



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

Mestrado em Engenharia Civil
Especialização em Construção

Dissertação

**Influência de situações não conformes devidas à colocação do betão
de base em lajes com a aplicação de endurecedores de superfície**

Ana Luísa Caldeira Vieira

Orientador:
Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves

Évora, Julho de 2013

Mestrado em Engenharia Civil
Especialização em Construção

Dissertação

**Influência de situações não conformes devidas à colocação do
betão de base em lajes com a aplicação de endurecedores de
superfície**

Ana Luísa Caldeira Vieira

Orientador:

Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves



193 475

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

AGRADECIMENTOS

À Professora Maria Teresa Guerra Pinheiro Alves, orientadora desta dissertação, pelos conhecimentos transmitidos, disponibilidade e atenção despendida.

Aos meus colegas de laboratório Óscar Rodrigues e Cíntia Freitas, pelo trabalho desenvolvido em conjunto.

À Maria João Marques pela sua ajuda na elaboração e execução dos ensaios.

Ao professor Bettencourt Ribeiro e ao LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil) na ajuda da realização de alguns ensaios.

À empresa Britobetão, pelos materiais fornecidos (areias, britas e cimento) e na execução dos ensaios de resistência à compressão dos cubos.

Às empresas que forneceram os adjuvantes, a Sika pelo adjuvante superplastificante e a Basf pelo adjuvante plastificante.

À empresa Duro-Europa que forneceu o endurecedor de superfície superquartz.

Aos meus pais Guilherme António Vieira e Maria da Conceição Vieira pelo apoio incondicional a todos os níveis na minha formação académica.

Ao meu namorado Richard Martins pela paciência, pela força e pelo ânimo.

A todos os meus amigos e amigas que sempre estiveram presentes e que me aconselharam e incentivaram com carinho e dedicação.

Em especial, à minha melhor amiga Telma Silva pela força e apoio que me deu ao longo da minha formação académica.

E a todos os meus familiares que sempre me deram amor e força, valorizando meus potenciais.

Obrigada!

Resumo

Segundo estudos anteriores, por vezes verificam-se problemas de delaminação e fissuração em pavimentos com a aplicação de endurecedores de superfície, principalmente em condições de vento e/ou calor.

Estes fenómenos muitas vezes provêm de outros fatores que não só as condições climatéricas, ou seja, os problemas podem começar no betão de base, associados algumas vezes a situações menos corretas na sua elaboração e aplicação. Por este motivo, nesta dissertação ir-se-á analisar qual a influência do betão de base quando se produz um conjunto de não-conformidades em obra, nomeadamente ao nível da colocação do betão de base.

A partir dos resultados obtidos foi possível verificar que nem todas as situações de não-conformidade obtiveram maus resultados na ligação endurecedor/betão.

Palavras chave: *Delaminação; Fissuração; Endurecedores de superfície; Situações de não-conformidade.*

Abstract

Influence of non-compliant situations due to placement of the concrete base slabs by applying surface hardeners

According to previous studies, problems with delamination and cracking in pavements with surface hardener have been found, especially in windy conditions and/or heat.

But these phenomenons often come from other factors, problems can start at the concrete base, sometimes associated to situations where there is an incorrect design and implementation and for this reason this thesis will analyze the influence of the concrete base when it produces a set of non-conformities in work, particularly in terms of placement of the concrete base. Based on what has been reported by several companies a set of tests has established.

From the obtained results it was verified that not all situations of non-compliance showed poor results in the connection of the surface hardener / concrete.

Keyword: *delamination; cracking; surface hardeners; non-compliance situations.*

Índice

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. ASPECTOS GERAIS	1
1.2. OBJECTIVOS DA DISSERTAÇÃO	1
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO	2
2. ANTECEDENTES	3
3. MATERIAIS	7
3.1. BRITAS	7
3.2. AREIA	10
3.3. CIMENTO	11
3.4. ÁGUA	11
3.5. ADJUVANTES	12
3.6. ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE	12
4. METODOLOGIA.....	13
4.1. BETÃO DE BASE E ENSAIOS NO ESTADO FRESCO	16
4.2. DETERMINAÇÃO DA TAXA DE EVAPORAÇÃO	22
4.3. APLICAÇÃO E AFAGAMENTO DO ENDURECEDOR DE SUPERFÍCIE	22
4.4. ENSAIOS NO ESTADO ENDURECIDO	25
5. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE.....	31
6. CONCLUSÕES	52
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	55
ANEXOS	

ANEXO I – QUESTIONÁRIO REALIZADO ÀS EMPRESAS

ANEXO II – REGISTOS DOS ENSAIOS REALIZADOS

ANEXO III – ENSAIOS DE RESISTÊNCIA À COMPRESSÃO

Índice de Figuras

Figura 3. 1 – Brita 1 do tipo britado.	7
Figura 3. 2 – Brita 2 do tipo britado.	8
Figura 3. 3 – Areia fina do tipo rolado.	10
Figura 3. 4 – Cimento CEM II/A-L 42,5R de cor cinzenta.	11
Figura 4. 1 – Vibração da amassadura de betão.....	13
Figura 4. 2 – Primeira amassadura produzida (2/3 de amassadura).....	14
Figura 4. 3 – Primeira amassadura ao centro para ser colocada por cima da segunda amassadura.....	15
Figura 4. 4 – Cofragens com a dimensão 30x60x10 cm ³	16
Figura 4. 5 – Processo de amassadura do betão	17
Figura 4. 6 – Medição da temperatura da amassadura e cone de Abrams.....	18
Figura 4. 7 – Ensaio de abaixamento.....	18
Figura 4. 8 – Betão peneirado a ser colocado nos moldes.....	19
Figura 4. 9 – Penetrometro e as secções da agulha	20
Figura 4. 10 – Túnel 8,5 MPa+45 min à esquerda e 8,5 MPa à direita.....	20
Figura 4. 11 – Disposição da lajeta, tinas, e cubos de resistência à penetração.....	21
Figura 4. 12 – Túneis prontos para o ensaio.	21
Figura 4. 13 – Esquema dos túneis.....	22
Figura 4. 14 – Colocação do endurecedor de superfície	23

Figura 4. 15 – Processo de afagamento.....	24
Figura 4. 16 – Colocação da película aderente sobre a lajeta	25
Figura 4. 17 – Prensa.....	26
Figura 4. 18 – Caroteadora com broca de 5 cm de diâmetro.....	26
Figura 4. 19 – Máquina de ensaio da resistência à compressão dos provetes cilíndricos	27
Figura 4. 20 – Colagem da pastilha cilíndrica.....	28
Figura 4. 21 – Parafuso enroscado na pastilha	28
Figura 4. 22 – Aparelho para o ensaio de Pull-Off, ajustado ao parafuso.....	29
Figura 4. 23 – Exemplos de rupturas	29
Figura 4. 24 – Esclerómetro de Schmidt	30
Figura 5. 1 – Fissura da superfície da lajeta para o L1C28,5.....	42

