com água a superfície do betão que já começou a endurecer, sendo que a camada colocada posteriormente poderá não aderir bem à camada inferior, e também devido a tempos de presa diferentes na mesma superfície de betão. O destacamento poderá ocorrer ainda devido ao facto de a superfície endurecer mais depressa do que as camadas inferiores, sendo que o facto da criação de presa da superfície irá prender a água de exsudação que ainda se encontra no interior dos poros mesmo por baixo da superfície [9]. Existem ainda mais causas que originam a ocorrência destas anomalias, estas são: a aplicação tardia do endurecedor, a elevada exsudação do betão de base e as condições climáticas existentes, nomeadamente altas temperaturas e a presença de vento. A vibração em excesso do betão de base poderá causar a segregação do betão de base, assim como a insuficiente vibração que irá causar a falta de libertação do ar do interior dos poros do betão [10]. A maioria das anomalias registadas têm ocorrido maioritariamente em situações de bastante calor e/ou vento. As elevadas temperaturas e vento vão fazer com que ocorra um

2. ANTECEDENTES

aceleramento da secagem superficial do betão de base, dificultando a aplicação do endurecedor de superfície.

Em Portugal, a aplicação do endurecedor de superfície é efetuada através de um processo de polvilhação manual do endurecedor, e tentando que a distribuição seja feita o mais uniformemente possível. Posteriormente e com recurso a uma talocha mecânica, o endurecedor é afagado até ficar com uma superfície o mais lisa possível. No início dos trabalhos de afagamento as talochas mecânicas apresentam umas pás mais finas e menos rígidas sendo que vão sendo trocadas por pás mais rígidas, uma vez que o betão vai endurecendo. Quase sempre é adicionada água à medida que se afaga o endurecedor, de maneira a garantir um acabamento o mais liso possível.



Figura 2.4 – Talocha mecânica



Figura 2.5 – Talocha mecânica com dupla hélice

2. ANTECEDENTES

A aplicação do endurecedor de superfície pode ser efetuada de diferentes maneiras, sendo que em Portugal geralmente a aplicação do endurecedor ocorre todo de uma vez. Relativamente à quantidade de endurecedor que se recomenda a ser utilizado varia conforme os fabricantes de endurecedores. Existem três fabricantes principais: a Duro-Europa, a SIB e a JRP. Assim sendo a Duro-Europa recomenda que as dosagens sejam de 4 a 6 kg/m² para endurecedores de superfície constituídos por agregados de quartzo e de 5 a 7 kg/m² para agregados de basalto e de corindo [11 – 14]. A SIB recomenda que se aplique 3 a 6 kg/m² de endurecedor, independentemente do agregado que constitui o endurecedor de superfície [15 – 17]. E a JRP recomenda a dosagem de 4 kg/m² [18 – 20].



Figura 2.6 – Aplicação do endurecedor de superfície



Figura 2.7 – Adição de água durante o processo de afagamento

2. ANTECEDENTES

A quantidade que normalmente se aplica em Portugal são os 4 kg/m², sendo esta a quantidade que vai ser utilizado nos trabalhos experimentais desta dissertação. Após a conclusão dos trabalhos de afagamento aplica-se um produto de cura em toda a superfície.



Figura 2.8 – Acabamento final

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo vão ser descritos todos os materiais utilizados na realização da parte laboratorial desta dissertação, assim como, as metodologias dos ensaios realizados de modo a ser possível avaliar os endurecedores fabricados.

No ponto 3.1., encontram-se descritas as características dos materiais e onde estes vão ser aplicados. No ponto 3.2. apresenta-se a descrição da metodologia adotada.

3.1. Materiais

3.1.1. Cimento

Para o desenvolvimento da parte prática desta dissertação foram usados dois tipos de cimento Portland: o CEM II/A-L 42,5R e o CEM I 42,5R, em que o cimento CEM I foi utilizado na elaboração dos endurecedores de superfície e o cimento CEM II/ A-L na composição dos betões de base.

CEM II/A-L 42,5R

O CEM II/A-L 42,5R é um cimento Portland de calcário que contém uma massa de calcário entre os 6 a 20 %.

Nos quadros especificados a seguir estão representadas as características mecânicas, físicas e químicas.

Tabela 3.1 – Ensaio mecânicos [21]

Idade	Resistência mecânica (MPa)			
	Flexão		Compressão	
	Mensal	Anual	Mensal	Anual
2 dias	6,3	5,9	32,7	31,6
7 dias	7,5	7,4	44,8	44,1
28 dias	8,5	8,4	54,5	54,4

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Tabela 3.2 – Ensaio físicos [21]

		Mensal	Anual
Peso Específico (g/cm³)		3,05	3,05
Resíduo de Peneiração (%)	90 µm	5,50	4,70
	63 µm		
	45 µm		
	32 µm		
Superfície Específica de Blaine (cm²/g) [NP EN 196-6]		4634,00	4999,00
Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		28,20	27,80
Tempo de Presa (min) [NP EN 196-3]	Início	98,00	99,00
	Fim	13,00	131,00
Expansibilidade (mm) [NP EN 196-3]		0,60	0,60

Tabela 3.3 – Análise química [21]

			Mensal	Anual
Perda ao fogo	%	P.F.	7,64	7,38
Resíduo insolúvel	%	R.I.	1,18	1,34
Óxido de silício	%	SiO₂	16,36	17,56
Óxido de alumínio	%	Al₂O₃	4,40	4,00
Óxido de ferro	%	Fe₂O₃	2,81	3,03
Óxido de cálcio	%	CaO	60,84	60,95
Óxido de magnésio	%	MgO	0,95	1,35
Sulfatos	%	SO₃	2,69	2,92
Cloretos	%	Cl⁻	0,09	0,06
Cal livre	%		1,89	1,24

3. MATERIAIS E MÉTODOS

CEM I 42,5R

O cimento do CEM I consiste num cimento sem adições que praticamente só contém clínquer cujas principais características são as indicadas na tabela 3.4 – 3.6.

Tabela 3.4 – Ensaio mecânicos [22]

Idade	Resistência mecânica (MPa)	
	Flexão	Compressão
2 dias	6,17	30,99
7 dias	8,59	47,63
28 dias	9,78	59,46

Tabela 3.5 – Ensaio físicos [22]

Resíduo de Peneiração 45 µm (%)		3,63
Superfície Específica de Blaine (cm ² /g) [NP EN 196-6]		3928,00
Água na Pasta Normal (%) [NP EN 196-3]		28,67
Tempo de Presa (min) [NP EN 196-3]	Início	125,00
	Fim	171,00
Expansibilidade (mm) [NP EN 196-3]		0,46

Tabela 3.6 – Análise química [22]

Perda ao fogo	%	P.F.	2,70
Resíduo insolúvel	%	R.I.	0,73
Óxido de silício	%	SiO ₂	18,91
Óxido de alumínio	%	Al ₂ O ₃	4,51
Óxido de ferro	%	Fe ₂ O ₃	3,22
Óxido de cálcio	%	CaO	60,94
Óxido de magnésio	%	MgO	1,07
Sulfatos	%	SO ₃	2,78
Cal livre	%		1,22

3.1.2. Agregados

Em termos de agregados, na parte experimental desta dissertação foram usados quatro tipos de agregado: brita 2; brita 1; areia grossa; areia fina.

Para a composição do betão de base utilizaram-se as brita 2, brita 1 e a areia fina. Para a elaboração dos endurecedores utilizaram-se a areia grossa e a areia fina.

Brita 2

A brita 2 tem as dimensões das partículas compreendidas entre os 19 mm e os 6,30 mm, com uma massa volúmica de 2680 kg/m³ e um módulo de finura de 7,22 [23].



Figura 3.1 – Brita 2

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da brita 2 (gráfico 3.1). Em abcissas encontra-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

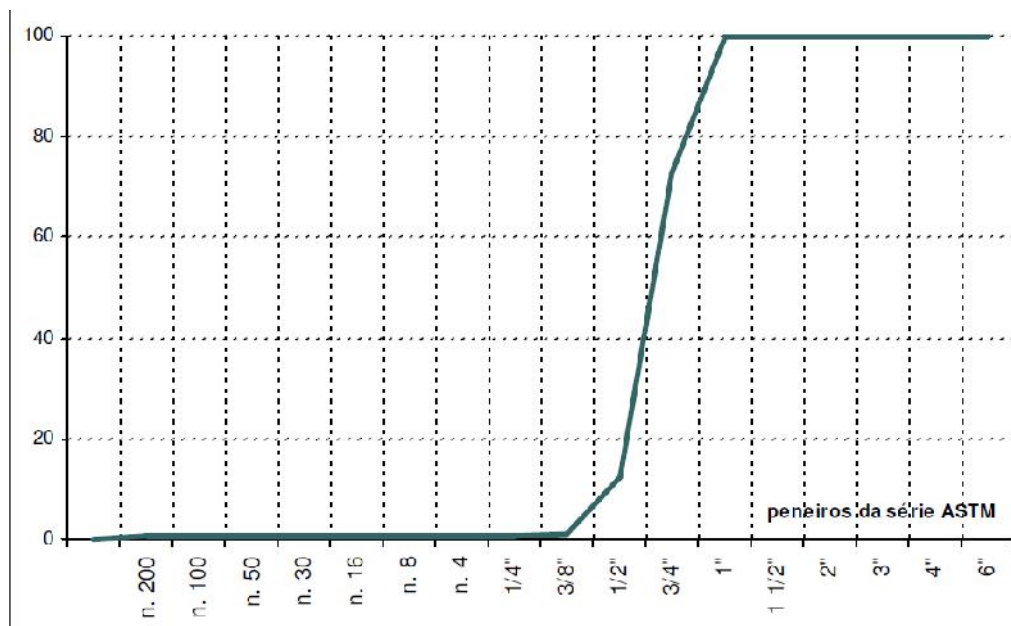


Gráfico 3.1 – Curva granulométrica da brita 2 [23]

A brita 2 possui uma taxa de absorção de água de 0,60% e um teor de humidade de 0,23%.

Brita 1

A brita 1 tem as dimensões das partículas compreendidas entre os 12,5 mm e os 2,36 mm, com uma massa volúmica de 2650 kg/m³ e um módulo de finura de 6,35 [24].



Figura 3.2 – Brita 1

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da brita 1 (gráfico 3.2). Em abcissas encontra-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

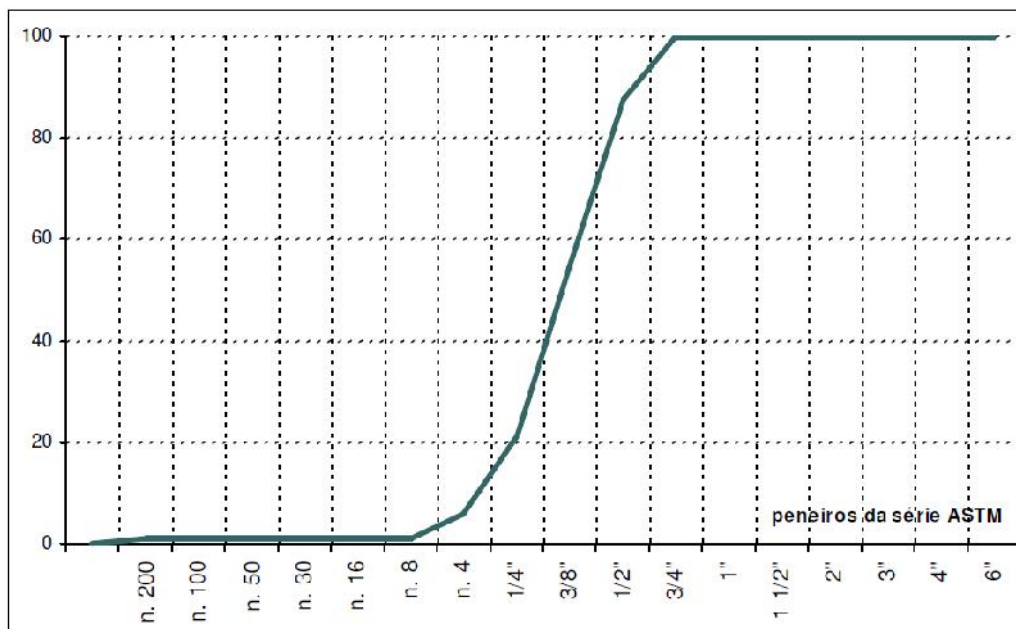


Gráfico 3.2 – Curva granulométrica da brita 1 [24]

A brita 1 possui uma taxa de absorção de água de 0,60% e um teor de humidade de 0,28%.

Areia grossa

A areia grossa tem as dimensões das partículas compreendidas entre os 4,75 mm e os 0,075 mm, com uma massa volúmica de 2620 kg/m³ e um módulo de finura de 2,76 [25].

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da areia grossa (gráfico 3.3). Em abcissas encontra-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

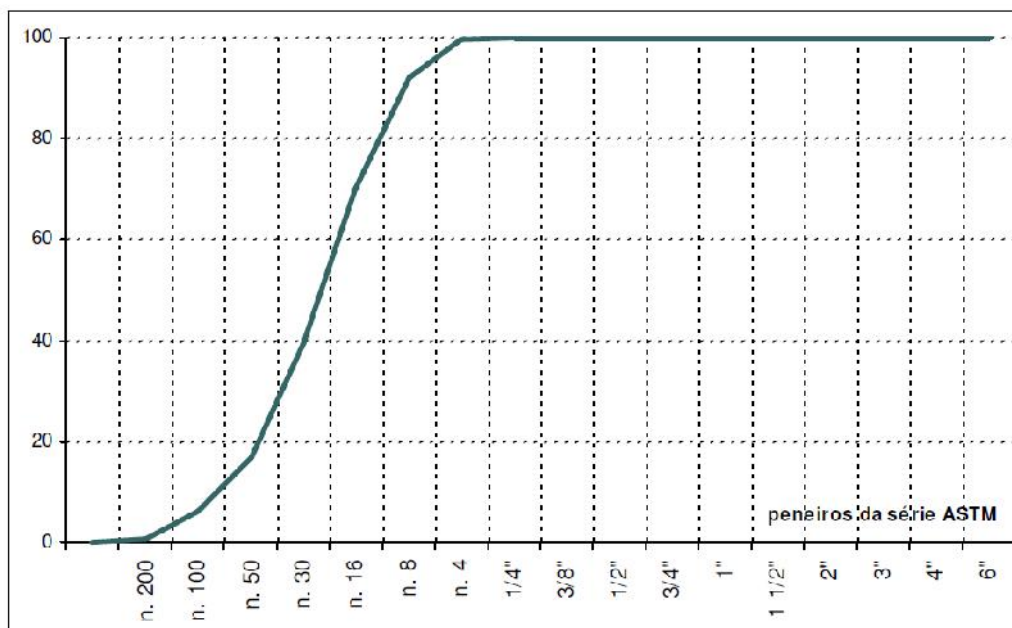


Gráfico 3.3 – Curva granulométrica da areia grossa [25]

A areia grossa possui uma taxa de absorção de água de 0,0 % e um teor de humidade de 0,14%.

Areia fina

A areia fina tem as dimensões das partículas compreendidas entre os 1,18 mm e os 0,075 mm, com uma massa volúmica de 2620 kg/m³ e um módulo de finura de 1,81 [26].



Figura 3.3 – Areia fina

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da areia fina (gráfico 3.4). Em abcissas encontra-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

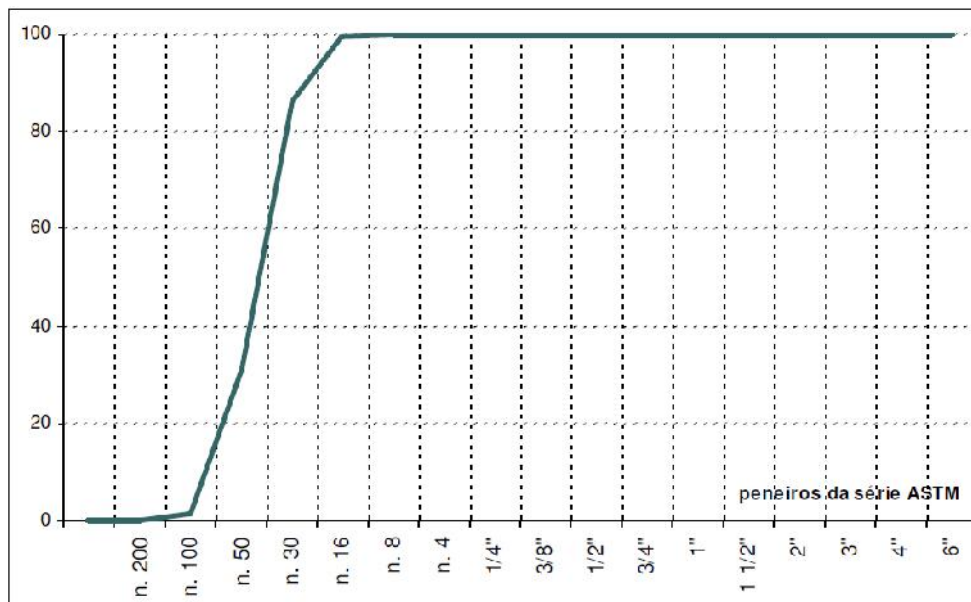


Gráfico 3.4- Análise granulométrica da areia fina [26]

A areia fina possui uma taxa de absorção de praticamente 0% e um teor de humidade de 0,11%.

3.1.3. Água

A água utilizada para a elaboração do betão de base e para a aplicação dos endurecedores é uma água canalizada existente no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Évora, localizado no Pólo da Mitra. A água utilizada está de acordo com a norma EN 1008:2003.

3.1.4. Adjuvantes

Adjuvante plastificante (P)

O P é um adjuvante polifuncional que está de acordo com a NP EN 934-2 [27], tendo como função principal ser plastificante e redutor de água. A massa volúmica do adjuvante é de 1180 kg/m³.

Este adjuvante é classificado pela norma NP EN 934 – 2 [27] como T2.

3. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 3.4 – Adjuvante P

Adjuvante superplastificante (SP)

O SP cumpre todos os requisitos da norma NP EN 934-2 [27], como superplastificante/forte redutor de água para betão. O adjuvante SP permite-nos obter uma plastificação e uma longa manutenção da consistência, aliadas a um desenvolvimento rápido das resistências mecânicas. A massa volúmica do adjuvante é de 1080 kg/m^3 .

Este adjuvante pertence à família dos policarboxilatos, sendo classificado pela norma NP EN 934 – 2 [27] como T3.1/3.2.



Figura 3.5 – Adjuvante SP

3.1.5. Adições

Tanto o fíler calcário como um Agente Expansivo foram utilizados para a composição dos endurecedores de superfície fabricados.

Fíler Calcário

O fíler calcário trata-se de um material finamente moído com uma finura bastante aproximada da finura do cimento Portland, composto principalmente por carbonato de cálcio.

O fíler calcário atribui certas melhorias em algumas propriedades físicas do betão, estas são: a melhoria da trabalhabilidade, da densidade, da permeabilidade, da capilaridade. O fíler calcário permitirá uma diminuição da exsudação.

A análise química ao fíler calcário foi elaborada no LNEC.

As suas características químicas são indicadas na tabela 3.7.

Tabela 3.7 – Composição química do fíler calcário

Óxido de cálcio	%	CaO	53,90
Óxido de magnésio	%	MgO	0,54
Óxido de ferro	%	Fe₂O₃	0,05
Óxido de silício	%	SiO₂	1,19
Óxido de alumínio	%	Al₂O₃	0,31
Óxido de titânio	%	TiO₂	0,02
Óxido de potássio	%	K₂O	0,03
Óxido de sódio	%	Na₂O	0,01
Perda ao Fogo	%	P.F.	43,70

No que diz respeito às características físicas, este fíler calcário apresenta um pH de 8,6, tem uma densidade aparente de 0,90 g/ml, a sua dureza é de 3 Mohs e tem uma massa volúmica de 2720 kg/m³. O fíler calcário é constituído por partículas muito finas, com superfície específica de blaine de 550 m²/kg.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Agente Expansivo

O Agente Expansivo é um pó de natureza inorgânica que funciona como um agente expansivo que contraria o efeito de retração existente nos betões.

É um clínquer especial, cozido a altas temperaturas, rico em cal livre e cujos componentes menores são silicatos de cálcio, aluminatos, ferro-aluminatos e sulfatos de cálcio.

A sua expansibilidade tem origem no contacto do Agente Expansivo com a água transformando assim o óxido de cálcio em hidróxido de cálcio. A temperatura de cozedura do Agente Expansivo, a distribuição granulométrica das suas partículas e sobretudo a presença de compostos menores a envolver o óxido de cálcio, permitem que a taxa de hidratação, e portanto o processo expansivo, seja devidamente regulado.

A quantidade de Agente Expansivo utilizado no fabrico do endurecedor foi considerada propositadamente elevada, de modo a se poder verificar o efeito da presença de um agente expansivo num endurecedor de superfície.

3.1.6. Endurecedor A

O Endurecedor A (EA) é um endurecedor já existente no mercado que é constituído por uma mistura homogénea de cristais de quartzo, de granulometria definida, aos quais é adicionado cimento Portland CEM I 42,5R [11].

Tabela 3.8 – Composição do endurecedor A

	Percentagem de material retido (%)
Crivos (mm)	EA
2	13
1	30
0,5	14
0,25	6
Finos + cimento	37

A determinação da perda ao fogo e resíduo insolúvel foi realizada no LNEC, de acordo com NP EN 196 – 2 (parte 7):2006 e NP EN 196 – 2 (parte 9):2006 [28], respetivamente. Na tabela 3.9 estão indicados os valores obtidos.

Tabela 3.9 – Análise química ao endurecedor EA

Perda ao fogo (%)	7,1
Resíduo insolúvel (%)	11,7

3.2. MÉTODOS

Esta dissertação tem como objetivo estudar a influência de diferentes composições de endurecedores na sua ligação a diferentes betões de base. O interesse de explorar este tema vem do facto de sucessivamente ocorrerem anomalias neste tipo de pavimentos, principalmente na estação do verão.

Assim sendo foram fabricados seis novos endurecedores de superfície para serem aplicados, em dois betões de base, em dois instantes diferentes de endurecimento do betão de base. Nos seguintes pontos estão descritos todos os procedimentos adotados.

3.2.1. Fabrico dos endurecedores de superfície

Para o fabrico dos endurecedores foi necessário peneirar a areia fina e grossa, de modo a se poder separar por dimensões.

Para a peneiração dos agregados foram usados um agitador mecânico, uma estufa e um excicador.



Figura 3.6 - Agitador mecânico



Figura 3.7 – Estufa



Figura 3.8 – Excicador

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A primeira fase do processo para a realização da separação granulométrica dos agregados utilizados, passa pela peneiração do mesmo, o qual consiste na colocação do agregado na estufa a 105°C durante 24 horas, de modo a ocorrer a perda da humidade presente no agregado, sendo que após estas 24 horas o agregado é retirado da estufa e colocado no excicador, podendo assim o agregado arrefecer sem ganhar outra vez a humidade perdida no processo de secagem. Após o arrefecimento do agregado, este é colocado no agitador mecânico, o qual contém os peneiros de 4 a 0,25 mm, sendo o agitador posto a funcionar durante 10 minutos. Posteriormente procede-se à pesagem do agregado retido em cada um dos peneiros. Na Figura 3.9 encontra-se um exemplo dessa separação por dimensões.



Figura 3.9 – Agregado separado por dimensões

Este processo de peneiração foi efetuado de acordo com a norma NP EN 933 – 1 [29] e foi realizado no Laboratório de Geociências da Universidade de Évora. A partir dos agregados separados por dimensões e do cimento Portland CEM I foram fabricados seis novos endurecedores de superfícies para serem aplicados em dois betões de base, em que:

- Endurecedor 1 (E1) – a partir dos nossos agregados e do CEM I foi feita uma réplica do EA (descrito em 3.1.6);
- Endurecedor 2 (E2) – foi aumentada a quantidade de ligante em relação ao E1;
- Endurecedor 3 (E3) – foi diminuída a quantidade de ligante em relação ao E1;
- Endurecedor 4 (E4) – 10% do ligante da composição E1 foi substituído por fíler calcário;
- Endurecedor 5 (E5) – 15% do ligante da composição E1 foi substituído por fíler calcário;
- Endurecedor 6 (E6) – 10% do ligante da composição do E1 foi substituído pelo Agente Expansivo

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Na tabela 3.10 apresenta-se as percentagens de cada dimensão de material utilizado em cada um dos endurecedores.

Tabela 3.10 – Composição dos endurecedores

Crivos (mm)	Percentagem de material retido (%)					
	E1	E2	E3	E4	E5	E6
2	13	11	15	13	13	13
1	28	25	31	28	28	28
0,5	13	10	16	13	13	13
0,25	6	4	8	6	6	6
Cimento Portland tipo I	40	50	30	30	25	30
Filer Cálcário	0	0	0	10	15	0
Agente Expansivo	0	0	0	0	0	10

3.2.2. Fabrico e colocação do betão de base

Cada um dos endurecedores de superfície foi aplicado em dois betões de base, Composição 1 (C1) e Composição 2 (C2), cujas composições foram as mesmas utilizadas em outras dissertações [30 – 32] e que dão continuidade a um projeto de investigação financiado pela FCT. Para o fabrico das composições C1 e C2 foram utilizados dois adjuvantes, o P e o SP. Na Tabela 3.11 estão indicadas as composições C1 e C2.

Tabela 3.11 – Dosagens utilizadas no fabrico dos dois betões de base

Dosagens (kg/m ³)	C1	C2
Brita 2	568	584
Brita 1	570	586
Areia Fina	747	768
Água	171	148
Cimento	348	358
Adjuvante P	2,8	-
Adjuvante SP	-	2,7

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Com base nos trabalhos anteriores de investigação [30 – 32] também ficou estabelecido que a classe de consistência devia ser S3 (segundo a NP EN 206-1 [33]), que é uma das mais utilizadas neste tipo de betões.

Para a realização dos ensaios laboratoriais desta dissertação foram utilizadas lajetas de 0,6x0,3x0,1 (m). Para o fabrico das mesmas foram realizadas umas cofragens em madeira com chapa metálica na base, de acordo com a Fig. 3.10.



Figura 3.10 – Moldes utilizados

Para o fabrico do betão de base foi utilizada uma betoneira (Fig. 3.11), sendo que o procedimento para a amassadura consistia em colocar primeiro os agregados mais grossos e ir posteriormente colocando os agregados mais finos depois do qual se adicionou o cimento, sendo que ao longo da colocação dos agregados e do cimento se foi adicionando uma ligeira quantidade de água. Após os agregados já estarem bem envolvidos pelo cimento e o cimento já estar hidratado procede-se então à colocação do adjuvante e da restante água.



Figura 3.11 - Betoneira

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a amassadura estar pronta, o betão é colocado num carrinho de mão, que em seguida se procede à execução do ensaio de abaixamento pelo Cone de Abrams para avaliação da consistência do betão.



Figura 3.12 – Cone de Abrams

A realização deste ensaio foi efetuado de acordo com a norma NP EN 12350-2 [34], em que foi determinado que a classe de abaixamento a cumprir por parte dos betões de base seria um S3, e portanto com um abaixamento entre os 100 e 150 mm. Esta classe é a habitual para este tipo de betões. Depois de verificado que o betão tinha uma consistência S3 procedeu-se então ao enchimento dos moldes.



Figura 3.13 – Ensaio de abaixamento pelo Cone de Abrams

3. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 3.14 – Medição do abaixamento

Depois de efetuado o enchimento dos moldes com o betão, procedeu-se à vibração do betão de base com o recurso a um vibrador de agulha (Fig. 3.15). Após a vibração procedeu-se ao alisamento da sua superfície.



Figura 3.15 – Vibrador de agulha

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Sendo que a maioria das anomalias têm surgido quando as temperaturas são altas e/ou existe vento, foi simulada esta situação em laboratório. As lajetas foram colocadas em túneis com dois termo-ventiladores numa das extremidades.

Após a realização de todos os procedimentos anteriores, as duas lajetas foram colocadas nos túneis, Fig. 3.16, sendo o túnel da esquerda o túnel 1 e o da direita o túnel 2. No interior dos túneis além das lajetas também foram colocadas duas tinas com água, uma no início e outra no fim de modo a determinara taxa de evaporação (ver ponto 3.2.4).



Figura 3.16 – Túneis

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Sempre que os túneis eram levantados para a realização do ensaio de resistência à penetração, as temperaturas no interior dos túneis também eram registadas.

Para que o endurecedor fosse aplicado no mesmo período de endurecimento do betão de base para todas as composições, ficou estabelecido que o endurecedor seria aplicado quando a resistência à penetração fosse 8,5 MPa e 8,5 MPa + 45min. Este ensaio é feito com base na norma ASTM C 803/C 803 M – 03 (2010) [35] e estabelece o método para a determinação da resistência à penetração. A partir do valor da resistência à penetração e com base na norma atrás mencionada é possível estimar o início e o fim de presa do betão. O processo de ensaio consiste na medição dos tempos decorridos entre o início da amassadura do betão e os instantes em que a sua argamassa obtida por peneiração atinge dois estados convencionais de endurecimento, caracterizados por determinados valores da resistência oferecida à penetração de agulhas normalizadas. O início de presa é definido como o instante em que a resistência à penetração atinge o valor de 3,5 MPa e o fim de presa o instante em que se atinge os 27,6 MPa. Os valores de aplicação do endurecedor de 8,5 MPa e 8,5 MPa + 45min foram estabelecidos com base em anteriores trabalhos de investigação [30 – 32]. O “tempo aberto” é o tempo disponível para a aplicação do endurecedor de modo a garantir uma boa aderência do endurecedor de superfície ao betão de base. Este “tempo aberto” varia em função do betão de base, do endurecedor e das condições climatéricas. Para as composições em estudo, foram efetuadas várias composições e verificou-se que a partir do instante 8,5 MPa era quando começavam a surgir a maioria dos problemas de aderência e por isso, foi o instante escolhido. Para o ensaio de resistência à penetração foi necessário peneirar o betão, crivando no peneiro de 4 mm. Sendo a amostra colocada nos moldes de dimensão 100x100x100 mm³. Houve a necessidade de peneirar o betão para retirar os agregados mais grossos e garantir apenas a presença da parte argamassada de maneira a evitar erros de medição.

A medição da resistência à penetração foi conseguida com o recurso a um penetrómetro (Fig. 3.17), sendo que este regista a força necessária para a penetração de uma agulha. Para a realização do ensaio foram utilizadas várias agulhas e à medida que o betão ia ganhando presa o diâmetro das agulhas ia diminuindo.

3. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 3.17 – Penetrómetro

Os moldes 100x100x100 mm³ também foram colocados no interior dos túneis de maneira a estivessem sujeitos às mesmas temperaturas e vento.

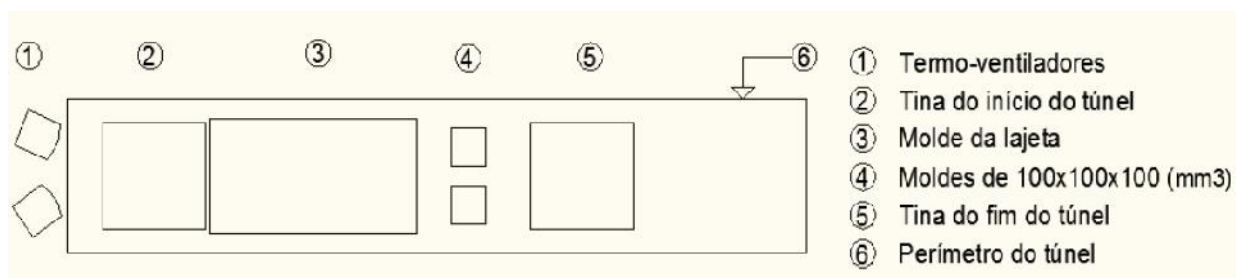


Figura 3.18 – Esquema do posicionamento no interior dos túneis

3.2.3. Aplicação e afagamento dos endurecedores de superfície

Para a aplicação do endurecedor, como mencionado anteriormente, foram considerados dois períodos a aplicação. A lajeta cuja aplicação do endurecedor de superfície ocorria aos 8,5 MPa de resistência à penetração foi colocada no túnel 2, e a outra lajeta colocada no túnel 1.

Como a aplicação dos endurecedores foi efetuada em períodos de hidratação do betão de base já elevados, houve a necessidade de pincelar a superfície do betão de base previamente à colocação do endurecedor, sendo que depois também foi necessário incorporar mais água. Esta quantidade de água foi registada. Isto foi feito de maneira a ajudar a ligação do betão de base com o endurecedor, já que o betão de base já não tinha muita água disponível. Esta mesma situação é feita em obra quando o endurecedor é aplicado em períodos mais tardios. A finalidade é sempre a de conseguir um acabamento o mais perfeito.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

A quantidade de endurecedor que foi aplicada em cada lajeta foi de 4 kg/m^2 , assim como, o endurecedor foi aplicado todo de uma vez. Uma vez que é esta metodologia adotada em obra, em laboratório foi aplicada a mesma metodologia.

O afagamento foi efetuado com recurso a uma talocha mecânica (Fig. 3.19), concebida em outros trabalhos de investigação [30 – 32].



Figura 3.19 – Talocha mecânica

O afagamento consistiu em passagens circulares e constantes até o endurecedor se apresentar liso e sem defeitos. O processo de afagamento, geralmente, ocorria sem muita dificuldade, sendo que quando esta dificuldade ocorria era necessário proceder à aplicação de água de modo a conseguir uma superfície o mais lisa possível do endurecedor de superfície.



Figura 3.20 – Afagamento

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Por fim, passa ao processo de cura. Em laboratório foi colocada uma película aderente na superfície das lajetas após a finalização de todos os trabalhos de afagamento, em vez do produto de cura. No dia seguinte foi retirada a película aquando da extração das lajetas dos túneis onde permaneceram durante 24 horas com os termo-ventiladores ligados.