Índice de Tabelas

Tabela 4. 1 – Composição da amassadura para os dois tipos de betão.	16
Tabela 5. 1 – Temperaturas médias ao meio dos túneis	35
Tabela 5. 2 – Taxa de evaporação média para cada composição a meio da lajeta antes do instante de aplicação do endurecedor	36
Tabela 5. 3 – Estimativa de água antes da colocação do endurecedor	37
Tabela 5. 4 – Aspecto visual dos provetes cilíndricos.....	40
Tabela 5. 5 – Aspecto visual da lateral exterior das lajetas.....	41
Tabela 5. 6 – Ensaios de arrancamento por Pull-Off para C1.....	45
Tabela 5. 7 – Ensaios de arrancamento por Pull-Off para C2.....	46
Tabela 5. 8 – Índice esclerométrico médio para os diferentes ensaios e composições.....	50

Índice de gráficos

Gráfico 3. 1 – Curva granulométrica brita 1.....	8
Gráfico 3. 2 – Curva granulométrica da brita 2.....	9
Gráfico 3. 3 – Curva granulométrica da areia fina.....	11
Gráfico 5. 1 – Evolução da resistência à penetração do L0.....	31
Gráfico 5. 2 – Evolução da resistência à penetração do L1.....	32
Gráfico 5. 3 – Evolução da resistência à penetração do L2.....	32
Gráfico 5. 4 – Evolução da resistência à penetração do L3.....	33
Gráfico 5. 5 – Evolução da resistência à penetração do L4.....	33
Gráfico 5. 6 – Resistência à compressão média dos provetes cúbicos e cilíndricos	39

1. INTRODUÇÃO

1.1. Aspetos Gerais

Os endurecedores de superfície estão a ser amplamente utilizados nos pavimentos em betão como proteção superficial com a finalidade de conferir um aumento de resistência ao desgaste, constituindo uma solução adequada para os locais sujeitos a tráfego e utilização de grande intensidade, sendo geralmente aplicados em zonas industriais, armazéns e parques de estacionamento.

Atualmente têm-se verificado um aumento considerável de problemas nos pavimentos em betão com endurecedores de superfície, nomeadamente a delaminação e fissuração. Estes problemas ocorrem habitualmente no verão, quando as temperaturas são mais elevadas.

Os problemas ocorridos nos pavimentos com endurecedor de superfície têm implicações económicas importantes, uma vez que a sua reparação abrange grandes áreas, tornando-se dispendiosa, além de que provoca atrasos no decorrer da obra.

A ausência de legislação específica dificulta a identificação das causas das anomalias anteriormente referidas, devido à variação de metodologias e materiais aplicados.

1.2. Objetivos da dissertação

Esta dissertação, tem como principal objetivo analisar a influência da ocorrência de situações não conformes nos betões de base quando se aplicam endurecedores de superfície. Pretende-se determinar até que ponto, as diferentes condições de cura do betão de base permitem, ou não, uma boa ligação ao endurecedor de superfície numa situação de verão. Outro dos objetivos, é o de conseguir aportar mais informação para o projeto de investigação onde este estudo está inserido de maneira a que possa ser elaborado um manual com recomendações para a aplicação de endurecedores de superfície.

1.3. Estrutura da dissertação

Esta dissertação está organizada por capítulos, sendo estes os seguintes:

✓ Capítulo 1 – Introdução

O primeiro capítulo faz uma primeira abordagem geral sobre a problemática da aplicação dos endurecedores de superfície e apresenta os objetivos e a estrutura da dissertação.

✓ Capítulo 2 – Antecedentes

O segundo capítulo aborda os endurecedores de superfícies e as situações de não conformidade do betão de base.

✓ Capítulo 3 – Materiais

O terceiro capítulo descreve os constituintes escolhidos para a composição de betão.

✓ Capítulo 4 – Metodologia

O quarto capítulo aclara os métodos empregados no estudo, bem como os parâmetros a ter em consideração, os ensaios escolhidos até à obtenção das soluções finais.

✓ Capítulo 5 – Resultados obtidos e sua análise

No quinto capítulo são apresentados os resultados obtidos nos ensaios realizados para as diferentes situações do estudo e é realizada a sua análise.

✓ Capítulo 6 – Conclusões

No sexto capítulo é elaborada uma avaliação final do trabalho desenvolvido.

2. ANTECEDENTES

Nos últimos anos, têm-se verificado muitos problemas nos pavimentos com endurecedores de superfície, sendo estes principalmente a delaminação e fissuração. As principais causas associadas a estes fenómenos são essencialmente devido a dois fatores: a deficiente execução de acabamentos, que podem levar ao aprisionamento de água e ar sob a camada superficial, ficando pouco permeável na sua consolidação; e o espalhamento do endurecedor de superfície em zonas já secas e endurecidas, provocando assim várias camadas [1].

No primeiro caso, os trabalhos de acabamento são iniciados prematuramente em zonas onde o betão não se encontra adequadamente endurecido e continua a expulsar água e/ou ar do seu interior. O afagamento do endurecedor de superfície através das talochas mecânicas torna a superfície menos permeável, impossibilitando a saída de água e/ou ar que ainda se encontra no betão, aumentando assim, a probabilidade de aparecerem bolhas entre as duas camadas[1].

No segundo caso, acontece habitualmente quando os trabalhos de acabamento são realizados tardiamente, quando existe diferentes endurecimentos ou quando é salpicada água sobre a laje, para ajudar a hidratar o endurecedor, pois leva à formação de uma pasta à superfície que depois pode ser espalhada sobre zonas já endurecidas, dificultando a ligação com o betão de base [1].

A uniformidade da consistência e do endurecimento do betão é um fator importante em ambos os casos para a qualidade do acabamento [1]. Logo, é essencial que o betão tenha abaixamentos que sejam aproximadamente constantes e que as lajes de betão não estejam submetidas a condições climáticas agressivas, pois podem provocar diferentes endurecimentos no betão. As elevadas temperaturas e vento, provocam maior perda de água à superfície quando comparado com o interior do betão.

Tal como já foi referido nos objetivos desta dissertação, pretende-se apenas estudar qual é a influência que o betão de base tem na ligação com o endurecedor de superfície quando existem situações de não-conformidades na colocação do betão de base. Por vezes os trabalhos não ocorrem como previsto e surgem situações não-conformes. Uma destas situações não-conformes pode ser devida à colocação do betão de base.

O betão é um material que precisa de cuidados especiais, tornando-se essencial estudar as diferentes etapas. Estas vão desde a seleção dos componentes, dosagem, ensaios iniciais para avaliação das propriedades do betão fresco e endurecido e por fim a sua produção. É preciso respeitar as condições impostas para a mistura, transporte, colocação, compactação e cura do betão, assim como, compreender a influência de cada uma delas no comportamento final do betão [2]. É muito importante aplicar o betão de forma correta, a fim de garantir que betão colocado responda aos requisitos pretendidos, como a consistência e a resistência. O betão é um material amplamente utilizado, mas difícil de executar, devido a várias razões, como: componentes (grande diversidade das propriedades físicas e químicas, como acontece nos seus agregados); processo de fabrico (muitas vezes insuficientemente preciso, especialmente quando é realizado em obra); colocação em obra (depende bastante da mão-de-obra qualificada); incumprimento das normas aplicáveis (resultando daí muitas vezes anomalias); condições adversas (climatéricas e de aplicação); ausência do controlo de qualidade exigível [3].