3.2.4. Taxa de evaporação

Como foi explicado anteriormente, para o cálculo da taxa de evaporação foram usadas duas tinas em cada túnel, nomeadamente uma no início e outra no fim de cada túnel.

Nas tinas foi colocado um litro de água da torneira, sendo que no momento da aplicação do endurecedor, estas eram retiradas e efetuada a sua pesagem de modo a se poder calcular a água que se tinha evaporado.

Após a pesagem das tinas estas eram outra vez colocadas no seu local, sendo finalmente retiradas e pesadas no dia seguinte aquando da retirada das lajetas dos túneis.

3.2.5. Ensaio no betão em estado endurecido

Ensaio de resistência a compressão

Para a determinação da resistência à compressão foram utilizados dois tipos de provetes, os provetes cúbicos com 150 mm de aresta e provetes cilíndricos com 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura que foram retirados das lajetas. Quando foram feitas as amassaduras, parte da amassadura foi utilizada para o enchimento dos provetes cúbicos para serem ensaiados aos 3, 7 e 28 dias de idade. Para cada uma das idades foram utilizados três cubos.

Os ensaios descritos foram realizados de acordo com a norma NP EN 12390-2 [36].

Para a execução dos provetes cúbicos foi necessário em primeiro lugar verificar se os moldes estavam em conformidade com a NP EN 12390-1 [37], após este procedimento foi colocado o óleo descofrante nos moldes e procedeu-se ao enchimento dos mesmos. Posteriormente, os betões foram vibrados com a ajuda de um vibrador de agulha.

Então procede-se à remoção do excedente betão acima da altura do molde e procede-se ao alisamento da superfície.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após 24 horas depois do enchimento dos moldes procede-se à sua descofragem, e posteriormente à colocação dos provetes num tanque de cura com uma temperatura constante de 20°C e circulação de água, Fig. 3.21.



Figura 3.21 – Tanque de cura

Após a colocação dos provetes no tanque de cura, estes apenas foram retirados no dia do ensaio. Posteriormente foram ensaiados numa prensa Form+testPrufsysteme, modelo Alpha 3, Fig.3.22.



Figura 3.22 – Prensa

3. MATERIAIS E MÉTODOS

No caso dos provetes cilíndricos, estes foram retirados em primeiro lugar das lajetas através de uma caroteadora do modelo GOLZ KB110 (Fig. 3.23), uns dias antes dos 28 dias de idade. Posteriormente foram enviados para o LNEC, para se proceder à retificação da dimensão das carotes para a proporção de 1:1, de modo a poder ser realizado o ensaio de resistência à compressão, aos 28 dias. Para cada lajeta foram retirados dois cilindros.



Figura 3.23 – Caroteadora

Ensaio de pull-off

O ensaio de arrancamento por pull-off foi realizado de acordo com a norma EN 1542:1999 [38]. Em primeiro lugar foram feitos uns furos com cerca de 2 cm de profundidade e 50 mm de diâmetro com a caroteadora. Em cada lajeta foram realizados cinco furos. Sendo que para a realização dos furos foi necessário utilizar uma caroteadora, em que esta utiliza água para arrefecimento da broca, foi necessário esperar 24 horas para proceder à colagem das pastilhas de 50 mm de diâmetro. Antes da colagem das pastilhas é necessário limpar a superfície do betão com acetona, de maneira a garantir que não ficam resíduos de pó e que vai haver uma boa união entre a cola e o betão de base. Na Fig. 3.24 aparece uma das lajetas com as pastilhas já coladas.

3. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 3.24 – Colagem das pastilhas

Após a colagem das pastilhas procedeu-se à realização do ensaio de pull-off. Para a realização do ensaio foi utilizado um equipamento da marca Dyna, modelo Z16 Proceq, Fig.3.25. Ficou estabelecido que o ensaio de arrancamento seria efetuado aos 7 dias de idade da lajeta. Este período foi escolhido porque já é possível avaliar a boa ou má ligação entre o endurecedor de superfície e o betão de base, não havendo a necessidade de esperar mais tempo.



Figura 3.25 – Equipamento de ensaio de pull-off

Existem três tipos de ruturas mais usuais, são estas: a rutura pelo betão, rutura pelo endurecedor e a rutura pela cola. Mas por vezes podem ocorrer as chamadas ruturas mistas, ou seja, no mesmo ensaio ocorre rutura por dois locais, por exemplo uma rutura pelo betão e pelo endurecedor. Na Fig. 3.26 está uma ilustração dos diferentes tipos de rutura.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

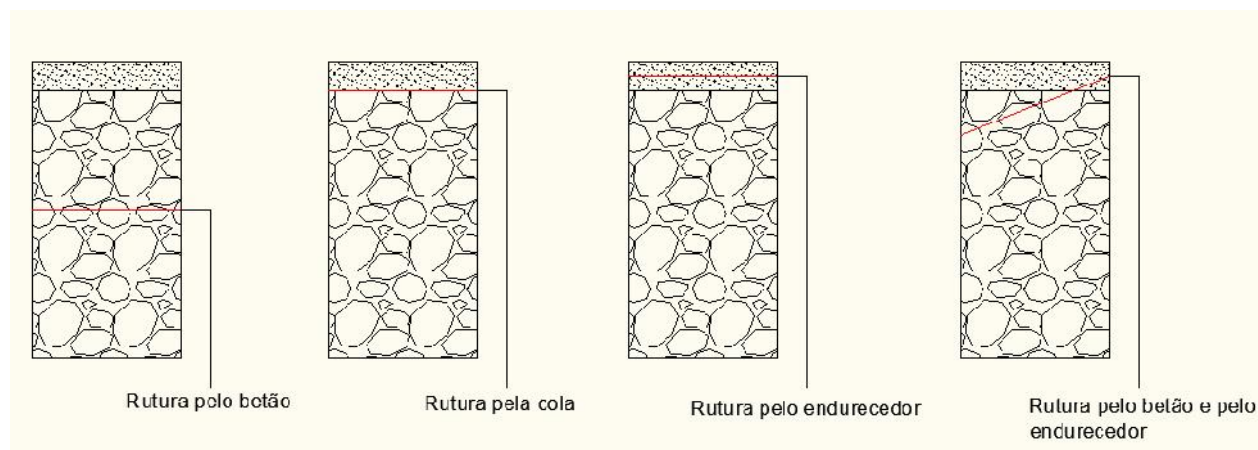


Figura 3.26 – Esquema dos diferentes tipos de rutura

A rutura pelo betão significa que houve uma boa ligação entre o endurecedor de superfície e o betão de base. A rutura pelo endurecedor é observado o oposto da rutura pelo betão, ou seja, o endurecedor não aderiu corretamente ao betão de base e como é a zona mais frágil o arrancamento vai ocorrer nessa zona. A rutura pela cola pode ocorrer quando a colagem das pastilhas não foi efetuada corretamente.

Determinação do índice esclerométrico

A determinação do índice esclerométrico é conseguida com a utilização de um esclerómetro (Fig. 3.27), sendo que o princípio usado neste equipamento consiste num martelo preso a uma mola em tensão, que quando largado embate num percutor em contacto com a superfície de betão. Assim o índice esclerométrico consiste na distância entre o percutor e o martelo após a repercussão, sendo esta medida numa escala linear instalada no corpo do equipamento.

Para a execução do ensaio foi necessário manter o esclerómetro firmemente e perpendicularmente à superfície a ensaiar, neste caso as lajetas elaboradas em laboratório. Após a colocação perpendicular do esclerómetro pressiona-se o esclerómetro contra a lajeta até o embate da massa no percutor e assim ouve-se um impacto, depois procede-se a leitura do índice esclerométrico. Este ensaio foi realizado ao 7^o dia de idade da lajeta e foi efetuado de acordo com a norma NP EN 12504-2 [39].

3. MATERIAIS E MÉTODOS



Figura 3.27 – Esclerómetro

Foram efetuadas nove leituras para cada uma das lajetas tendo o cuidado de cada ensaio estar afastado das margens e dos outros ensaios a mais de 2,5 cm.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

No presente capítulo apresentam-se os resultados obtidos, assim como, a análise dos mesmos.

4.1. Taxa de evaporação

Com os resultados das taxas de evaporação de todos os ensaios foi possível ter uma estimativa da água disponível antes da aplicação do endurecedor, sendo estes resultados apresentados na Tabela 4.1. Nesta mesma Tabela encontra-se também a água adicionada com o endurecedor.

Tabela 4.1 – Água disponível

			Água da amassadura (L/m ²)	Água evaporada (L/m ²)	Água disponível (L/m ²)	Água adicionada (L/m ²)
E1	C1	8,5 MPa	17,1	6,5	10,6	1,2
		8,5 MPa+45min	17,1	7,2	9,9	1,5
	C2	8,5 MPa	14,8	6,2	8,6	1,2
		8,5 MPa+45min	14,8	8,0	6,8	1,4
E2	C1	8,5 MPa	17,1	5,4	11,7	1,1
		8,5 MPa+45min	17,1	7,0	10,1	1,2
	C2	8,5 MPa	14,8	8,1	6,7	1,5
		8,5 MPa+45min	14,8	7,8	7,0	1,4
E3	C1	8,5 MPa	17,1	5,9	11,2	1,4
		8,5 MPa+45min	17,1	7,9	9,2	1,7
	C2	8,5 MPa	14,8	6,1	8,7	1,7
		8,5 MPa+45min	14,8	5,9	8,9	1,5
E4	C1	8,5 MPa	17,1	5,4	11,7	1,7
		8,5 MPa+45min	17,1	6,8	10,3	1,7
	C2	8,5 MPa	14,8	3,7	11,1	1,7
		8,5 MPa+45min	14,8	4,4	10,4	1,6
E5	C1	8,5 MPa	17,1	2,9	14,2	1,8
		8,5 MPa+45min	17,1	4,0	13,1	1,7
	C2	8,5 MPa	14,8	3,4	11,4	1,8
		8,5 MPa+45min	14,8	5,2	9,6	1,8
E6	C1	8,5 MPa	17,1	5,5	11,6	1,5
		8,5 MPa+45min	17,1	7,7	9,4	1,5
	C2	8,5 MPa	14,8	5,8	9,0	1,4
		8,5 MPa+45min	14,8	7,8	7,0	1,1
EA	C1	8,5 MPa	17,1	6,4	10,7	1,6
		8,5 MPa+45min	17,1	7,6	9,5	1,8
	C2	8,5 MPa	14,8	6,6	8,2	1,0
		8,5 MPa+45min	14,8	8,2	6,6	1,5

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao analisar a Tabela 4.1 verifica-se que ao aplicar o endurecedor no instante 8,5 MPa de resistência à penetração este possui mais água disponível, este facto verifica-se para a maioria dos ensaios realizados, exceto no caso dos ensaios C2E2 e C2E3. Como já seria de esperar, nos ensaios em que o instante de aplicação do endurecedor foi aos 8,5 MPa de resistência à penetração a água disponível é mais elevada do que no instante 8,5 MPa + 45 minutos, pois esteve menos tempo exposto a altas temperaturas e ao vento.

O facto de o betão com a composição C1 possuir mais água disponível antes da aplicação do endurecedor não era o resultado esperado pois este betão demora mais tempo a atingir presa e consequentemente está mais tempo exposto a altas temperaturas e ao vento. No entanto verifica-se que este betão possui mais água de amassadura sendo esta a causa deste resultado.

4.2. Resistência à penetração

No Gráfico 4.1 apresenta-se a evolução das resistências à penetração para as duas composições de betão e para os dois túneis de ventilação.

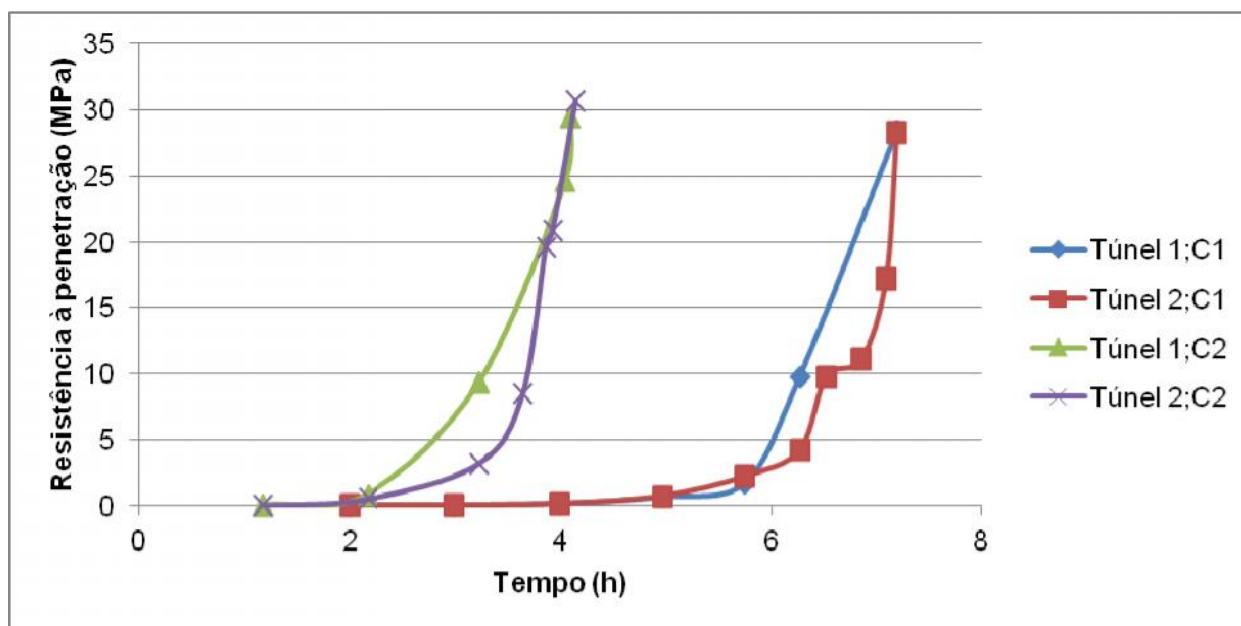


Gráfico 4.1 – Evolução das resistências à penetração

Através do Gráfico 4.1 pode-se observar que a composição C2 ganha resistência mais rapidamente, pelo que existe um menor “tempo aberto” para a colocação do endurecedor.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Ao analisar o Gráfico 4.1 e a Tabela 4.1 verifica-se que os betões de base com a composição C1 são os que apresentam ter mais água disponível antes da aplicação do endurecedor. Isto pode dever-se ao facto da composição C2 apresentar uma redução de água de amassadura bastante elevada, facto este devido ao adjuvante utilizado no fabrico desta composição (forte redutor de água). Por sua vez, a composição C1 demora mais tempo a atingir o instante 8,5 MPa, ou seja, vai estar mais tempo exposto a altas temperaturas e ao vento.

Sendo o adjuvante utilizado para o fabrico do betão com a composição C2, um adjuvante superplastificante/forte redutor de água já seria de esperar que o seu tempo até atingir os 8,5 MPa de resistência à penetração fosse menor do que para o betão com a composição C1, em que nesta se utiliza um adjuvante plastificante/redutor de água.

4.3. Ensaio de pull-off

Na Tabela 4.2 estão indicadas as resistências ao arrancamento por pull-off assim como o tipo de rutura observada em cada uma das lajetas. Na Tabela 4.2, a verde estão indicadas as ruturas pelo betão, a amarelo as ruturas simultâneas pelo endurecedor e betão e a vermelho as ruturas pelo endurecedor.

Para todos os endurecedores de superfície aplicados verifica-se que existem melhores resultados quando os endurecedores são aplicados aquando do instante 8,5 MPa de resistência à penetração. Assim, pode-se dizer que os 45 minutos além dos 8,5 MPa de resistência à penetração já é um instante demasiado tardio para a aplicação do endurecedor de superfície. Nesta fase (+45 min.) o betão já se encontra demasiado rígido e não dispõe de água suficiente que permita uma adequada ligação. Este facto ocorre devido a que as lajetas em que o endurecedor é aplicado aos 8,5 MPa de resistência à penetração estão mais tempo expostos a altas temperaturas e ao vento, reduzindo a água disponível para a aplicação do endurecedor.

A combinação endurecedor/composição que possui melhores resultados em termos de pull-off é a composição E3C1, para o instante 8,5 MPa. A composição E1C1 também obteve bons resultados, no entanto, não garante um resultado totalmente satisfatório, já que uma das amostras rompeu pelo endurecedor. De certa maneira o mesmo aconteceu com a amostra E6C1, que teve uma rutura pelo endurecedor/betão. Verifica-se também que nas composições E1C1 e E6C1 a rutura não satisfatória foi a que estava mais próxima dos termo-ventiladores, o que se justifica pela maior temperatura a que estavam sujeitos e conseqüentemente maior evaporação de água, dificultando assim, a ligação endurecedor/betão.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Tabela 4.2 – Resultados obtidos pelo pull-off

Ensaio nº			1	2	3	4	5	
E1	C1	8,5 MPa	MPa	1.07	2.72	2.21	2.60	2.14
			Rutura	E	B	B	B	B
	8,5 MPa + 45 min	MPa	1.64	2.34	2.65	1.81	2.40	
		Rutura	E	B	B	E	B	
	C2	8,5 MPa	MPa	1.40	1.33	0.53	2.43	2.51
			Rutura	E	E	E	E	E
8,5 MPa + 45 min		MPa	1.32	0.44	1.08	1.45	1.65	
		Rutura	E	E	E	E	E	
E2	C1	8,5 MPa	MPa	2.89	1.74	3.14	2.11	3.18
			Rutura	B	B	E e B	B	E e B
	8,5 MPa + 45 min	MPa	1.81	0.56	2.63	1.47	0.62	
		Rutura	E	E	E	E e B	E	
	C2	8,5 MPa	MPa	1.80	1.28	0.38	1.00	2.59
			Rutura	E e B	E e B	E e B	E e B	B
8,5 MPa + 45 min		MPa	0.69	0.69	0.98	1.35	1.53	
		Rutura	E	E	E	E	E	
E3	C1	8,5 MPa	MPa	2.21	1.69	2.58	2.76	1.97
			Rutura	B	B	B	B	B
	8,5 MPa + 45 min	MPa	2.50	2.01	1.24	1.05	2.22	
		Rutura	E	B	E e B	E e B	B	
	C2	8,5 MPa	MPa	1.00	2.18	3.03	2.03	3.00
			Rutura	E e B	E e B	B	B	E e B
8,5 MPa + 45 min		MPa	1.44	1.62	1.32	0.63	2.75	
		Rutura	E	E	E	E	E	
E4	C1	8,5 MPa	MPa	0.33	0.21	0.50	1.05	1.03
			Rutura	E	E	E	E	E
	8,5 MPa + 45 min	MPa	0.70	0.15	1.31	0.67	1.71	
		Rutura	E	E	E	E	E	
	C2	8,5 MPa	MPa	1.94	2.16	2.38	2.05	2.27
			Rutura	E	E e B	E e B	E e B	B
8,5 MPa + 45 min		MPa	1.71	0.69	2.34	1.96	2.62	
		Rutura	E	E	E e B	E e B	E	
E5	C1	8,5 MPa	MPa	1.27	1.43	0.15	0.29	1.40
			Rutura	E	E	E	E	E
	8,5 MPa + 45 min	MPa	1.69	2.58	1.20	0.00	0.12	
		Rutura	E	E	E	E	E	
	C2	8,5 MPa	MPa	3.37	2.87	3.08	2.65	2.60
			Rutura	E e B	B	B	B	B
8,5 MPa + 45 min		MPa	2.09	2.68	1.64	2.41	3.16	
		Rutura	E	E e B	E	B	E	
E6	C1	8,5 MPa	MPa	1.56	1.56	2.40	1.49	2.85
			Rutura	E	B	B	B	E
	8,5 MPa + 45 min	MPa	1.73	1.85	1.91	2.25	2.13	
		Rutura	E	E	B	E e B	B	
	C2	8,5 MPa	MPa	0.98	2.18	2.54	2.64	3.49
			Rutura	E	E	E e B	B	E e B
8,5 MPa + 45 min		MPa	0.75	0.31	1.48	1.28	1.91	
		Rutura	E	E	E	E	E	
EA	C1	8,5 MPa	MPa	2.00	1.93	0.35	2.55	2.15
			Rutura	B	E e B	E	E e B	B
	8,5 MPa + 45 min	MPa	2.69	1.74	0.19	2.00	2.43	
		Rutura	E	B	E	B	B	
	C2	8,5 MPa	MPa	1.88	2.20	2.75	2.88	2.94
			Rutura	E	E	E	B	E
8,5 MPa + 45 min		MPa	1.27	1.00	1.23	2.36	2.32	
		Rutura	E	E	E	B	E	

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Sendo o E1 elaborado a partir da granulometria do EA, foi efetuada uma análise comparativa entre ambos. Na Tabela 4.3 apresentam-se as percentagens de cada tipo de rutura obtida no ensaio de pull-off.

Tabela 4.3 – Percentagens obtidas pelo tipo de ruturas para o EA e E1

			EA (%)	E1 (%)
C1	8,5 MPa	Rutura pelo Betão	40	80
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	40	0
		Rutura pelo Endurecedor	20	20
	8,5 MPa + 45 min	Rutura pelo Betão	60	60
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	40	0
		Rutura pelo Endurecedor	0	40
C2	8,5 MPa	Rutura pelo Betão	20	0
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	0	0
		Rutura pelo Endurecedor	80	100
	8,5 MPa + 45 min	Rutura pelo Betão	20	0
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	0	0
		Rutura pelo Endurecedor	80	100

Ao analisar a Tabela 4.3 verifica-se que os resultados não são idênticos, nomeadamente a composição E1 obteve melhores resultados (mais ruturas pelo betão) que a EA, o que não deveria ter acontecido. Na Tabela 3.9 foram apresentadas as % de perda ao fogo e resíduo insolúvel, nas quais se verifica que o valor de perda ao fogo é demasiado elevado, levando a crer que o ligante utilizado não é um CEM I, mas sim um CEM II/A – L. Convém referir que o CEM I é constituído praticamente só por clínquer e que o CEM II/A – L além de clínquer contém também uma percentagem de calcário. Se o ligante do EA é o CEM II/A – L, então a composição EA é mais parecida com a composição E4 e não com a E1. Na Tabela 4.4 apresentam-se as percentagens de cada tipo de rutura obtida no ensaio de pull-off para o EA, o E4 e o E5.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Tabela 4.4 – Percentagens obtidas pelo tipo de ruturas para o EA, E4 e E5

			EA (%)	E4 (%)	E5 (%)
C1	8,5 MPa	Rutura pelo Betão	40	0	0
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	40	0	0
		Rutura pelo Endurecedor	20	100	100
	8,5 MPa + 45 min	Rutura pelo Betão	60	0	0
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	40	0	0
		Rutura pelo Endurecedor	0	100	100
C2	8,5 MPa	Rutura pelo Betão	20	20	80
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	0	60	20
		Rutura pelo Endurecedor	80	20	0
	8,5 MPa + 45 min	Rutura pelo Betão	20	0	20
		Rutura pelo Endurecedor e Betão	0	40	20
		Rutura pelo Endurecedor	80	60	60

Após a análise comparativa entre os resultados apresentados pela composição EA e a E4 verifica-se que a composição EA apresenta melhores resultados que a composição E4, sendo que isto apenas se verifica no caso da composição C1, pois para a composição C2 o endurecedor E4 apresenta melhores resultados. Relativamente à comparação dos resultados apresentados pelo endurecedor EA e o E5, verifica-se que para a composição C1, o endurecedor E5 apresenta maus resultados tal como o E4 apresentava (100% das ruturas pelo endurecedor), mas no entanto o E5 apresenta uma melhoria, no caso da composição C2, sendo que apresenta resultados mais semelhantes aos apresentados pelo EA. Tendo em conta os resultados da percentagem de perda ao fogo do endurecedor EA, pode-se dizer que o ligante utilizado na sua composição possivelmente não é um CEM I e que poderá incluir adições. Assim sendo, o ligante presente no endurecedor EA poderá estar mais próximo dos endurecedores E4 e E5.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Para uma situação em que a água disponível por parte do betão de base é menor, os endurecedores com fíler calcário na sua composição têm um melhor comportamento do que endurecedores apenas com cimento como ligante, sendo que necessitam de mais água durante o processo de afagamento.

Nas Figuras 4.1 – 4.24 aparecem as fotografias com as ruturas obtidas em cada uma das composições.



Figura 4.1 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E1 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.2 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E1 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

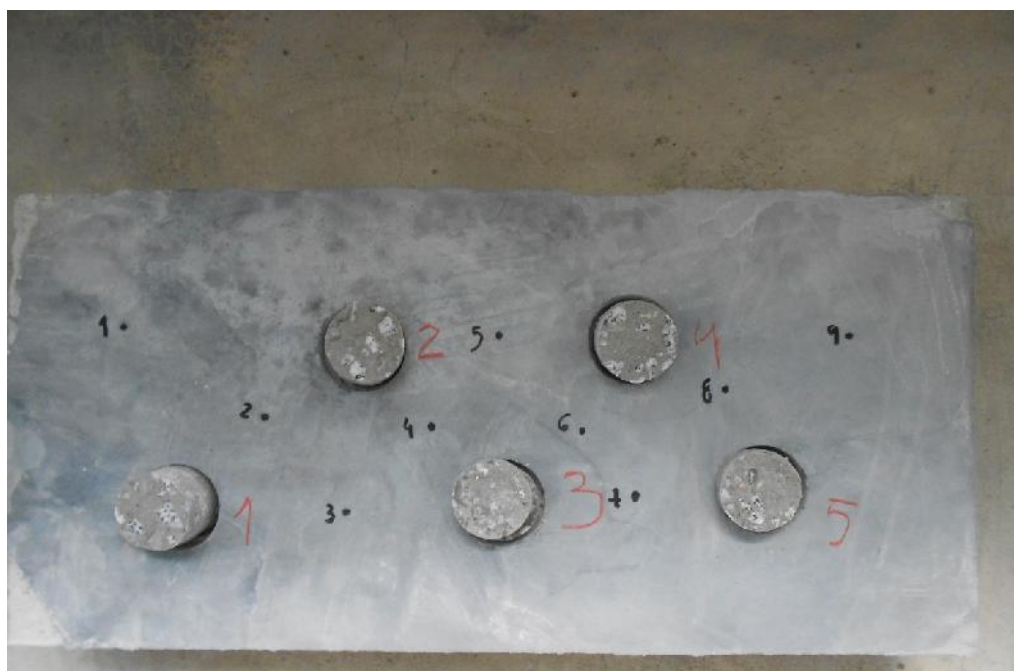


Figura 4.3 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E2 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.4 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E2 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.5 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E3 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.6 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1 E3 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.7 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E4 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.8 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E4 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.9 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E5 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.10 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E5 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

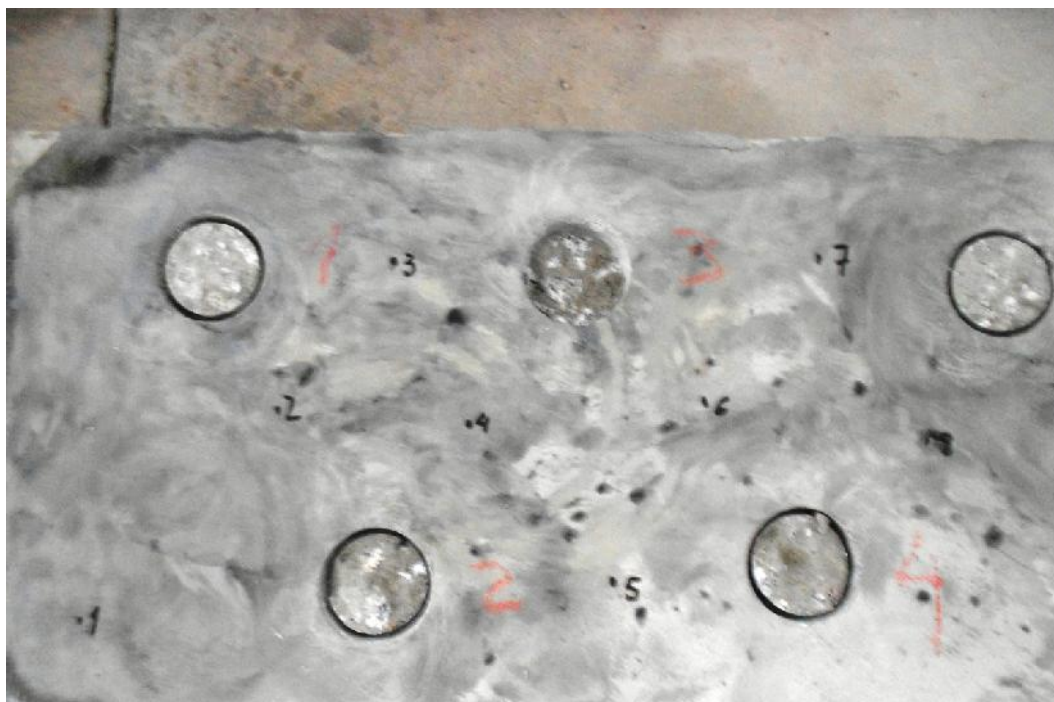


Figura 4.11 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E6 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.12 – Ruturas apresentadas pela lajeta C1E6 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.13 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E1 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.14 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E1 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.15 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E2 aos 8,5 MPa de resistência à penetração

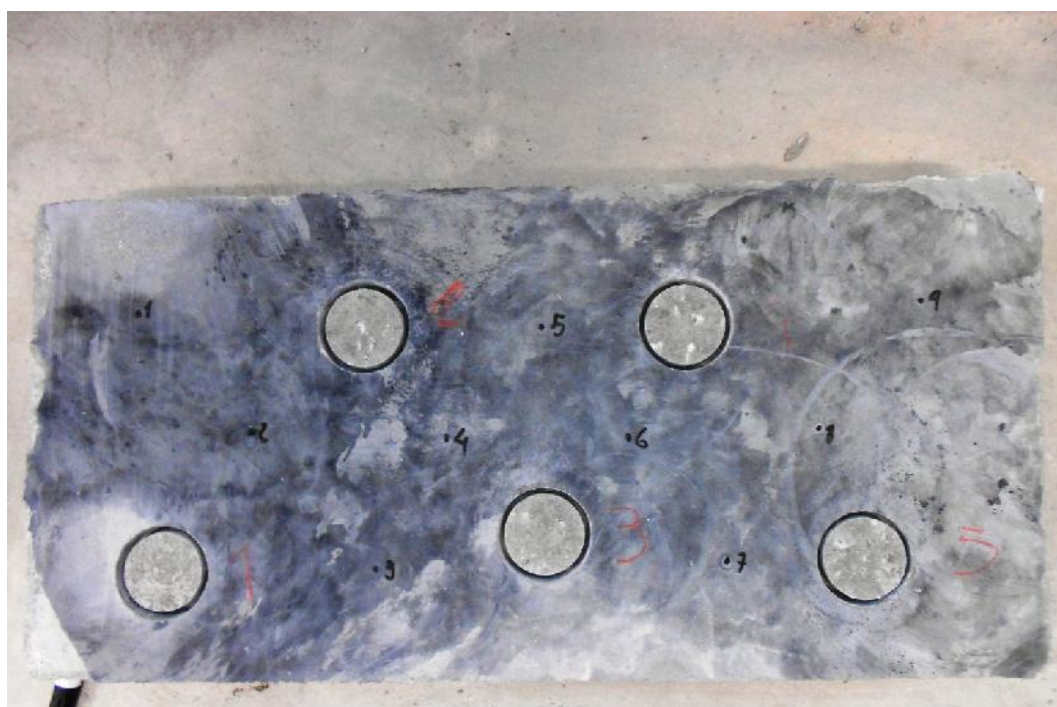


Figura 4.16 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E2 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.17 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E3 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.18 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E3 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

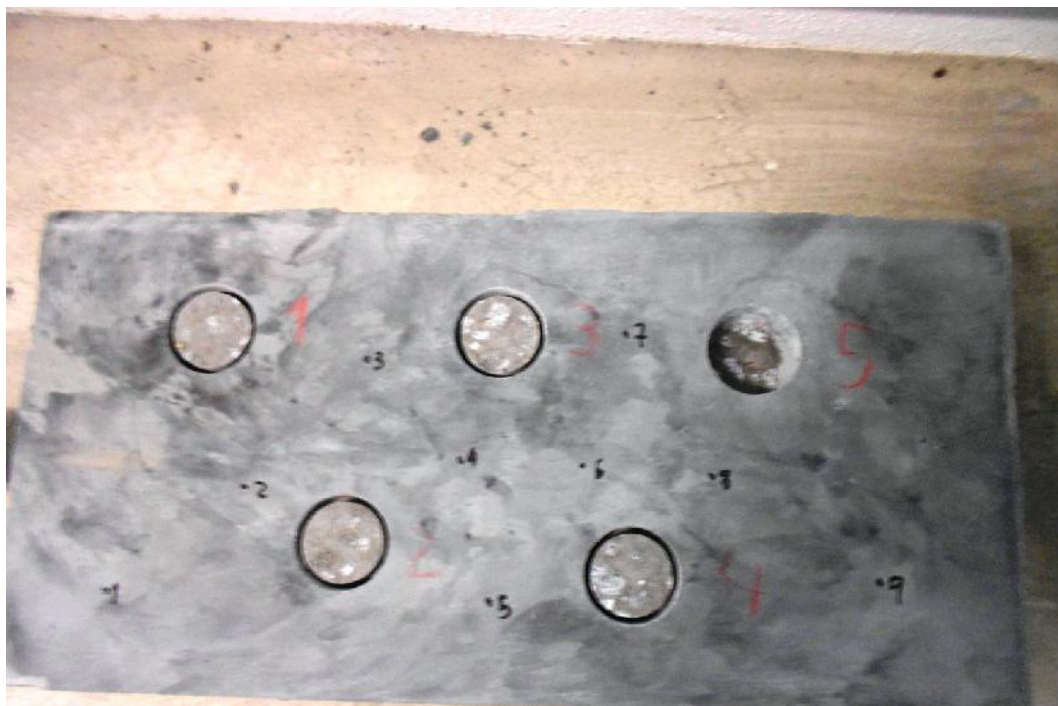


Figura 4.19 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E4 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.20 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E4 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.21 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E5 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.22 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E5 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.23 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E6 aos 8,5 MPa de resistência à penetração



Figura 4.24 – Ruturas apresentadas pela lajeta C2E6 aos 8,5 MPa+45 min de resistência à penetração

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Todas as lajetas apresentavam o endurecedor com um acabamento liso, sendo a exceção os cantos de cada uma das lajetas. Devido à cofragem este local foi o de pior acesso para a execução do afagamento, ficando estas zonas mais rugosas e conseqüentemente não foram aproveitadas para análise.