É necessário assim, conhecer a influência de situações não-conformes nos betões de base aquando da aplicação de endurecedores de superfície. Com este estudo será possível avaliar os erros de não conformidade do betão de base minorando assim a possibilidade de ocorrência de problemas na aplicação do endurecedor. Para tal, foram contactadas um conjunto de empresas especializadas na aplicação de endurecedores de superfície, de maneira a conhecer as principais situações não-conformes ocorridas em obra (Anexo I). Verificou-se que as situações não-conformes mais usuais eram: vibração em excesso; falta de betão, o que implicava esperar por uma nova autobetoneira ou arrastar o betão de outros sítios com um estado de cura mais avançado; e adição de água ao betão ainda na autobetoneira por este estar muito seco devido aos atrasos.

A vibração do betão consiste essencialmente em tornar o betão mais compacto e provocar a saída de água e ar, permitindo uma maior aproximação entre as partículas, diminuído assim a porosidade e, conseqüentemente aumentar a resistência. Tem também como função adaptar o betão à cofragem, para tornar as superfícies com textura plana, lisa e estética. A energia e o tempo de vibração dependem da trabalhabilidade do betão, estas de verão ser crescentes, de betões com consistências plásticas para secas. O excesso de vibração produz segregação, de modo que o adensamento do betão deve terminar quando a superfície tornar-se lisa e brilhante e quando não aparecer bolhas de ar na superfície. A

vibração tem alguma influência na qualidade final do betão, logo o excesso de vibração poderá condicionar a ligação endurecedor/betão, esta não conformidade provoca a segregação dos materiais, que é a separação dos componentes do betão em estado fresco, em que a sua distribuição deixa de ser uniforme, podendo por vezes separar a mistura de forma a conter mais água e agregados finos à superfície, sendo também conhecida por exsudação. A exsudação é uma forma particular de segregação, em que a água da mistura tende elevar-se à superfície do betão recentemente lançado. Como resultado da exsudação, poderia formar uma camada de água ou ar entre o betão de base e o endurecedor e aumentar a razão a/c á superfície da laje e com isto diminuir a sua resistência [4].

Outro facto que pode prejudicar a qualidade do betão e naturalmente trazer problemas na ligação endurecedor/betão, são os atrasos na colocação do betão que está em falta para completar o preenchimento da lajeta. Segundo Portland Cement Association [5], um dos fatores importantes é ter em consideração as dimensões das lajes e os atrasos na colocação do betão, pois os betões com endurecimentos diferenciados levam á existência de juntas. Esses diferentes estados de endurecimento, formam assim zonas mais secas e zonas mais húmidas que poderão influenciar numa boa ligação endurecedor/betão, como foi descrito anteriormente.

No caso em que é adicionada água à composição, deve-se, mais uma vez, ao atraso da colocação do betão, em que este fica durante muito tempo na autobetoneira, apresentando-se seco e com a trabalhabilidade diminuída. O ato de introduzir água vista a melhorar a trabalhabilidade do betão, provoca uma alteração da composição inicial do betão. A alteração da composição, implicará que o seu comportamento possa ser diferente, podendo provocar o aparecimento de anomalias. De facto, sendo o controlo da trabalhabilidade indispensável para que se possam obter as propriedades previstas para o betão endurecido e dado esta característica facilitar o processo de execução, a mesma não deve ser alterada.

Atualmente temos a possibilidade de introduzir no betão os chamados plastificantes e superplastificantes que nos permitem reduzir a quantidade de água, conseguindo diminuir a razão a/c, sem prejudicar a trabalhabilidade do betão. Num estudo realizado por Sequeira [6] verificou-se que a boa ligação endurecedor/betão não dependia diretamente do adjuvante utilizado no betão de base. No entanto, os endurecedores de superfície, precisam de parte da água do betão de base para se conseguirem ligar, tornando-se assim

importante aplicar o endurecedor durante o chamado “tempo aberto”, ou seja, é o período de tempo disponível para aplicação do endurecedor de superfície de maneira a obter uma boa aderência entre o betão de base e o endurecedor de superfície. Mas para que o endurecedor seja colocado corretamente no chamado “tempo aberto” é preciso que o betão esteja uniforme e que não apresente diferentes estados de endurecimento. A falta ou excesso de água podem prejudicar a ligação endurecedor/betão.

3. MATERIAIS

3.1. Britas

Para a produção da amassadura, foi utilizado brita 1 (Fig. 3.1) e brita 2 (Fig. 3.2) do tipo britado e de origem granítica, estas encontram-se de acordo com a Norma Portuguesa (NP) 1379 – Granulometria e massa volúmica de agregados [7].



Figura 3. 1 – Brita 1 do tipo britado

As propriedades da brita 1 foram dadas pelo fornecedor, à exceção da % de humidade que foi determinada, sendo as mesmas as indicadas a seguir:

- Diâmetro entre 2,36 e 24 mm;
- Massa volúmica de 2650 kg/m³;
- Módulo de finura de 6,35;
- Percentagem de absorção de 0,60%;
- Percentagem de humidade é de 0,28%.

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da brita 1 (Gráfico 3.1). Em abcissas encontram-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

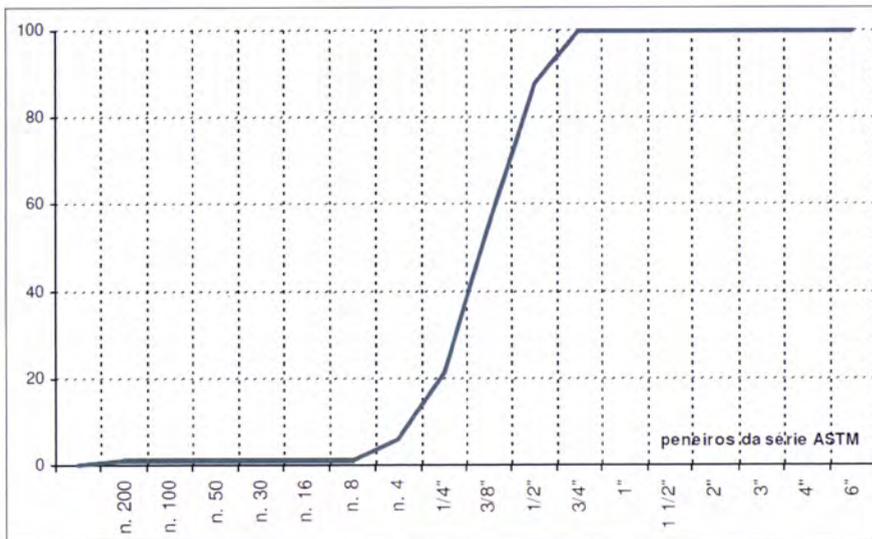


Gráfico 3. 1 – Curva granulométrica brita 1



Figura 3. 2 – Brita 2 do tipo britado

As propriedades da brita 2 foram dadas pelo fornecedor, à exceção da % de humidade que foi determinada, sendo as mesmas as indicadas a seguir:

- Diâmetro entre 9,5 e 30 mm;
- Massa volúmica de 2680 kg/m³;
- Módulo de finura de 7,22;
- Percentagem de absorção de 0,60%;
- Percentagem de humidade é de 0,23%.

Em seguida apresenta-se o gráfico da curva granulométrica da brita 2 (Gráfico 3.2). Em abcissas encontram-se os números dos peneiros e em ordenadas a percentagem de material passado acumulado.