4.4. Ensaio esclerométrico

Em seguida apresenta-se os resultados obtidos através do ensaio realizado para a determinação da resistência à compressão superficial, assim sendo na Tabela 4.5 apresenta-se os resultados do ensaio do índice esclerométrico

Dos resultados indicados na Tabela seguinte, somente não foram considerados aqueles cujas leituras diferem da mediana em mais de 30 %, estando assinalados a vermelho no quadro.

O facto de este ensaio dar resultados muito diferentes reflete que a distribuição da camada superficial não é muito homogénea.

Com recurso apenas à média dos valores apresentados pelo ensaio do índice esclerométrico verifica-se que os resultados mais altos são os apresentados pelo túnel 2. Pode-se ainda verificar que os endurecedores com adições na sua composição (E4, E5 e E6) apresentam valores mais baixos, sendo os endurecedores compostos apenas por cimento mais resistentes superficialmente. Estes resultados eram os resultados esperados pois os endurecedores sem adições são endurecedores com maior resistência do que os endurecedores com adições.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Tabela 4.5 – Resultados obtidos através do índice esclerométrico (MPa)

			1	2	3	4	5	6	7	8	9	Média
E1	C1	8,5 MPa	28,0	45,0	31,5	47,0	33,0	43,5	50,5	45,0	30,0	44,0
		8,5 MPa+45min	28,0	38,0	28,0	38,0	31,5	33,0	34,0	36,0	31,5	33,1
	C2	8,5 MPa	30,0	38,0	36,0	38,0	36,0	36,0	38,0	43,0	31,5	36,3
		8,5 MPa+45min	28,0	52,0	40,0	48,0	36,0	40,0	62,5	-	30,0	38,8
E2	C1	8,5 MPa	52,0	62,0	56,0	41,0	34,0	45,0	41,0	34,5	38,0	40,8
		8,5 MPa+45min	27,0	33,0	33,5	32,0	38,0	45,0	38,0	38,0	28,0	33,4
	C2	8,5 MPa	54,0	43,0	48,0	34,0	34,0	34,5	31,5	56,0	31,5	34,8
		8,5 MPa+45min	25,0	36,0	31,5	41,0	33,0	33,5	34,5	36,0	30,0	33,4
E3	C1	8,5 MPa	29,0	38,0	32,0	38,0	36,0	50,5	64,0	33,0	47,0	36,1
		8,5 MPa+45min	30,0	34,0	30,0	38,0	41,0	52,0	40,0	48,5	38,0	37,4
	C2	8,5 MPa	34,0	38,0	48,0	40,0	39,0	31,5	38,0	54,0	28,0	38,4
		8,5 MPa+45min	25,0	38,0	30,0	34,5	33,5	34,5	34,0	37,0	29,0	32,8
E4	C1	8,5 MPa	28,0	40,0	38,0	38,0	25,0	34,0	34,0	34,0	30,0	33,4
		8,5 MPa+45min	27,0	43,0	34,0	40,0	31,5	38,0	31,5	31,5	31,5	33,1
	C2	8,5 MPa	29,0	42,0	36,0	38,0	33,0	34,5	42,0	34,5	30,0	35,4
		8,5 MPa+45min	28,0	37,0	33,5	34,0	34,0	36,0	34,0	34,0	28,0	33,2
E5	C1	8,5 MPa	33,0	30,0	34,5	36,0	25,0	34,0	34,0	36,0	25,0	31,9
		8,5 MPa+45min	25,0	33,5	36,0	41,0	40,0	40,0	36,0	38,0	33,0	37,2
	C2	8,5 MPa	27,0	37,0	33,5	48,0	36,0	39,0	33,5	38,0	29,0	35,7
		8,5 MPa+45min	27,5	34,0	42,0	40,0	33,0	34,5	37,0	37,0	28,0	34,8
E6	C1	8,5 MPa	34,0	31,5	64,0	50,5	42,0	38,0	32,0	52,0	34,0	35,3
		8,5 MPa+45min	30,0	36,0	54,0	41,0	62,5	44,0	34,0	34,5	30,5	35,7
	C2	8,5 MPa	26,0	57,0	34,5	40,0	39,0	38,0	33,0	45,0	31,0	37,2
		8,5 MPa+45min	30,0	44,0	34,0	38,0	33,0	43,0	34,0	36,0	30,0	35,8
EA	C1	8,5 MPa	30,0	40,5	31,0	47,0	39,5	48,5	31,0	58,0	41,0	38,6
		8,5 MPa+45min	30,0	41,0	31,0	33,0	39,0	47,0	38,0	36,0	31,0	34,9
	C2	8,5 MPa	36,0	49,5	38,0	52,0	34,0	48,0	46,5	67,0	38,0	42,8
		8,5 MPa+45min	31,0	38,0	34,0	39,5	36,0	38,0	33,0	36,0	31,0	35,2

4.5. Resistência à compressão

Em seguida apresenta-se um gráfico com a evolução das resistências à compressão dos provetes cúbicos e também a resistência à compressão aos 28 dias de idade dos provetes cilíndricos (Gráfico 4.2).

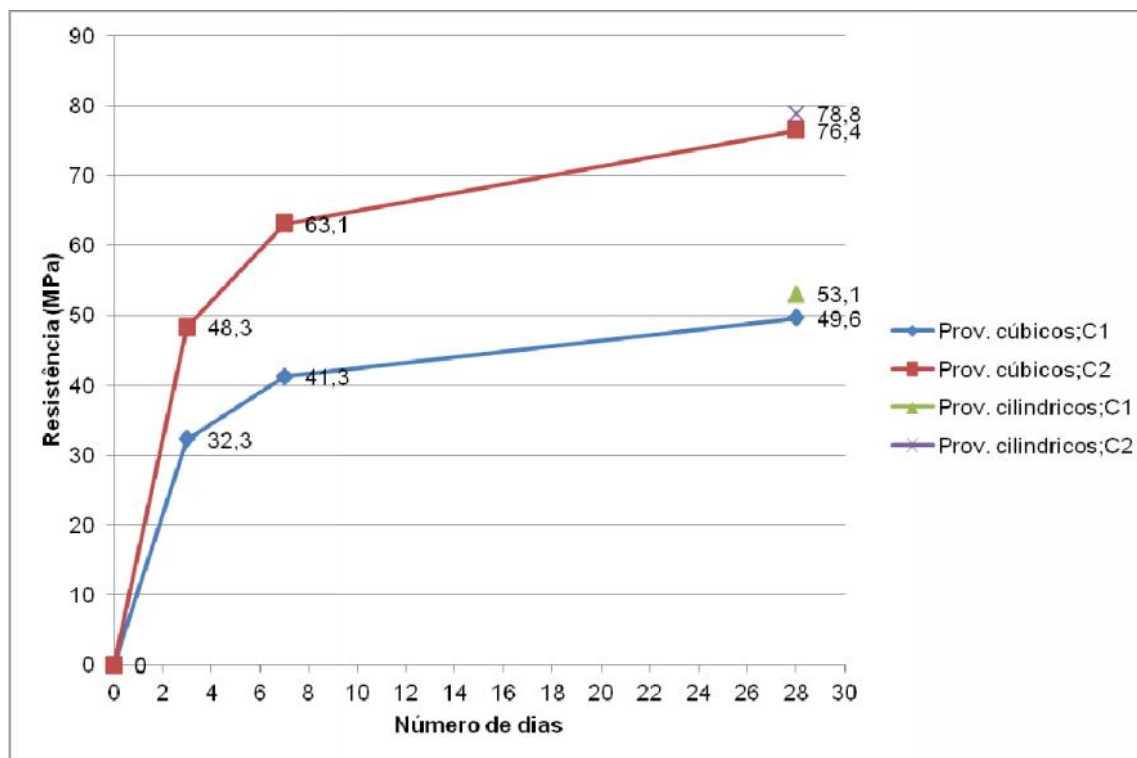


Gráfico 4.2 – Evolução das resistências à compressão dos provetes cúbicos e cilíndricos

Como previsto, dos 3 dias para os 7 dias de idade observa-se um grande aumento de resistência sendo que dos 7 dias para os 28 dias este crescimento atenuou-se.

Quanto à resistência à compressão, pode-se concluir que o betão com a composição C2 possui uma resistência mais elevada do que o betão com a composição C1. Este facto verifica-se tanto nos provetes cúbicos como nos provetes cilíndricos. Este facto já seria de esperar pois a composição do betão C2 possui um adjuvante superplastificante/reductor de água o que torna este betão mais compacto e menos poroso.

Relativamente aos dados obtidos da resistência à compressão dos provetes cilíndricos, carotes, a maior parte apresentavam fissuras, sendo que um dos provetes partiu ao meio durante a retificação de topos. Isto para o caso dos provetes provenientes da composição C1. Para a composição C2 apenas uma das carotes evidenciava fissuras. A causa para a

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

ocorrência destas fissuras muito provavelmente será devido ao facto de o betão de base ter sido vibrado em demasia, provocando a segregação do betão.

Com estes resultados verifica-se que o betão com a composição C2 apresenta uma resistência mais elevada, e conseqüentemente é um betão mais compacto e menos poroso. O facto deste betão ser menos poroso provém do facto de este betão possuir menos água de amassadura e portanto torna-se num betão que não irá ter tanta água disponível para a aplicação do endurecedor como no caso da composição C1. A composição C1 perde um pouco em resistência à compressão mas em compensação possui uma maior quantidade de água disponível antes da aplicação do endurecedor, o que proporciona uma melhor ligação endurecedor de superfície/betão de base.

Em seguida apresenta-se imagens das carotes retiradas das lajetas (figura 4.25 a 4.48).



Figura 4.25 – Carotes retiradas da lajeta C1E1 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.26 – Carotes retiradas da lajeta C1E1 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.27 – Carotes retiradas da lajeta C1E2 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.28 – Carotes retiradas da lajeta C1E2 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.29 – Carotes retiradas da lajeta C1E3 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.30 – Carotes retiradas da lajeta C1E3 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.31 – Carotes retiradas da lajeta C1E4 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.32 – Carotes retiradas da lajeta C1E4 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.33 – Carotes retiradas da lajeta C1E5 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.34 – Carotes retiradas da lajeta C1E5 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.35 – Carotes retiradas da lajeta C1E6 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.36 – Carotes retiradas da lajeta C1E6 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.37 – Carotes retiradas da lajeta C2E1 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.38 – Carotes retiradas da lajeta C2E1 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.39 – Carotes retiradas da lajeta C2E2 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.40 – Carotes retiradas da lajeta C2E2 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.41 – Carotes retiradas da lajeta C2E3 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.42 – Carotes retiradas da lajeta C2E3 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.43 – Carotes retiradas da lajeta C2E4 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.44 – Carotes retiradas da lajeta C2E4 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.45 – Carotes retiradas da lajeta C2E5 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS



Figura 4.46 – Carotes retiradas da lajeta C2E5 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor



Figura 4.47 – Carotes retiradas da lajeta C2E6 aos 8,5 MPa de aplicação do endurecedor



Figura 4.48 – Carotes retiradas da lajeta C2E6 aos 8,5 MPa mais 45 min de aplicação do endurecedor

Relativamente ao aspeto visual das carotes retiradas das lajetas pode-se observar que muitas delas apresentam fissuras, nomeadamente as da composição C1. Na Figura 4.12 observa-se bem a fissura existente nas carotes. Relativamente às carotes retiradas das lajetas da composição C2, as carotes já não apresentavam fissuras.

4.6. Trabalhabilidade dos endurecedores

Em termos de trabalhabilidade notaram-se algumas diferenças. Os endurecedores que continham maior quantidade de cimento apresentaram uma melhor trabalhabilidade, enquanto que os endurecedores que continham fíler calcário apresentaram uma menor trabalhabilidade. Este facto pode ocorrer porque o fíler vai absorver mais água reduzindo a exsudação, dificultando assim o afagamento.

Pode-se concluir ainda que o endurecedor que possui o Agente Expansivo (E6) tem melhor trabalhabilidade que os endurecedores que contém o fíler calcário, mas não melhor que os endurecedor que não contêm adições.

4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Assim sendo de uma ordem de melhor trabalhabilidade para a pior, os endurecedores ficam assim ordenados: E2, E1, E3, EA, E6, E4, E5.

Portanto pode-se concluir que o instante de aplicação do endurecedor não deve ir além do instante 8,5 MPa de resistência à penetração sendo que após esta altura já se torna demasiado tardio para a aplicação do endurecedor ser bem sucedida. A composição C1 do betão de base possui mais água disponível antes da aplicação do endurecedor, sendo que para os endurecedores E1, E2, E3 e E6 possuem melhores resultados com esta composição enquanto que os endurecedores E4 e E5 possuem melhores resultados com o betão com a composição C2. Apesar dos endurecedores com fíler calcário possuírem melhores resultados com a composição C2, que tem menos água disponível, estes endurecedores precisam de mais água de modo a melhorar a sua trabalhabilidade.

5. CONCLUSÃO

Sendo que esta dissertação teve por objetivo a avaliação da influência de diferentes composições de endurecedores de superfície na sua ligação a diferentes betões de base em dois instantes de aplicação, pode-se concluir que:

- O endurecedor com melhores resultados de aderência foi o E3, sendo este o endurecedor com uma percentagem de ligante inferior relativamente aos restantes endurecedores fabricados. No caso dos endurecedores com adição de fíler calcário o endurecedor E5 foi o que apresentou melhores resultados de aderência;
- A quantidade de ligante no endurecedor tem bastante influência tanto na sua aderência como na sua trabalhabilidade. Uma menor quantidade de ligante torna-se mais benéfica para o endurecedor em termos da sua aderência ao betão de base, no entanto, os endurecedores com uma maior quantidade de ligante possuem uma melhor trabalhabilidade;
- Verificou-se que o ligante presente no endurecedor EA muito provavelmente não é um CEM I, podendo este conter alguma adição em substituição de clínquer, e sendo possivelmente este endurecedor muito parecido aos endurecedores E4 e E5;
- O endurecedor E5 possui melhores resultados do que o E4 e até mesmo que o EA, com a composição C2, no entanto, no caso da composição C1 o endurecedor EA é o que possui melhor aderência ao betão de base;
- Relativamente à trabalhabilidade, os endurecedores de superfície com adições na sua composição não possuem uma boa trabalhabilidade, sendo que necessitam de mais água para que a sua aplicação ser melhorada;
- Nem sempre a trabalhabilidade do endurecedor está de acordo com o seu comportamento a nível físico e mecânico, pois os endurecedores com pior performance a nível de trabalhabilidade apresentaram resultados razoáveis, como por exemplo o E5 apresenta um bom resultado em termos de resistência ao arrancamento, no entanto, a sua trabalhabilidade é a pior de todos os endurecedores;
- Em termos de trabalhabilidade, os endurecedores ficam assim ordenados da melhor para a pior trabalhabilidade: E2, E1, E3, EA, E6, E4, E5;
- Verificou-se que apesar da composição C1 estar mais tempo à espera antes da aplicação do endurecedor, possui uma maior quantidade de água disponível nesse mesmo instante o que mostrou ser mais favorável em termos de aderência do

5. CONCLUSÃO

endurecedor ao betão de base, exceto para o caso de endurecedores com adição de fíler cálcario;