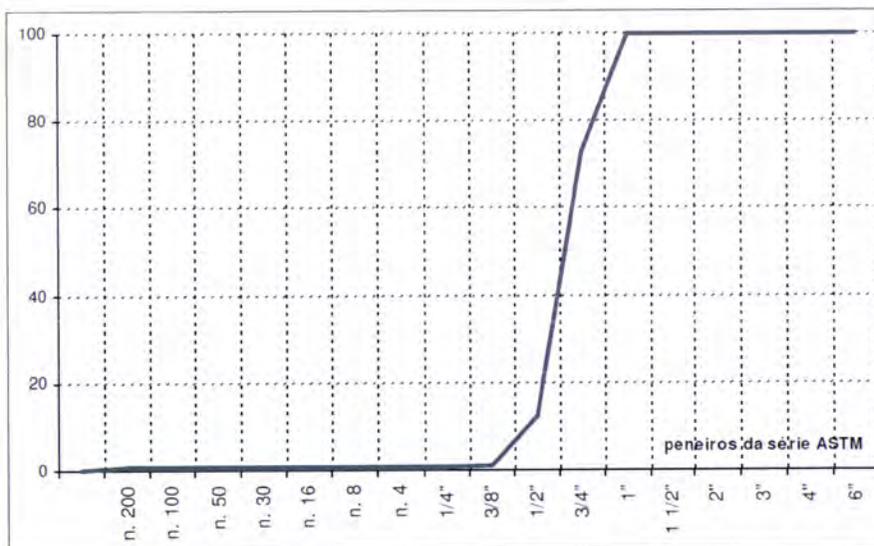


Gráfico 3. 2 – Curva granulométrica da brita 2

3.2. Areia

A areia é quartzítica e composta principalmente por óxido de silício (SiO_2).

É uma areia fina do tipo rolado (Fig. 3.3) e está em conformidade com a NP 1379 – Granulometria e massa volúmica de agregados [7].



Figura 3. 3 – Areia fina do tipo rolado

As propriedades da areia são foram dadas pelo fornecedor, à exceção da % de humidade que foi determinada, sendo as mesmas as indicadas a seguir:

- Diâmetro entre 0,0625 e 2 mm;
- Massa volúmica de 2620 kg/m^3 ;
- Módulo de finura de 1,81;
- Percentagem de absorção de 0,0%;
- Percentagem de humidade de 0,11%.

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

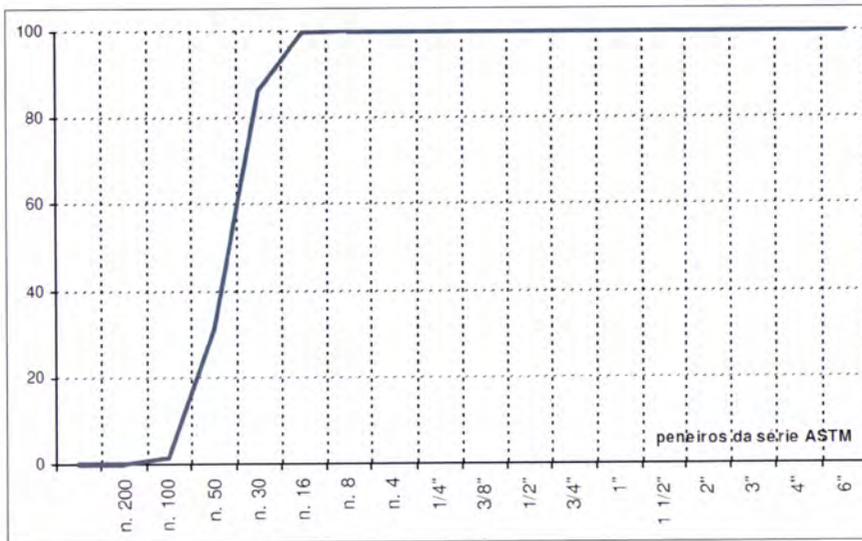


Gráfico 3.3 – Curva granulométrica da areia fina

3.3. Cimento

O cimento utilizado é o CEM II/A-L 42,5R de cor cinzenta (Fig. 3.4), que é constituído por 80 a 94% de clínquer, 6 a 20% de calcário e 0 a 5% de outros constituintes [8].



Figura 3.4 – Cimento CEM II/A-L 42,5R de cor cinzenta

3.4. Água

Na realização dos ensaios laboratoriais utilizou-se água da rede pública que abastece o Pólo da Mitra da Universidade de Évora, local onde foram elaborados os ensaios

experimentais, e esta encontra-se de acordo com a NP Norma Europeia (EN) 1008 de 2003 [9].

3.5. Adjuvantes

Para o fabrico do betão de base foram utilizados dois adjuvantes, por separado. Um dos adjuvantes é plastificante e redutor de água e está de acordo com NP EN 934-2 [10], e o outro é um superplastificante e forte redutor de água e cumpre todos os requisitos da NP EN 934-2 [10]. Ambos permitem reduzir a quantidade de água para o fabrico do betão, sem modificar a consistência.

3.6. Endurecedor de superfície

O endurecedor de superfície escolhido é um endurecedor que utiliza agregados quartzíticos. É utilizado para aumentar as características de resistência à abrasão e ao impacto de pavimentos, tanto exteriores como interiores, melhorando assim as características do pavimento sendo estes, destinados a tráfego ligeiro.

A sua composição granulométrica é uma mistura homogénea, essencialmente constituída por ligante (cimento Portland CEM I 42,5R) e agregados minerais de quartzo de grande dureza.

4. METODOLOGIA

Nesta fase serão descritas as etapas, de forma detalhada, dos trabalhos desenvolvidos nos ensaios experimentais. Estes ensaios decorreram no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade de Évora.

Em obra, surgem por vezes situações não-conformes derivadas à aplicação do betão de base, podendo estas causar problemas na aderência do endurecedor de superfície ao betão de base. Com o apoio da consulta efetuada a várias empresas e já brevemente relatada nos antecedentes, foi estabelecido um plano de trabalhos que contempla algumas destas situações anómalas (as mais usuais). No Anexo [I] encontra-se o questionário realizado às empresas. Estas situações foram comparadas entre si e com uma amostra efetuada corretamente. As situações consideradas no estudo foram:

- **Referência (L0)** – A amassadura foi produzida corretamente e de acordo com as boas práticas, sendo depois transportada e colocada nas lajetas. Posteriormente foi vibrada e nivelada.
- **Vibração em excesso (L1)** – Vibrou-se mais de 20 segundos em cada ponto da lajeta com um vibrador de agulha (Fig. 4.1).



Figura 4. 1 – Vibração da amassadura de betão

- **Falta de betão, à espera de nova amassadura (L2)** – Fez-se uma primeira amassadura, que preencheu 2/3 da cofragem (Fig. 4.2). Deixou-se a amassadura rugosa e colocou-se dentro dos túneis, que serão descritos mais à frente nos pontos 4.1 e 4.2, durante 1 hora, simulando uma situação de falta de material e espera por outro camião. Posteriormente preencheu-se o resto da cofragem com uma segunda amassadura recém-feita. Desta vez não se vibrou, apenas se nivelou a laje.



Figura 4. 2 – Primeira amassadura produzida (2/3 de amassadura)

- **Falta de betão, arrastamento de material de zonas mais endurecidas (L3)** – Para este ensaio foram utilizadas 3 cofragens. Elaborou-se uma primeira amassadura e guardou-se numa cofragem durante 1 hora dentro dos túneis de vento e calor. Depois, passado esse tempo, preencheram-se as outras duas cofragens com uma nova amassadura até 2/3 da cofragem e por fim, colocou-se a primeira amassadura que esteve nos túneis durante 1 hora, por cima até preencher a cofragem (Fig. 4.3). Em seguida não se vibrou, mas nivelou-se a amassadura.



Figura 4. 3 – Primeira amassadura ao centro para ser colocada por cima da segunda amassadura

- **Betão de base em espera na autobetoneira (L4)** – Deixou-se estar a amassadura dentro da betoneira a amassar durante 1 hora e 30 min, de maneira a simular uma situação de atraso da autobetoneira. Devido aos atrasos e para melhorar a trabalhabilidade geralmente as empresas adicionam água até a mesma ter a consistência pretendida, que foi o realizado em laboratório. A quantidade de água adicionada foi registada e a consistência foi determinada. Seguidamente fez-se o ensaio de abaixamento, colocou-se nas lajetas, vibrou-se e nivelou-se.

Como este trabalho dá continuidade a outros estudos já desenvolvidos na Universidade de Évora por Sequeira [6], Fernandes [11] e Marques [12] e que fazem parte de um projeto de investigação financiado pela FCT, utilizaram-se as mesmas composições para os betões de base, uma composição C1 e C2. A classe de consistência foi mantida em S3 (de acordo com a NP EN 206-1) [13], como estabelecido nos outros trabalhos de investigação e tal como se usa habitualmente neste tipo de betões. Para poder analisar os comportamentos das diferentes lajetas foram determinados vários parâmetros, tais como: resistência à penetração para determinação dos tempos de presa; taxa de evaporação; ensaio de resistência à compressão do betão de base; ensaio de arrancamento por Pull-off e determinação do índice esclerométrico. Nos pontos seguintes estão discriminados cada um dos ensaios.

4.1. Betão de base e ensaios no estado fresco

Para a construção das lajetas de $600 \times 300 \times 100 \text{ mm}^3$ foi necessário utilizar umas cofragens, as quais foram feitas em madeira com uma base em chapa metálica (Fig. 4.4), sendo as juntas das mesmas fechadas com silicone para evitar qualquer fuga de material.



Figura 4. 4 – Cofragens com a dimensão $300 \times 600 \times 100 \text{ mm}^3$

Para o betão de base foram utilizadas as composições indicadas na Tabela 4.1.

Tabela 4. 1 – Composição da amassadura para os dois tipos de betão

Composição da Amassadura	Composição 1 (C1) (kg/m^3)	Composição 2 (C2) (kg/m^3)
Brita 2	569	585
Brita 1	567	583
Areia Fina	745	765
Água	173	150
Cimento	347	356
Adjuvante Plastificante	3	
Adjuvante Superplastificante		4

Após as pesagens dos constituintes, estes foram colocados na betoneira. Inicialmente foram colocados os agregados, seguindo-se o cimento e em simultâneo adicionou-se a água (cerca de 70%), por fim e após os agregados já estarem bem envolvidos pelo cimento e hidratados, procedeu-se a colocação do adjuvante e da restante água. Ficando assim finalizada a colocação de todos os constituintes na betoneira (Fig. 4.5).



Figura 4. 5 – Processo de amassadura do betão

No L4 o betão ficou tempo em excesso na betoneira, ou seja, ficou a amassar durante 1 hora e 30 minutos.

Concluída a amassadura do betão, colocou-se no carrinho de mão, mediu-se a temperatura e realizou-se o ensaio de abaixamento, através do cone de Abrams e de acordo com a norma NP EN 12350-2 [14], a fim de verificar a consistência pretendida (Fig. 4.6).



Figura 4. 6 – Medição da temperatura da amassadura e cone de Abrams

Ficou estabelecido que a classe de consistência a cumprir seria o S3 para todas as composições, ou seja, com um abaixamento entre os 100 e 150 mm (Fig. 4.7). Depois procedeu-se à colocação da amassadura nas lajetas. Sendo depois vibradas para eliminar os espaços vazios, com exceção de dois ensaios (L2 e L3) que não foram vibrados.



Figura 4. 7 – Ensaio de abaixamento

Para garantir que a aplicação do endurecedor era efetuada no mesmo instante de hidratação, foram determinados os tempos de presa de cada uma das composições. Este

ensaio é feito com base na norma NP 1387 [15] e estabelece o método para determinação dos tempos de presa do betão e com base na norma atrás mencionada é possível estimar o início e fim de presa do betão. O processo do 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 o valor de 27,6 MPa.

Para o ensaio de resistência à penetração foi necessário peneirar o betão, crivando no peneiro de 5 mm. Sendo a amostra colocada nos moldes de dimensão 150 x 150 x 150 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 (Fig. 4.8).

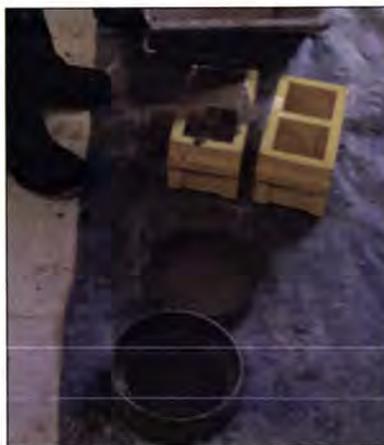


Figura 4. 8 – Betão peneirado a ser colocado nos moldes

Através do uso do penetrómetro, com agulhas de várias secções, estas iam diminuindo à medida que o betão ganhava presa (Fig. 4.9), este instrumento permitiu registar a força de penetração da agulha e assim obter o valor da tensão. Ficou estabelecido que a aplicação do endurecedor seria nos instantes 8,5 MPa e 8,5 MPa +45 minutos para cada uma das composições, como se verá no ponto 4.3.



Figura 4. 9 – Penetrometro e as secções da agulha

Tanto as lajetas como os cubos com as argamassas para medição dos tempos de presa foram colocadas em túneis com dois termo-ventiladores virados para cada túnel (Fig. 4.10). O objetivo era de simular uma situação de verão com vento, já que esta é a situação mais desfavorável para a colocação do betão de base e endurecedor de superfície e onde podem surgir mais problemas fissuração e delaminação.



Figura 4. 10 – Túnel 8,5 MPa+45 min à esquerda e 8,5 MPa à direita

Além das lajetas e cubos para medição dos tempos de presa, foram também colocadas duas tinas de água, uma à entrada do túnel e outra à saída, de maneira a determinar a taxa de evaporação (Fig. 4.11 e 4.12).



Figura 4. 11 – Disposição da lajeta, tinas, e cubos de resistência à penetração



Figura 4. 12 – Túneis prontos para o ensaio.

4.2. Determinação da taxa de evaporação

A taxa de evaporação foi calculada através de duas tinas com 2,5 litros de água, colocadas no interior dos túneis, uma no início do túnel (mais perto dos aparelhos de termo-ventilação) e outra no fim do túnel (zona mais afastada dos aparelhos de termo-ventilação), como mostra a figura 4.13.