- Os endurecedores sem adições na sua composição possuem melhores resultados de aderência, nomeadamente quando o betão de base é feito com a composição C1;
- Para além da água que o endurecedor vai buscar ao betão de base foi necessário utilizar mais água para conseguir um bom acabamento, mas no caso da adição de fíler calcário mesmo quando o betão de base tinha pouca água disponível antes da aplicação do endurecedor a aderência foi boa entre o endurecedor e o betão de base;
- O tempo de espera até a aplicação do endurecedor e a quantidade de água disponível para a sua aplicação também tem influência no desempenho do endurecedor, sendo que quanto mais tempo se espera até a aplicação do endurecedor, menor é a quantidade de água disponível para a ligação do endurecedor ao betão de base e consequentemente a ligação poderá não ser eficaz;
- Em termos de resistência à compressão o betão fabricado com a composição C2 possui resistências à compressão mais elevadas que a composição do betão C1, sendo este facto devido à capacidade do adjuvante SP em reduzir a quantidade de água necessária para se formar o betão com uma consistência S3, tornando-se assim, mais compacto.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Tipping, E., Ahal, D., “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”, Reported by ACI committee 320, American Concrete Institute, 2004
- [2] Wikimedia, http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/1/14/Quartz,_Tibet.jpg/300px-Quartz,_Tibet.jpg, consultado no dia 18/07/2012
- [3] Blogspot, http://3.bp.blogspot.com/_GOoU5ymd91s/RgVnY1z4Tul/AAAAAAAAAAJo/gllfF-VHJWE/s320/CORINDO1%5B1%5D.jpg, consultado no dia 18/07/2012
- [4] Infoescola, <http://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/06/basalto.jpg>, consultado no dia 18/07/2012
- [5] Wikipédia, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Quartzo>, consultado no dia 30/06/2012
- [6] Wikipédia, <http://pt.wikipedia.org/wiki/Cor%C3%ADndon>, consultado no dia 30/06/2012
- [7] Ebah, <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAyccAC/petrologia-igne>, consultado no dia 07/09/2012
- [8] FEUP – Faculdade de Engenharia do Porto, <http://paginas.fe.up.pt/~jcouti/agregpart1.pdf>, consultado no dia 08/09/2012
- [9] Portland Cement Association, “Concrete Slab Surface Defects: Causes, Prevention, Repair”, Concrete Information, 2001
- [10] Hulett, T., Plimmer, J., “Delamination of concrete floor surfaces”, Concrete Advice, 2003
- [11] Duro-Europa, Ficha Técnica do Superquartz
- [12] Duro-Europa, Ficha Técnica do Euroquartz
- [13] Duro-Europa, Ficha Técnica do Durocorindo
- [14] Duro-Europa, Ficha Técnica do Durochape
- [15] SIB – Sociedade Industrial de Britagem de Pedra Lda, Ficha Técnica do Sibquartzo
- [16] SIB – Sociedade Industrial de Britagem de Pedra Lda, Ficha Técnica do Sibasal
- [17] SIB – Sociedade Industrial de Britagem de Pedra Lda, Ficha Técnica do Sibcorindo

- [18] JRP – Produtos & Revestimentos para Construção Civil S.A., Ficha Técnica do Prochape
- [19] JRP – Produtos & Revestimentos para Construção Civil S.A., Ficha Técnica do Proquartz
- [20] JRP – Produtos & Revestimentos para Construção Civil S.A., Ficha Técnica do Produr
- [21] Secil, Ficha Técnica do CEM II /A-L 42,5R
- [22] Ficha Técnica do CEM I 42,5R
- [23] Unibetão, Ficha Técnica da brita 2
- [24] Unibetão, Ficha Técnica da brita 1
- [25] Unibetão, Ficha Técnica da areia grossa
- [26] Unibetão, Ficha Técnica da areia fina
- [27] NP EN 934 – 2 (2009) – Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção: Parte 2 – Adjuvantes para betão, Designação, requisitos, conformidade, marcação e etiquetagem
- [28] NP EN 196 – 2 (2006) – Método de ensaio de cimentos: Parte 2 – Análise química dos cimentos
- [29] NP EN 933 – 1 (2000) – Ensaio das propriedades geométricas dos agregados: Parte 1 – Análise granulométrica, Método de peneiração
- [30] Fernandes, A.A., *Compatibilidade de diferentes tipos de betões de base com adições e endurecedores de superfície de quartzo*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, 2012
- [31] Sequeira, A. R. S., *Influência dos adjuvantes no comportamento de um endurecedor de superfície de quartzo aplicado em diferentes betões de base*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, 2012
- [32] Marques, M. J. N. P., *Compatibilidade entre o endurecedor de superfície de quartzo e diferentes betões de base em lajes de betão*, Dissertação de Mestrado, Universidade de Évora, 2012 (aguarda discussão)
- [33] NP EN 206 – 1 (2002) – Betão: Parte 1 – Especificação, Desempenho, Produção e Conformidade
- [34] NP EN 12350 – 2 (2009) – Ensaio do betão fresco: Parte 2 – Ensaio de abaixamento
- [35] ASTM C 803/C 803 M – 03 (2010) – Standard Test Method for Penetration Resistance of Hardened Concrete

[36] NP EN 12390 – 2 (2009), Ensaios do betão endurecido: Parte 2 – Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica

[37] EN 12390 – 1 (2009), Testing hardened concrete: Part 1 – Shape, dimensions and other requirements for tests specimens and moulds

[38] EN 1542 (1999) – Products and systems for the protection and repair of concrete structures – Test methods – Measurement of bond strength by pull-off

[39] NP EN 12504-2 (2012) – Ensaios do betão nas estruturas: Parte 2 – Ensaio não destrutivo, Determinação do índice esclerométrico

ANEXOS**Anexo 1 – Dados relativos ao fabrico dos ensaios**

Tabela A.1 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E1

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	12.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	15,1	
Humidade relativa (%)	60,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:15	
Temperatura do betão de base (°C)	17,5	
Hora do ensaio abaixamento	10:22	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	11:35	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	17:51	18:06
Hora da aplicação do endurecedor	18:42	18:10
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,267	0,223
Hora do 1º afagamento	18:46	18:14
Hora do 2º afagamento	19:18	18:31
Hora do 3º afagamento	-	19:03
Hora de fim dos trabalhos	19:29	19:14

ANEXOS

Tabela A.2 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E2

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	13.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	19,8	
Humidade relativa (%)	45,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:22	
Temperatura do betão de base (°C)	16,5	
Hora do ensaio de abaixamento	10:33	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	11:18	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	18:12	18:20
Hora da aplicação do endurecedor	19:04	18:27
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,258	0,220
Hora do 1º afagamento	19:09	18:32
Hora do 2º afagamento	19:30	18:42
Hora do 3º afagamento	-	18:52
Hora de fim dos trabalhos	19:42	19:01

ANEXOS

Tabela A.3 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E3

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	16.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	15,9	
Humidade relativa (%)	54,0	
Hora de fabrico do betão de base	09:57	
Temperatura do betão de base (°C)	15,8	
Hora do ensaio de abaixamento	10:03	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	10:55	
Hora de obtenção dos 8,5 MPa	17:37	19:33
Hora da aplicação do endurecedor	18:23	19:34
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,223	0,199
Hora do 1º afagamento	18:31	19:38
Hora do 2º afagamento	18:56	19:55
Hora do 3º afagamento	-	20:15
Hora de fim dos trabalhos	19:23	20:21

ANEXOS

Tabela A.4 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E4

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	17.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	20,4	
Humidade relativa (%)	44,0	
Hora de fabrico do betão de base	09:52	
Temperatura do betão de base (°C)	17,1	
Hora do ensaio de abaixamento	09:56	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	10:35	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	17:33	18:07
Hora da aplicação do endurecedor	18:20	18:12
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,244	0,275
Hora do 1º afagamento	18:24	18:16
Hora do 2º afagamento	18:54	18:38
Hora de fim dos trabalhos	19:02	18:53

ANEXOS

Tabela A.5 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E5

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	18.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	21,2	
Humidade relativa (%)	44,0	
Hora de fabrico do betão de base	09:20	
Temperatura do betão de base (°C)	17,6	
Hora do ensaio de abaixamento	09:27	
Abaixamento registado (cm)	14,5	
Hora da colocação do betão de base	10:04	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	16:35	17:36
Hora da aplicação do endurecedor	17:20	17:42
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,302	0,244
Hora do 1º afagamento	17:25	17:48
Hora do 2º afagamento	17:55	18:07
Hora de fim dos trabalhos	18:04	18:11

ANEXOS

Tabela A.6 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1E6

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	31.05.2012	
Temperatura ambiente (°C)	21,3	
Humidade relativa (%)	70,0	
Hora de fabrico do betão de base	09:53	
Temperatura do betão de base (°C)	23,7	
Hora do ensaio de abaixamento	10:00	
Abaixamento registado (cm)	14,0	
Hora da colocação do betão de base	10:30	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:15	16:36
Hora da aplicação do endurecedor	16:00	16:37
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,266	0,302
Hora do 1º afagamento	16:03	16:42
Hora do 2º afagamento	16:25	17:01
Hora de fim dos trabalhos	16:32	17:09

ANEXOS

Tabela A.7 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C1EA

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa	8,5 MPa + 45 min
Dia da amassadura	14.03.2012	
Temperatura ambiente (°C)	18,0	
Humidade relativa (%)	45,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:19	
Temperatura do betão de base (°C)	18,8	
Hora do ensaio de abaixamento	10:23	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	10:59	
Hora de obtenção dos 8,5 MPa	17:11	16:52
Hora da aplicação do endurecedor	17:15	17:37
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,301	0,310
Hora do 1º afagamento	17:19	17:41
Hora do 2º afagamento	17:24	17:50
Hora do 3º afagamento	17:29	18:14
Hora do 4º afagamento	17:43	18:28
Hora do 5º afagamento	18:00	18:38
Hora do 6º afagamento	18:21	-
Hora de fim dos trabalhos	18:27	18:46

ANEXOS

Tabela A.8 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E1

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	19.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	21,2	
Humidade relativa (%)	53,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:41	
Temperatura do betão de base (°C)	18,9	
Hora do ensaio de abaixamento	10:47	
Abaixamento registado (cm)	14,0	
Hora da colocação do betão de base	12:04	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:18	15:43
Hora da aplicação do endurecedor	16:07	15:46
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,279	0,297
Hora do 1º afagamento	16:10	15:50
Hora do 2º afagamento	16:49	16:18
Hora de fim dos trabalhos	16:40	16:28

ANEXOS

Tabela A.9 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E2

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	20.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	21,6	
Humidade relativa (%)	50,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:19	
Temperatura do betão de base (°C)	19,0	
Hora do ensaio de abaixamento	10:26	
Abaixamento registado (cm)	14,5	
Hora da colocação do betão de base	11:12	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:03	15:03
Hora da aplicação do endurecedor	15:52	15:04
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,303	0,323
Hora do 1º afagamento	15:55	15:11
Hora do 2º afagamento	16:18	15:33
Hora de fim dos trabalhos	16:25	15:49

ANEXOS

Tabela A.10 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E3

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	23.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	17,4	
Humidade relativa (%)	58,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:25	
Temperatura do betão de base (°C)	17,5	
Hora do ensaio de abaixamento	10:35	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	11:21	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:37	16:14
Hora da aplicação do endurecedor	16:28	16:16
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,332	0,328
Hora do 1º afagamento	16:33	16:20
Hora do 2º afagamento	16:57	16:42
Hora do 3º afagamento	17:30	17:09
Hora do fim dos trabalhos	17:32	17:25

ANEXOS

Tabela A.11 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E4

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	24.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	21,9	
Humidade relativa (%)	42,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:28	
Temperatura do betão de base (°C)	18,6	
Hora do ensaio de abaixamento	10:37	
Abaixamento registado (cm)	15,5	
Hora da colocação do betão de base	11:28	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:12	15:25
Hora da aplicação do endurecedor	16:04	15:29
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,267	0,271
Hora do 1º afagamento	16:09	15:32
Hora do 2º afagamento	16:27	15:45
Hora de fim dos trabalhos	16:32	16:01

ANEXOS

Tabela A.12 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E5

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	26.04.2012	
Temperatura ambiente (°C)	17,7	
Humidade relativa (%)	60,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:24	
Temperatura do betão de base (°C)	18,1	
Hora do ensaio de abaixamento	10:34	
Abaixamento registado (cm)	15,5	
Hora da colocação do betão de base	11:21	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	15:15	15:28
Hora da aplicação do endurecedor	16:00	15:29
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,205	0,260
Hora do 1º afagamento	16:03	15:33
Hora do 2º afagamento	16:17	15:45
Hora de fim dos trabalhos	16:35	15:54

ANEXOS

Tabela A.13 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2E6

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	01.06.2012	
Temperatura ambiente (°C)	26,4	
Humidade relativa (%)	55,0	
Hora de fabrico do betão de base	09:12	
Temperatura do betão de base (°C)	24,6	
Hora do ensaio de abaixamento	09:16	
Abaixamento registado (cm)	15,0	
Hora da colocação do betão de base	09:45	
Hora da obtenção dos 8,5 MPa	13:03	13:11
Hora da aplicação do endurecedor	13:48	13:14
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,315	0,285
Hora do 1º afagamento	13:53	13:18
Hora do 2º afagamento	14:15	13:39
Hora de fim dos trabalhos	14:21	13:45

ANEXOS

Tabela A.14 – Dados relativos ao fabrico da lajeta C2EA

	Túnel 1	Túnel 2
Identificação do molde	8,5 MPa + 45 min	8,5 MPa
Dia da amassadura	22.03.2012	
Temperatura ambiente (°C)	17,1	
Humidade relativa (%)	36,0	
Hora de fabrico do betão de base	10:02	
Temperatura do betão de base (°C)	17,6	
Hora do ensaio de abaixamento	10:06	
Abaixamento registado (cm)	15,5	
Hora da colocação do betão de base	10:56	
Hora de obtenção dos 8,5 MPa	14:35	14:45
Hora da aplicação do endurecedor	15:20	14:48
Quantidade de endurecedor aplicado (kg)	0,720	0,720
Água adicionada (L)	0,265	0,185
Hora do 1º afagamento	15:23	14:51
Hora do 2º afagamento	15:47	15:07
Hora do 3º afagamento	16:00	15:15
Hora do 4º afagamento	16:21	15:35
Hora de fim dos trabalhos	16:26	15:42

Anexo 2 – Dados relativos às medições efetuadas com o penetrómetro

Tabela A.15 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1E1

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h00min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h00min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
4h00min	638	6,0	48	0,1	638	8,0	64	0,1
4h58min	320	19,0	152	0,6	320	21,5	172	0,7
5h45min	163	29,0	232	1,7	163	36,0	288	2,2
6h16min	32	32,0	256	9,8	65	28,0	224	4,2
6h31min	-	-	-	-	32	32,0	256	9,8
6h51min	-	-	-	-	16	18,0	144	11,1
7h05min	-	-	-	-	16	28,0	224	17,2
7h11min	16	48,0	384	28,4	16	46,0	368	28,3

Tabela A.16 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1E2

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h05min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h29min	638	2,0	16	0,0	638	0,0	0	0,0
4h25min	320	7,5	60	0,2	320	3,0	24	0,1
5h02min	163	6,0	48	0,4	320	5,0	40	0,2
5h32min	163	9,0	72	0,5	320	25,0	200	0,8
6h02min	163	16,0	128	1,0	163	26,0	208	1,6
6h35min	65	14,5	116	2,2	32	7,0	56	2,1
6h54min	16	14,0	112	8,5	-	-	-	-
6h58min	-	-	-	-	16	10,0	80	6,1
7h02min	-	-	-	-	16	20,0	160	12,5
7h47min	16	38,0	304	23,3	-	-	-	-

ANEXOS

Tabela A.17 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1E3

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h21min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h22min	638	5,0	40	0,1	638	0,0	0	0,0
4h23min	320	12,5	100	0,4	638	0,0	0	0,0
5h15min	163	15,0	120	0,9	638	0,0	0	0,0
6h05min	32	13,0	104	4,1	320	4,0	32	0,1
6h42min	16	20,0	160	12,5	320	12,5	100	0,4
7h27min	-	-	-	-	163	26,0	208	1,6
7h31min	16	43,0	344	26,5	-	-	-	-
8h01min	-	-	-	-	65	25,5	204	3,9
8h30min	-	-	-	-	32	26,0	208	8,1
8h38min	-	-	-	-	16	16,0	128	9,8

Tabela A.18 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1E4

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h40min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h51min	638	4,5	36	0,1	638	3,5	28	0,1
4h45min	320	13,0	104	0,4	320	7,0	56	0,2
5h44min	163	19,5	156	1,2	163	14,0	112	0,8
6h58min	16	20,0	160	12,2	65	9,0	72	1,4
7h32min	-	-	-	-	16	15,0	120	9,3
7h42min	16	40,0	320	24,6	-	-	-	-

ANEXOS

Tabela A.19 – Medições efetuadas com o penetrómetro para o C1E5

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h58min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
2h47min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h47min	320	2,0	16	0,1	638	5,5	44	0,1
4h52min	163	17,0	136	1,0	320	14,0	112	0,4
5h36min	65	10,0	80	1,5	-	-	-	-
6h06min	65	33,5	268	5,0	163	12,5	100	0,8
6h31min	16	15,5	124	9,5	-	-	-	-
7h06min	-	-	-	-	65	26,5	212	4,0
7h32min	16	33,0	264	20,4	16	17,0	136	10,6

Tabela A.20 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1E6

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h33min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h00min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h52min	638	16,0	128	0,2	638	0,0	0	0,0
4h45min	16	14,0	112	8,5	320	14,0	112	0,4
5h15min	-	-	-	-	65	6,0	48	0,9
5h30min	16	38,0	304	23,3	-	-	-	-
5h45min	-	-	-	-	32	15,5	124	4,8
6h06min	-	-	-	-	16	17,0	136	10,3