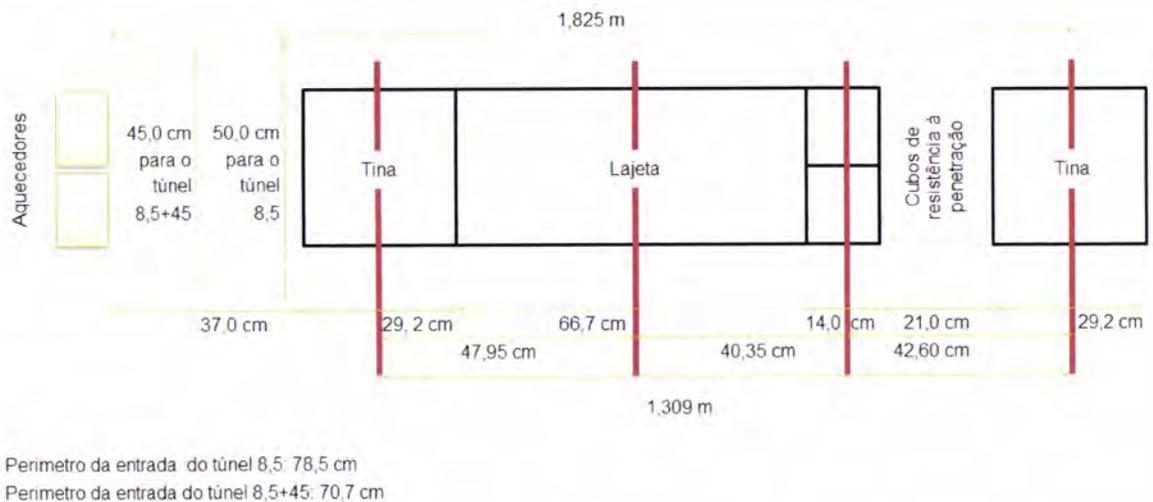


Figura 4. 13 – Esquema dos túneis

As condições de vento e de calor aumentam a taxa de evaporação de água no betão de base, logo tornou-se imprescindível a contabilização da taxa de evaporação durante o tempo em que as lajetas se encontravam submetidas a essas condições.

4.3. Aplicação e afagamento do endurecedor de superfície

Através de estudos anteriormente realizados no laboratório de Engenharia Civil, por Sequeira [6], Fernandes [10] e Marques [11], chegou-se à conclusão que o melhor instante para se colocar o endurecedor de superfície seria aos 8,5 MPa, uma vez que é nesta transição que a ligação endurecedor/betão começava a ficar comprometida. Por outro lado, também foi estudado num instante mais tardio, 8,5 MPa + 45 min, visto que a partir desse

valor o endurecedor já não garantia uma boa ligação ao betão de base. Portanto, considerou-se a aplicação do endurecedor de superfície quando a resistência à penetração atingia os 8,5 MPa e 8,5 MPa + 45 min, sendo considerada uma lajeta por situação.

Para a aplicação do endurecedor, a lajeta foi inicialmente afagada para que a água pudesse subir (conhecido como “puxar a água”) e assim facilitar a aplicação do endurecedor com o afagador e depois aplicou-se 0,72 kg de endurecedor por lajeta uniformemente, ao que corresponde 4 kg/m² (Fig. 4.14), valor normalmente aplicado.



Figura 4. 14 – Colocação do endurecedor de superfície

Para os ensaios L1 e L4 foi considerado o instante 8,5 MPa a partir do momento da colocação do betão nas lajetas. O mesmo não aconteceu para o L2, em que o instante 8,5 MPa foi considerado a partir do segundo betão colocado na lajeta. No caso do L3, a aplicação do endurecedor ocorreu quando foi atingido o instante 8,5 MPa no primeiro betão, ou seja, foi considerado para o ensaio L2 e L3 que o instante 8,5 MPa correspondia aos betões que se encontravam à superfície.

À semelhança do que acontece em obra, uma vez que nos instantes 8,5 MPa e 8,5 MPa + 45 min já não existe muita água disponível no betão de base para reagir com o endurecedor, adicionou-se água de maneira a facilitar a operação de acabamento, uma vez que a superfície se encontrava muito seca. A finalidade deste estudo é a de conseguir aspeto o mais perfeito possível mesmo em situações extremas, logo para garantir o mesmo houve a necessidade de adicionar água.

O processo de afagamento iniciou-se após a colocação do endurecedor de superfície nas lajetas, através de uma talocha mecânica (Fig. 4.15), concebida por Sequeira [6], Fernandes [10] e Marques [11].



Figura 4. 15 – Processo de afagamento

O afagamento consistiu em passagens circulares e constantes até o endurecedor se apresentar liso e sem defeitos. O número de afagamentos variou, ou seja, foram realizados afagamentos as vezes necessárias até se atingir o aspeto pretendido para a lajeta. Como se está a simular uma situação de verão que recorre a um túnel com temperatura elevadas e vento, o tempo de espera entre afagamentos foi reduzido.

Depois de concluído o processo de afagamento procedeu-se à colocação de uma película aderente sobre a superfície da lajeta (Fig. 4.16), a fim de melhorar o processo de cura, sendo esta retirada no dia seguinte, à medida que eram retiradas as lajetas dos túneis. Esta película simula os produtos de cura que são usualmente aplicados em obra.



Figura 4. 16 – Colocação da película aderente sobre a lajeta

4.4. Ensaios no estado endurecido

a) Ensaio de resistência à compressão

Para a determinação da resistência à compressão, foram utilizados provetes cúbicos de 150 mm de aresta e, provetes cilíndricos de 50 mm de diâmetro e 50 mm de altura.

Provetes cúbicos

Para a realização dos ensaios, em primeiro lugar houve a necessidade de verificar se os moldes cúbicos de 150 mm de aresta se encontravam nas devidas condições, segundo a NP EN 12390-1 [16].

A execução e cura dos provetes de betão foram efetuadas segundo a NP EN 12390-2 [17].

Os ensaios de resistência à compressão foram efetuados aos 3, 7 e 28 dias segundo a NP EN 12390-3 [18]. Para cada idade foram feitos 3 cubos. Estes ensaios foram realizados numa prensa, modelo Alpha 3 da Form+Teste Prüfsysteme (Fig. 4.17), a qual está em conformidade com a norma NP EN 12390-4 [19].



Figura 4. 17 – Prensa

Provetes cilíndricos

Para a realização dos ensaios de resistência à compressão em provetes cilíndricos, foram extraídos duas carotes de cada lajeta, com 50 mm de diâmetro e 100 mm de comprimento, através de uma caroteadora KB10 da Gölz, com uma broca de coroa diamantada (Fig. 4.18). Sendo o ensaio realizado de acordo com NP EN 12504-1 [20].



Figura 4. 18 – Caroteadora com broca de 50 mm de diâmetro

Como resultaram carotes de 50 cm de diâmetro com 100 m de altura e de acordo com a norma NP EN 12504-1 [20], tiveram de ser retificados para ficarem com a dimensão de 50 mm de diâmetro para 50 mm de altura, este ensaio foi efetuado no LNEC (Laboratório Nacional de Engenharia Civil). Posteriormente foi determinada a resistência à compressão aos 28 dias, através de uma prensa de modelo Compression and Bending Test Machines MEGA 10 da Form+Teste Prüfsysteme segundo a norma EN 12390-4 [19] (Fig. 4.19).



Figura 4. 19 – Máquina de ensaio da resistência à compressão dos provetes cilíndricos

b) Ensaio de arrancamento por Pull-Off

Os ensaios de arrancamento por Pull-Off realizaram-se com uma máquina de modelo dyna Z16 proceq, segundo a norma NP EN 12504-3 [21]. A elaboração dos ensaios começa com a realização de cinco cortes circulares em cada lajeta, de 50 mm de diâmetro, efetuado com o auxílio de uma caroteadora, de modo a atingir uma profundidade entre 10 e 20 mm abaixo da camada do endurecedor, para que o betão de base seja abrangido.

Após a secagem da lajeta retirou-se o pó ou outras impurezas com acetona de maneira a garantir uma boa ligação cola/endurecedor. Posto isto, sucedeu-se a colagem das “pastilhas” cilíndricas de 50 mm de diâmetro com uma cola epoxídica (Fig. 4.20). Passado 24 horas, realizou-se o ensaio de arrancamento por Pull-Off.



Figura 4. 20 – Colagem da pastilha cilíndrica

Os ensaios foram realizados aos 7 dias de idade, já que caso existam problemas de destacamento, nessa idade já são visíveis. O princípio deste ensaio consiste na aplicação de uma força predominantemente de tração na camada de endurecedor sobre o betão. Esta força é aplicada através de um parafuso que é enroscado à pastilha colocada no endurecedor (Fig. 4.21), de seguida colocou-se o aparelho sobre o parafuso, nivelou-se o aparelho e ajustou-se ao parafuso (Fig. 4.22). Após este processo, gira-se a manivela lateral do aparelho, de modo a aplicar a força de tração até que a pastilha seja arrancada.



Figura 4. 21 – Parafuso enroscado na pastilha



Figura 4. 22 – Aparelho para o ensaio de Pull-Off, ajustado ao parafuso

A rutura pode dar-se da seguinte forma: cola; cola/endurecedor; endurecedor; endurecedor/betão; ou betão (Fig. 4.23). Verificou-se, ao mesmo tempo no mostrador do aparelho qual a força máxima de tração aplicada durante o ensaio.

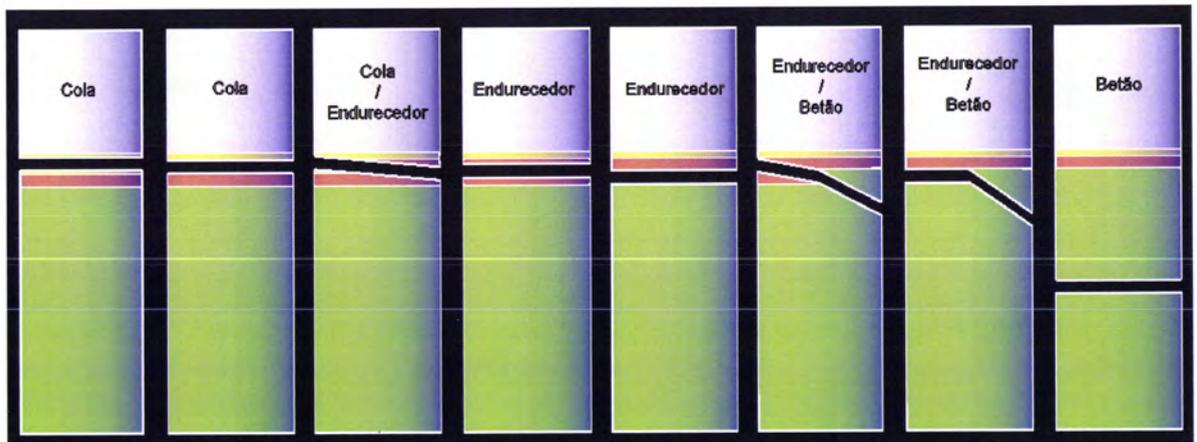


Figura 4. 23 – Exemplos de ruturas

c) Índice esclerométrico

Trata-se de um ensaio simples e não destrutivo, que recorrendo a um esclerómetro de Schmidt (Fig. 4.24) permite relacionar a dureza superficial do betão com a sua resistência à compressão, fornecendo elementos para a avaliação do betão no estado endurecido. Este ensaio pode ser realizado in situ e de acordo com a NP EN 12504-2 [22].



Figura 4. 24 – Esclerómetro de Schmidt

Como se trata de um ensaio de resistência superficial, os valores obtidos são apenas representativos de uma camada até 5 cm de profundidade. No entanto, o ensaio é útil para avaliar a homogeneidade do betão.

Repetiu-se este ensaio nove vezes em cada lajeta, assegurando-se que cada ponto tinha um afastamento de 25 mm, inclusive, da margem da lajeta.

5. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Neste ponto são apresentados os resultados e análise comparativa dos resultados obtidos nos ensaios realizados em laboratório, tais como: taxa de evaporação; resistência à compressão em provetes cúbicos e cilíndricos; resistência ao arrancamento por Pull-Off e índice esclerométrico.

Nos anexos II e III encontram-se os registros e os resultados obtidos para todos os ensaios realizados.

a) Resistência à penetração

Com os ensaios de resistência à penetração foi possível observar a evolução das resistências dos betões de base até atingirem os 27,6 MPa.

Os gráficos que se seguem mostram essa evolução para as duas composições e para os ensaios realizados.