ANEXOS

Tabela A.21 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C1EA

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h06min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
3h01min	638	2,5	20	0,0	638	0,0	0	0,0
4h03min	638	18,3	146	0,3	638	12,1	97	0,2
4h33min	320	16,0	128	0,5	320	3,9	111	0,4
5h02min	163	15,0	120	0,9	163	20,0	160	1,2
5h18min	163	24,0	192	1,5	163	35,5	284	2,1
5h31min	65	15,5	124	2,4	65	30,5	244	4,6
5h37min	-	-	-	-	32	15,5	124	4,6
5h46min	32	12,6	101	3,9	32	25,0	200	7,7
5h53min	-	-	-	-	16	16,0	128	9,8
6h12min	16	14,0	112	8,5	-	-	-	-

Tabela A.22 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E1

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h10min	638	1,0	8	0,0	638	3,0	24	0,0
2h10min	320	26,5	212	0,8	320	15,0	120	0,5
3h14min	16	15,0	120	9,3	65	21,0	168	3,2
3h39min	-	-	-	-	16	14,0	112	8,5
3h52min	-	-	-	-	16	32,0	256	19,6
3h56min	-	-	-	-	16	34,0	272	20,9
4h03min	16	40,0	320	24,6	-	-	-	-
4h06min	16	48,0	384	29,4	-	-	-	-
4h09min	-	-	-	-	16	50,0	400	30,7

ANEXOS

Tabela A.23 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E2

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h09min	638	25,0	200	0,4	638	32,0	256	0,5
2h52min	163	44,0	352	2,8	163	17,0	136	1,0
3h26min	32	13,0	104	4,0	32	16,0	128	4,9
3h51min	16	19,0	152	11,7	16	14,0	112	8,5

Tabela A.24 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E3

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
2h09min	320	5,0	40	0,1	638	14,0	112	0,2
3h08min	163	27,0	216	1,6	163	15,0	120	0,9
4h07min	32	25,0	200	7,7	65	15,0	120	2,3
4h16min	16	14,5	116	8,8	-	-	-	-
4h30min	-	-	-	-	32	9,5	76	2,9
4h53min	-	-	-	-	16	15,0	120	9,3
5h07min	16	50,0	400	30,7	-	-	-	-

Tabela A.25 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E4

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h38min	320	4,5	36	0,1	638	2,0	16	0,0
2h34min	163	13,0	104	0,8	320	29,0	232	0,9
3h23min	65	22,0	176	3,3	163	43,0	344	2,6
3h44min	16	14,5	116	8,8	32	17,5	140	5,3
3h57min	-	-	-	-	16	16,0	128	9,8
4h37min	16	49,0	392	30,1	-	-	-	-

ANEXOS

Tabela A.26 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E5

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h56min	320	1,0	8	0,0	638	8,0	64	0,1
2h57min	320	39,0	312	1,2	320	43,0	344	1,8
3h40min	65	44,5	356	6,7	163	43,0	344	2,6
3h49min	32	24,5	196	7,5	-	-	-	-
3h54min	16	14,0	112	8,5	65	38,0	304	5,7
4h07min	-	-	-	-	16	15,0	120	9,3
4h39min	16	49,0	392	30,1	-	-	-	-

Tabela A.27 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2E6

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
1h43min	320	7,0	56	0,2	320	4,0	32	0,1
2h35min	65	8,5	68	1,3	65	7,0	56	1,1
3h03min	32	14,0	112	4,2	32	10,5	84	3,3
3h18min	16	14,0	112	8,5	16	10,0	80	6,1
3h26min	-	-	-	-	16	15,0	120	9,3
4h02min	16	50,5	404	30,9	-	-	-	-

ANEXOS

Tabela A.28 – Medições efetuadas com o penetrómetro para a lajeta C2EA

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1				Túnel 2			
	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa	Secção agulha (mm ²)	kgf	N	MPa
0h59min	638	0,0	0	0,0	638	0,0	0	0,0
2h29min	320	27,0	216	0,8	320	19,0	152	0,6
3h03min	163	41,0	328	2,5	163	22,0	176	1,3
3h39min	16	21,0	168	13,0	32	23,0	184	7,0
3h42min	-	-	-	-	16	12,0	96	7,4
3h49min	-	-	-	-	16	14,5	116	9,0
4h02min	16	26,0	208	17,2	-	-	-	-
4h12min	16	29,0	232	17,7	-	-	-	-
4h21min	16	34,0	272	20,9	-	-	-	-
4h45min	16	46,0	368	28,3	-	-	-	-
4h58min	16	51,0	408	30,9	-	-	-	-

Anexo 3 – Dados relativos à determinação da taxa de evaporação

Tabela A.29 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E1

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,563	0,542
	Peso água (kg)	0,298	0,247
	Taxa de evaporação (L)	0,702	0,753
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,062	1,113
	Peso água (kg)	0,797	0,818
	Taxa de evaporação (L)	0,203	0,182
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,298	0,247
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,601	0,727
	Peso água (kg)	0,336	0,432
	Taxa de evaporação (L)	0,461	0,386

Tabela A.30 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E2

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,510	0,640
	Peso água (kg)	0,245	0,345
	Taxa de evaporação (L)	0,755	0,655
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	0,990	1,003
	Peso água (kg)	0,725	0,708
	Taxa de evaporação (L)	0,275	0,292
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,245	0,345
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,326	0,674
	Peso água (kg)	0,061	0,379
	Taxa de evaporação (L)	0,664	0,329

ANEXOS

Tabela A.31 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E3

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,598	0,636
	Peso água (kg)	0,333	0,341
	Taxa de evaporação (L)	0,667	0,659
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,046	1,204
	Peso água (kg)	0,781	0,909
	Taxa de evaporação (L)	0,219	0,091
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,333	0,341
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,372	0,635
	Peso água (kg)	0,107	0,340
	Taxa de evaporação (L)	0,674	0,569

Tabela A.32 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E4

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,513	0,369
	Peso água (kg)	0,248	0,074
	Taxa de evaporação (L)	0,752	0,926
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,029	1,041
	Peso água (kg)	0,764	0,746
	Taxa de evaporação (L)	0,236	0,254
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,248	0,074
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,496	0,356
	Peso água (kg)	0,231	0,061
	Taxa de evaporação (L)	0,533	0,685

ANEXOS

Tabela A.33 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E5

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,482	0,650
	Peso água (kg)	0,217	0,355
	Taxa de evaporação (L)	0,783	0,645
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,068	1,063
	Peso água (kg)	0,803	0,768
	Taxa de evaporação (L)	0,197	0,232
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,217	0,355
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,398	0,568
	Peso água (kg)	0,133	0,273
	Taxa de evaporação (L)	0,670	0,495

Tabela A.34 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1E6

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,686	0,589
	Peso água (kg)	0,421	0,294
	Taxa de evaporação (L)	0,579	0,706
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,103	1,123
	Peso água (kg)	0,838	0,828
	Taxa de evaporação (L)	0,162	0,172
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,452
	Peso água (kg)	0,000	0,157
	Taxa de evaporação (L)	1,921	1,637
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	1,857	1,797
	Peso água (kg)	1,592	1,502
	Taxa de evaporação (L)	0,746	0,826

ANEXOS

Tabela A.35 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C1EA

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (Kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Taxa de evaporação (L)	0,516	0,800
Saída do túnel	Taxa de evaporação (L)	0,178	0,186
Entrada do túnel (24h)	Taxa de evaporação (L)	0,484	0,200
Saída do túnel (24h)	Taxa de evaporação (L)	0,672	0,711

Tabela A.36 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E1

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,829	0,872
	Peso água (kg)	0,564	0,577
	Taxa de evaporação (L)	0,436	0,423
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,149	1,185
	Peso água (kg)	0,884	0,890
	Taxa de evaporação (L)	0,116	0,110
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,564	0,577
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,512	0,526
	Peso água (kg)	0,247	0,231
	Taxa de evaporação (L)	0,637	0,659

ANEXOS

Tabela A.37 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E2

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,838	0,967
	Peso água (kg)	0,573	0,672
	Taxa de evaporação (L)	0,427	0,328
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,129	1,196
	Peso água (kg)	0,864	0,901
	Taxa de evaporação (L)	0,136	0,099
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,573	0,672
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,350	0,568
	Peso água (kg)	0,085	0,273
	Taxa de evaporação (L)	0,779	0,628

Tabela A.38 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E3

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,772	0,916
	Peso água (kg)	0,507	0,621
	Taxa de evaporação (L)	0,493	0,379
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,089	1,174
	Peso água (kg)	0,824	0,879
	Taxa de evaporação (L)	0,176	0,121
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,507	0,621
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,288	0,510
	Peso água (kg)	0,023	0,215
	Taxa de evaporação (L)	0,801	0,664

ANEXOS

Tabela A.39 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E4

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,826	0,921
	Peso água (kg)	0,561	0,626
	Taxa de evaporação (L)	0,439	0,374
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,111	1,142
	Peso água (kg)	0,846	0,847
	Taxa de evaporação (L)	0,154	0,153
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,561	0,626
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,578	0,295
	Peso água (kg)	0,313	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,533	0,847

Tabela A.40 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E5

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,824	0,909
	Peso água (kg)	0,559	0,614
	Taxa de evaporação (L)	0,441	0,386
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,126	1,174
	Peso água (kg)	0,861	0,879
	Taxa de evaporação (L)	0,139	0,121
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	0,559	0,614
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,340	0,592
	Peso água (kg)	0,075	0,297
	Taxa de evaporação (L)	0,786	0,582

ANEXOS

Tabela A.41 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2E6

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Peso tina+água (kg)	0,845	0,871
	Peso água (kg)	0,580	0,576
	Taxa de evaporação (L)	0,420	0,424
Saída do túnel	Peso tina+água (kg)	1,162	1,162
	Peso água (kg)	0,897	0,867
	Taxa de evaporação (L)	0,103	0,133
Entrada do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	0,265	0,295
	Peso água (kg)	0,000	0,000
	Taxa de evaporação (L)	2,080	2,076
Saída do túnel (24h)	Peso tina+água (kg)	1,590	1,463
	Peso água (kg)	1,325	1,168
	Taxa de evaporação (L)	1,072	1,199

Tabela A.42 – Medições efetuadas da taxa de evaporação para o ensaio C2EA

		Túnel 1	Túnel 2
Tara (Kg)		0,265	0,295
Área das tinas (m²)		0,072	0,084
Entrada do túnel	Taxa de evaporação (L)	0,463	0,437
Saída do túnel	Taxa de evaporação (L)	0,141	0,141
Entrada do túnel (24h)	Taxa de evaporação (L)	0,537	0,563
Saída do túnel (24h)	Taxa de evaporação (L)	0,849	0,723

ANEXOS

Tabela A.43 – Resultados das taxas de evaporação (L/m².h)

			Taxa de Evaporação (L/m ² .h)	
			Entrada	Saída
E1	C1	Túnel 1	1,36	0,39
		Túnel 2	1,38	0,33
	C2	Túnel 1	1,50	0,40
		Túnel 2	1,38	0,36
E2	C1	Túnel 1	1,35	0,49
		Túnel 2	1,11	0,49
	C2	Túnel 1	1,29	0,41
		Túnel 2	1,01	0,31
E3	C1	Túnel 1	1,23	0,40
		Túnel 2	0,91	0,13
	C2	Túnel 1	1,34	0,48
		Túnel 2	0,92	0,29
E4	C1	Túnel 1	1,36	0,43
		Túnel 2	1,46	0,40
	C2	Túnel 1	1,32	0,46
		Túnel 2	1,13	0,46
E5	C1	Túnel 1	1,44	0,36
		Túnel 2	1,02	0,37
	C2	Túnel 1	1,32	0,42
		Túnel 2	1,12	0,35
E6	C1	Túnel 1	1,46	0,41
		Túnel 2	1,38	0,34
	C2	Túnel 1	1,45	0,35
		Túnel 2	1,47	0,46
EA	C1	Túnel 1	1,16	0,33
		Túnel 2	1,79	0,35
	C2	Túnel 1	1,46	0,44
		Túnel 2	1,38	0,44

ANEXOS

Anexo 4 – Temperaturas registadas

Tabela A.44 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E1

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h56min	-	44,7	-	42,9
3h00min	-	43,5	-	41,5
3h57min	-	49,0	-	43,3
4h55min	66,1	-	55,3	-
5h42min	76,1	-	59,4	-
6h13min	69,0	-	54,5	-

Tabela A.45 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E2

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
2h02min	-	45,1	-	43,6
3h30min	-	38,6	-	42,3
4h24min	-	44,3	-	42,5
5h01min	68,0	-	50,8	-
5h32min	65,2	-	51,0	-
6h01min	68,5	-	54,3	-

Tabela A.46 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E3

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
2h19min	-	46,5	-	30,3
3h21min	-	41,9	-	31,3
4h22min	-	41,0	-	33,3
5h14min	-	47,6	-	42,0
6h00min	60,8	-	47,7	-

ANEXOS

Tabela A.47 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E4

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
2h37min	-	43,8	-	44,2
3h45min	-	46,9	-	44,1
4h42min	-	45,2	-	45,3
5h43min	55,3	-	53,4	-
7h32min	61,8	-	59,4	-

Tabela A.48 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E5

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h57min	-	41,3	-	44
3h46min	-	42,0	-	41,7
5h03min	-	45,6	-	43,6
6h30min	55,3	-	51,6	-

Tabela A.49 – Temperaturas registadas para o ensaio C1E6

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h32min	-	41,6	-	37,2
2h58min	-	50,5	-	38,4
3h47min	-	33,5	-	43,9
4h44min	81,6	-	61,9	-
5h15min	79,2	-	54,8	-

ANEXOS

Tabela A.50 – Temperaturas registadas para o ensaio C1EA

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
0h23min	-	45,0	-	36,8
0h48min	-	46,9	-	41,1
1h03min	-	50,0	-	44,0
1h57min	-	50,1	-	44,5
2h01min	-	50,2	-	46,3
2h32min	59,3	-	66,1	-
2h59min	75,3	-	63,3	-
3h17min	-	48,5	-	46,6

Tabela A.51 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E1

Tempo após a colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h09min	-	41,5	-	45,9
2h10min	-	47,6	-	45,2
3h13min	75,8	-	54,5	-
3h39min	74,5	-	53,8	-

Tabela A.52 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E2

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
2h08min	-	47,5	-	47,5
2h49min	-	41,2	-	45,8
3h26min	62,1	-	57,6	-
3h49min	71,1	-	57,7	-

ANEXOS

Tabela A.53 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E3

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
2h09min	-	45,7	-	23,6
4h05min	-	45,5	-	44,9
4h50min	64,5	-	56,7	-

Tabela A.54 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E4

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h37min	-	45,5	-	48,9
2h33min	-	39,0	-	43,7
3h20min	43,6	-	55,2	-

Tabela A.55 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E5

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h55min	-	46,1	-	46,5
2h57min	-	45,9	-	44,1
3h39min	61,6	-	54,7	-
4h05min	53,0	-	52,6	-

ANEXOS

Tabela A.56 – Temperaturas registadas para o ensaio C2E6

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
1h28min	-	45,1	-	46,6
2h32min	-	47,3	-	49,5
3h02min	86,1	-	60,7	-
3h17min	72,0	-	59,2	-

Tabela A.57 – Temperaturas registadas para o ensaio C2EA

Tempo após colocação do betão de base	Túnel 1		Túnel 2	
	Entrada	Saída	Entrada	Saída
0h56min	-	50,0	-	37,6
2h28min	-	53,0	-	45,5
3h02min	-	50,1	-	46,6
3h34min	-	50,5	-	45,6
3h49min	75,1	-	61,0	-

Anexo 5 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off

Tabela A.58 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E1

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	2,10	1,04	Endurecedor
	2	5,34	2,63	Betão
	3	4,33	2,14	Betão
	4	5,11	2,52	Betão
	5	4,20	2,07	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	3,22	1,59	Endurecedor
	2	4,59	2,26	Betão
	3	5,21	2,57	Betão
	4	3,55	1,75	Endurecedor
	5	4,72	2,33	Betão

Tabela A.59 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E2

		kN	MPa	Rutura por :
8,5 MPa	1	5,68	2,80	Betão
	2	3,42	1,69	Betão
	3	6,17	3,04	Endurecedor e betão
	4	4,15	2,05	Betão
	5	6,25	3,08	Endurecedor e betão
8,5 MPa + 45 min	1	3,55	1,75	Endurecedor
	2	1,09	0,54	Endurecedor
	3	5,16	2,55	Endurecedor
	4	2,88	1,42	Endurecedor e betão
	5	1,22	0,60	Endurecedor

ANEXOS

Tabela A.60 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E3

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	4,33	2,14	Betão
	2	3,32	1,64	Betão
	3	5,06	2,50	Betão
	4	5,42	2,67	Betão
	5	3,86	1,90	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	4,90	2,42	Endurecedor
	2	3,94	1,94	Betão
	3	2,44	1,20	Endurecedor e Betão
	4	2,07	1,02	Endurecedor e Betão
	5	4,36	2,15	Betão

Tabela A.61 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E4

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	0,65	0,32	Endurecedor
	2	0,41	0,20	Endurecedor
	3	0,99	0,49	Endurecedor
	4	2,07	1,02	Endurecedor
	5	2,02	1,00	Endurecedor
8,5 MPa + 45 min	1	1,37	0,68	Endurecedor
	2	0,29	0,14	Endurecedor
	3	2,57	1,27	Endurecedor
	4	1,32	0,65	Endurecedor
	5	3,35	1,65	Endurecedor

ANEXOS

Tabela A.62 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E5

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	2,49	1,23	Endurecedor
	2	2,80	1,38	Endurecedor
	3	0,29	0,14	Endurecedor
	4	0,57	0,28	Endurecedor
	5	2,75	1,36	Endurecedor
8,5 MPa + 45 min	1	3,32	1,64	Endurecedor
	2	5,06	2,50	Endurecedor
	3	2,36	1,16	Endurecedor
	4	0,00	0,00	Endurecedor
	5	0,23	0,11	Endurecedor

Tabela A.63 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1E6

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	3,06	1,51	Endurecedor
	2	3,06	1,51	Betão
	3	4,72	2,33	Betão
	4	2,93	1,45	Betão
	5	5,60	2,76	Endurecedor
8,5 MPa + 45 min	1	3,40	1,68	Endurecedor
	2	3,63	1,79	Endurecedor
	3	3,76	1,86	Betão
	4	4,41	2,18	Endurecedor e betão
	5	4,18	2,06	Betão

ANEXOS

Tabela A.64 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C1EA

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	3,92	2,00	Betão
	2	3,79	1,93	Endurecedor e Betão
	3	0,69	0,35	Endurecedor
	4	5,01	2,55	Endurecedor e Betão
	5	4,23	2,15	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	5,29	2,69	Endurecedor
	2	3,42	1,74	Betão
	3	0,38	0,19	Endurecedor
	4	3,92	2,00	Betão
	5	4,77	2,43	Betão

Tabela A.65 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E1

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	2,75	1,36	Endurecedor
	2	2,62	1,29	Endurecedor
	3	1,04	0,51	Endurecedor
	4	4,77	2,35	Endurecedor
	5	4,93	2,43	Endurecedor
8,5 MPa + 45 min	1	2,59	1,28	Endurecedor
	2	0,86	0,42	Endurecedor
	3	2,13	1,05	Endurecedor
	4	2,85	1,41	Endurecedor
	5	3,24	1,60	Endurecedor

ANEXOS

Tabela A.66 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E2

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	3,53	1,74	Endurecedor e Betão
	2	2,52	1,24	Endurecedor e Betão
	3	0,75	0,37	Endurecedor e Betão
	4	1,97	0,97	Endurecedor e Betão
	5	5,08	2,51	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	1,35	0,67	Endurecedor
	2	1,35	0,67	Endurecedor
	3	1,92	0,95	Endurecedor
	4	2,65	1,31	Endurecedor
	5	3,01	1,49	Endurecedor

Tabela A.67 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E3

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	1,97	0,97	Endurecedor e Betão
	2	4,28	2,11	Endurecedor e Betão
	3	5,94	2,93	Betão
	4	3,99	1,97	Betão
	5	5,89	2,91	Endurecedor e Betão
8,5 MPa + 45 min	1	2,83	1,40	Endurecedor
	2	3,19	1,57	Endurecedor
	3	2,59	1,28	Endurecedor
	4	1,24	0,61	Endurecedor
	5	5,39	2,66	Endurecedor

ANEXOS

Tabela A.68 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E4

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	3,81	1,88	Endurecedor
	2	4,25	2,10	Endurecedor e Betão
	3	4,67	2,30	Endurecedor e Betão
	4	4,02	1,98	Endurecedor e Betão
	5	4,46	2,20	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	3,35	1,65	Endurecedor
	2	1,35	0,67	Endurecedor
	3	4,59	2,26	Endurecedor e Betão
	4	3,84	1,89	Endurecedor e Betão
	5	5,15	2,54	Endurecedor

Tabela A.69 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E5

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	6,61	3,26	Endurecedor e Betão
	2	5,63	2,78	Betão
	3	6,04	2,98	Betão
	4	5,21	2,57	Betão
	5	5,11	2,52	Betão
8,5 MPa + 45 min	1	4,10	2,02	Endurecedor
	2	5,27	2,60	Endurecedor e Betão
	3	3,22	1,59	Endurecedor
	4	4,73	2,33	Betão
	5	6,20	3,06	Endurecedor

ANEXOS

Tabela A.70 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2E6

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	1,92	0,95	Endurecedor
	2	4,28	2,11	Endurecedor
	3	4,98	2,46	Endurecedor e Betão
	4	5,19	2,56	Betão
	5	6,85	3,38	Endurecedor e Betão
8,5 MPa + 45 min	1	1,48	0,73	Endurecedor
	2	0,60	0,30	Endurecedor
	3	2,90	1,43	Endurecedor
	4	2,52	1,24	Endurecedor
	5	3,76	1,86	Endurecedor

Tabela A.71 – Resultados obtidos do ensaio de pull-off de C2EA

		kN	MPa	Rutura por:
8,5 MPa	1	3,69	1,88	Endurecedor
	2	4,31	2,20	Endurecedor
	3	5,39	2,75	Endurecedor
	4	5,65	2,88	Betão
	5	5,78	2,94	Endurecedor
8,5 MPa + 45 min	1	2,49	1,27	Endurecedor
	2	1,97	1,00	Endurecedor
	3	2,41	1,23	Endurecedor
	4	4,64	2,36	Betão
	5	4,56	2,32	Endurecedor

ANEXOS

Anexo 6 – Resultados obtidos do ensaio do índice esclerométrico

Tabela A.72 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E1

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	30,0	40,0	32,0	41,0	33,0	39,0	43,0	40,0	31,0
	MPa	28,0	45,0	31,5	47,0	33,0	43,5	50,5	45,0	30,0
	Mediana (MPa)	39,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	30,0	36,0	30,0	36,0	32,0	33,0	34,0	35,0	32,0
	MPa	28,0	38,0	28,0	38,0	31,5	33,0	34,0	36,0	31,5
	Mediana (MPa)	33,0								

Tabela A.73 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	44,0	49,0	46,0	38,0	34,0	40,0	38,0	34,5	36,0
	MPa	52,0	62,0	56,0	41,0	34,0	45,0	41,0	34,5	38,0
	Mediana (MPa)	41,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	29,0	33,0	33,5	32,5	36,0	40,0	36,0	36,0	30,0
	MPa	27,0	33,0	33,5	32,0	38,0	45,0	38,0	38,0	28,0
	Mediana (MPa)	33,5								

Tabela A.74 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E3

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	30,5	36,0	32,5	36,0	35,0	43,0	50,0	33,0	41,0
	MPa	29,0	38,0	32,0	38,0	36,0	50,5	64,0	33,0	47,0
	Mediana (MPa)	38,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	31,0	34,0	31,0	36,0	38,0	44,0	37,0	42,0	36,0
	MPa	30,0	34,0	30,0	38,0	41,0	52,0	40,0	48,5	38,0
	Mediana (MPa)	38,0								

ANEXOS

Tabela A.75 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E4

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	30,0	37,0	36,0	36,0	28,0	34,0	34,0	34,0	31,0
	MPa	28,0	40,0	38,0	38,0	25,0	34,0	34,0	34,0	30,0
	Mediana (MPa)	34,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	29,0	39,0	34,0	37,0	32,0	36,0	32,0	32,0	32,0
	MPa	27,0	43,0	34,0	40,0	31,5	38,0	31,5	31,5	31,5
	Mediana (MPa)	31,5								

Tabela A.76 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E5

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	33,0	31,0	34,5	35,0	28,0	34,0	34,0	35,0	28,0
	MPa	33,0	30,0	34,5	36,0	25,0	34,0	34,0	36,0	25,0
	Mediana (MPa)	34,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	28,0	33,5	35,0	38,0	37,0	37,0	35,0	36,0	33,0
	MPa	25,0	33,5	36,0	41,0	40,0	40,0	36,0	38,0	33,0
	Mediana (MPa)	36,0								

Tabela A.77 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1E6

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	34,0	32,0	50,0	43,0	38,5	36,0	32,5	43,5	34,0
	MPa	34,0	31,5	64,0	50,5	42,0	38,0	32,0	52,0	34,0
	Mediana (MPa)	38,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	31,0	35,0	45,0	38,0	49,5	39,5	34,0	34,5	31,5
	MPa	30,0	36,0	54,0	41,0	62,5	44,0	34,0	34,5	30,5
	Mediana (MPa)	36,0								

ANEXOS

Tabela A.78 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C1EA

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	31,0	37,5	32,0	41,0	37,0	42,0	32,0	47,0	38,0
	MPa	30,0	40,5	31,0	47,0	39,5	48,5	31,0	58,0	41,0
	Mediana (MPa)	46,5								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	32,0	36,0	34,0	37,5	35,0	36,0	33,0	35,0	31,0
	MPa	31,0	38,0	34,0	39,5	36,0	38,0	33,0	36,0	31,0
	Mediana (MPa)	36,0								

Tabela A.79 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E1

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	31,0	36,0	35,0	36,0	35,0	35,0	36,0	39,0	32,0
	MPa	30,0	38,0	36,0	38,0	36,0	36,0	38,0	43,0	31,5
	Mediana (MPa)	36,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	30,0	43,5	37,0	41,5	35,0	37,0	49,5	60,5	31,0
	MPa	28,0	52,0	40,0	48,0	36,0	40,0	62,5	-	30,0
	Mediana (MPa)	40,0								

Tabela A.80 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E2

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	45,0	39,0	41,5	34,0	34,0	34,5	32,0	46,0	32,0
	MPa	54,0	43,0	48,0	34,0	34,0	34,5	31,5	56,0	31,5
	Mediana (MPa)	34,5								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	28,0	35,0	32,0	38,0	33,0	33,5	34,5	35,0	31,0
	MPa	25,0	36,0	31,5	41,0	33,0	33,5	34,5	36,0	30,0
	Mediana (MPa)	33,5								

ANEXOS

Tabela A.81 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E3

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	34,0	36,0	41,5	37,5	36,5	52,0	36,0	45,0	30,0
	MPa	34,0	38,0	48,0	40,0	39,0	31,5	38,0	54,0	28,0
	Mediana (MPa)	39,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	28,0	36,0	31,5	34,5	33,5	34,5	34,0	35,5	30,5
	MPa	25,0	38,0	30,0	34,5	33,5	34,5	34,0	37,0	29,0
	Mediana (MPa)	34,0								

Tabela A.82 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E4

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	30,5	38,5	35,0	36,0	33,0	34,5	38,5	34,5	31,5
	MPa	29,0	42,0	36,0	38,0	33,0	34,5	42,0	34,5	30,0
	Mediana (MPa)	34,5								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	30,0	35,5	33,5	34,0	34,0	35,0	34,0	34,0	30,0
	MPa	28,0	37,0	33,5	34,0	34,0	36,0	34,0	34,0	28,0
	Mediana (MPa)	34,0								

Tabela A.83 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E5

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	29,0	35,5	33,5	41,5	35,0	36,5	33,5	36,0	30,5
	MPa	27,0	37,0	33,5	48,0	36,0	39,0	33,5	38,0	29,0
	Mediana (MPa)	36,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	29,5	34,0	38,5	37,0	33,0	34,5	35,5	35,5	30,0
	MPa	27,5	34,0	42,0	40,0	33,0	34,5	37,0	37,0	28,0
	Mediana (MPa)	34,5								

ANEXOS

Tabela A.84 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2E6

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	29,0	46,5	34,5	37,0	36,5	36,0	33,0	40,0	32,0
	MPa	26,0	57,0	34,5	40,0	39,0	38,0	33,0	45,0	31,0
	Mediana (MPa)	38,0								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	31,0	39,5	34,0	36,0	33,0	39,0	34,0	35,0	31,0
	MPa	30,0	44,0	34,0	38,0	33,0	43,0	34,0	36,0	30,0
	Mediana (MPa)	34,0								

Tabela A.85 – Resultados obtidos do ensaio esclerométrico de C2EA

		1	2	3	4	5	6	7	8	9
8,5 MPa	Leitura	35,0	42,5	36,0	44,0	34,0	42,0	41,0	52,0	36,0
	MPa	36,0	49,5	38,0	52,0	34,0	48,0	46,5	67,0	38,0
	Mediana (MPa)	46,5								
8,5 MPa + 45 min	Leitura	32,0	36,0	34,0	37,5	35,0	36,0	33,0	35,0	31,0
	MPa	31,0	38,0	34,0	39,5	36,0	38,0	33,0	36,0	31,0
	Mediana (MPa)	36,0								

Anexo 7 – Dados relativos ao ensaio de resistência à compressão

Tabela A.86 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cúbicos do C1

		Massa (kg)	Força (kN)	Resistência (MPa)
3 dias	1	8,122	747,0	33,2
	2	8,086	706,5	31,4
	3	8,099	724,5	32,2
7 dias	4	8,098	924,8	41,1
	5	7,916	924,8	41,1
	6	7,962	936,0	41,6
28 dias	7	7,897	1111,5	49,4
	8	8,120	1129,5	50,2
	9	7,823	1104,8	49,1

Tabela A.87 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cúbicos do C2

		Massa (kg)	Força (kN)	Resistência (MPa)
3 dias	1	8,300	1086,8	48,3
	2	8,300	1077,8	47,9
	3	8,320	1095,8	48,7
7 dias	4	8,356	1406,3	62,5
	5	8,359	1406,3	62,5
	6	8,416	1444,5	64,2
28 dias	7	8,399	1730,3	76,9
	8	8,345	1694,8	75,3
	9	8,419	1734,8	77,1

ANEXOS

Tabela A.88 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cilíndricos do C1

Identificação		Altura (mm)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Observações
E1	8,5 MPa	49	0,226	2450	95,6	50,7	
		49	0,226	2450	87,4	46,3	O provete apresenta fissuras
	8,5 MPa + 45 min	49	0,222	2400	81,4	43,2	O provete apresenta fissuras
		49	0,222	2400	83,8	44,4	O provete apresenta fissuras
E2	8,5 MPa	49	0,225	2440	92,3	48,9	
		49	0,223	2410	107,0	56,7	O provete apresenta fissuras
	8,5 MPa + 45 min	49	0,224	2420	102,0	54,1	
		49	0,223	2410	85,2	45,2	
E3	8,5 MPa	49	0,226	2450	113,0	59,9	
		49	0,226	2450	115,0	61,0	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,225	2440	107,0	56,7	O provete apresenta fissuras
		49	0,225	2440	96,8	51,3	O provete apresenta fissuras
E4	8,5 MPa	49	0,226	2450	108,0	57,3	
		49	0,222	2400	101,0	53,6	O provete apresenta fissuras
	8,5 MPa + 45 min	49	0,222	2400	93,9	49,8	O provete apresenta fissuras
		49					O provete abriu ao meio durante a retificação dos topos (com fissuras)
E5	8,5 MPa	49	0,225	2440	119,0	63,1	
		49	0,226	2450	114,0	60,5	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,223	2410	112,0	59,4	O provete apresenta fissuras
		49	0,222	2400	104,0	55,2	O provete apresenta fissuras
E6	8,5 MPa	49	0,228	2470	88,9	47,1	O provete apresenta fissuras
		49	0,226	2450	97,2	51,5	O provete apresenta fissuras
	8,5 MPa + 45 min	49	0,226	2450	106,0	56,2	O provete apresenta fissuras
		49	0,227	2460	98,3	52,1	O provete apresenta fissuras

ANEXOS

Tabela A.89 – Resultados obtidos da resistência à compressão dos provetes cilíndricos do C2

Identificação		Altura (mm)	Massa (kg)	Massa volúmica (kg/m ³)	Carga de rotura (kN)	Tensão de rotura (MPa)	Observações
E1	8,5 MPa	49	0,227	2460	143	75,8	
		49	0,227	2460	142	75,3	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,226	2450	142	75,3	
		49	0,229	2480	141	74,8	
E2	8,5 MPa	49	0,230	2490	166	88,0	
		49	0,228	2490	148	78,5	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,228	2470	139	73,7	
		49	0,228	2470	151	80,1	
E3	8,5 MPa	49	0,227	2460	156	82,7	
		49	0,228	2470	157	83,2	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,225	2440	133	70,5	O provete apresenta fissuras
		49	0,225	2440	140	74,2	
E4	8,5 MPa	49	0,231	2500	145	76,9	
		49	0,230	2490	149	79,0	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,231	2500	141	74,8	
		49	0,227	2460	156	82,7	
E5	8,5 MPa	49	0,227	2460	160	84,8	
		49	0,228	2470	153	81,1	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,228	2470	160	84,8	
		49	0,227	2460	155	82,2	
E6	8,5 MPa	49	0,227	2460	148	78,5	
		49	0,230	2490	154	81,7	
	8,5 MPa + 45 min	49	0,231	2500	153	81,1	
		49	0,227	2460	135	71,6	