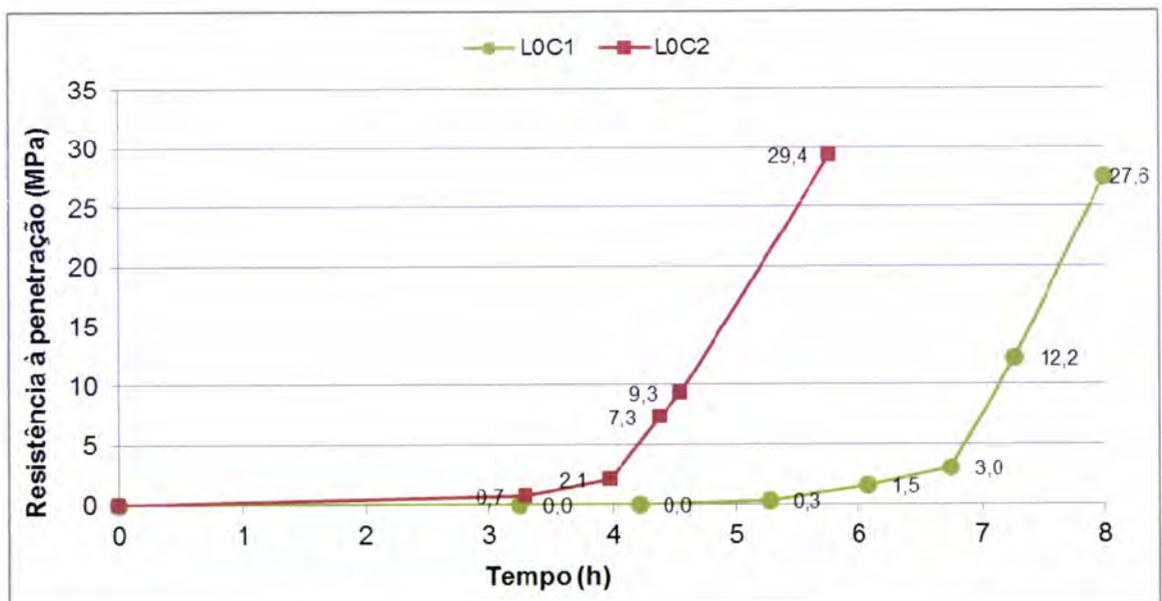


Gráfico 5. 1 – Evolução da resistência à penetração do L0

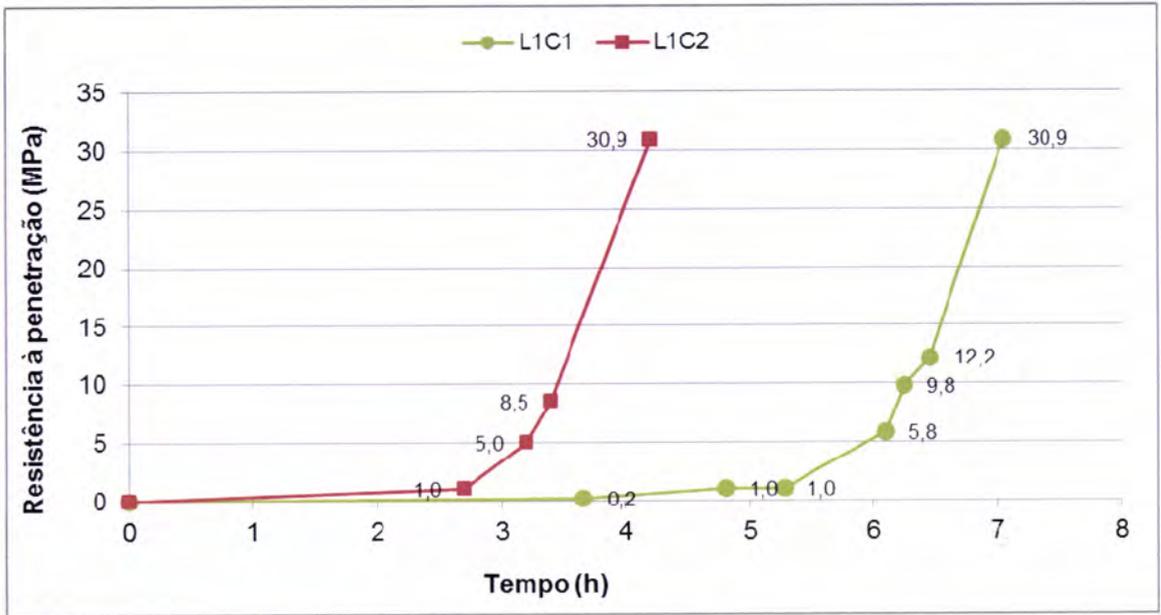


Gráfico 5. 2 – Evolução da resistência à penetração do L1

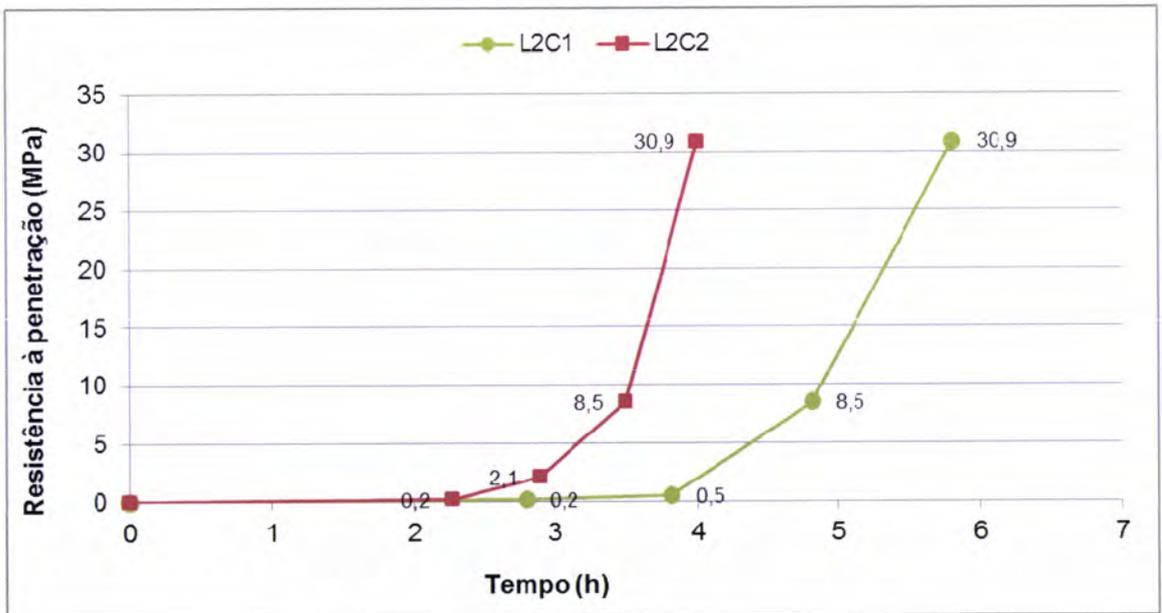


Gráfico 5. 3 – Evolução da resistência à penetração do L2

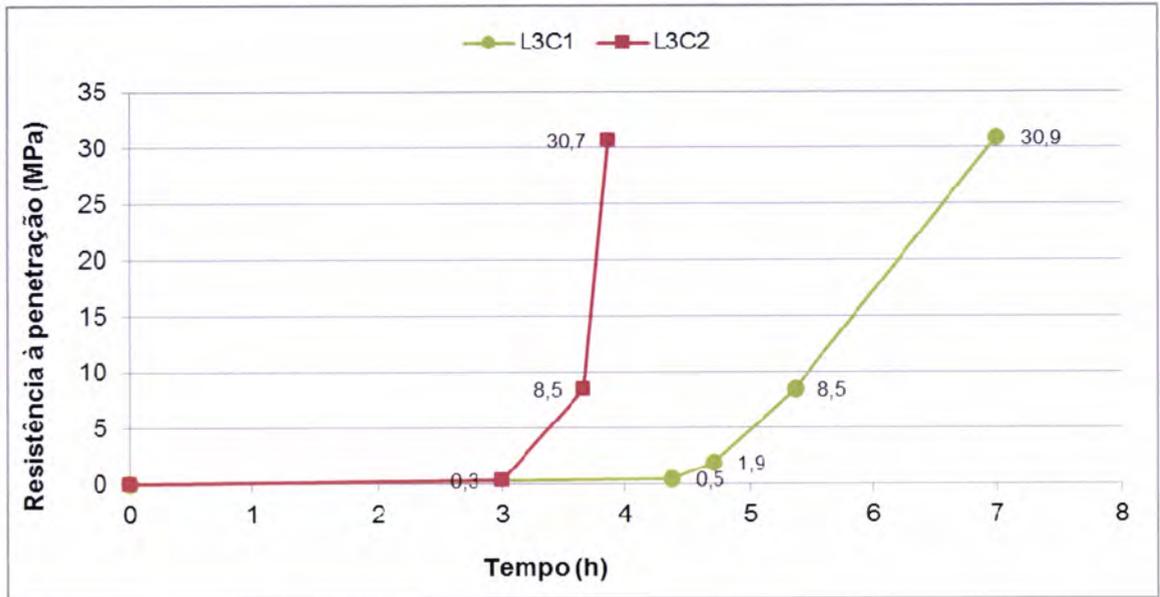


Gráfico 5. 4 – Evolução da resistência à penetração do L3

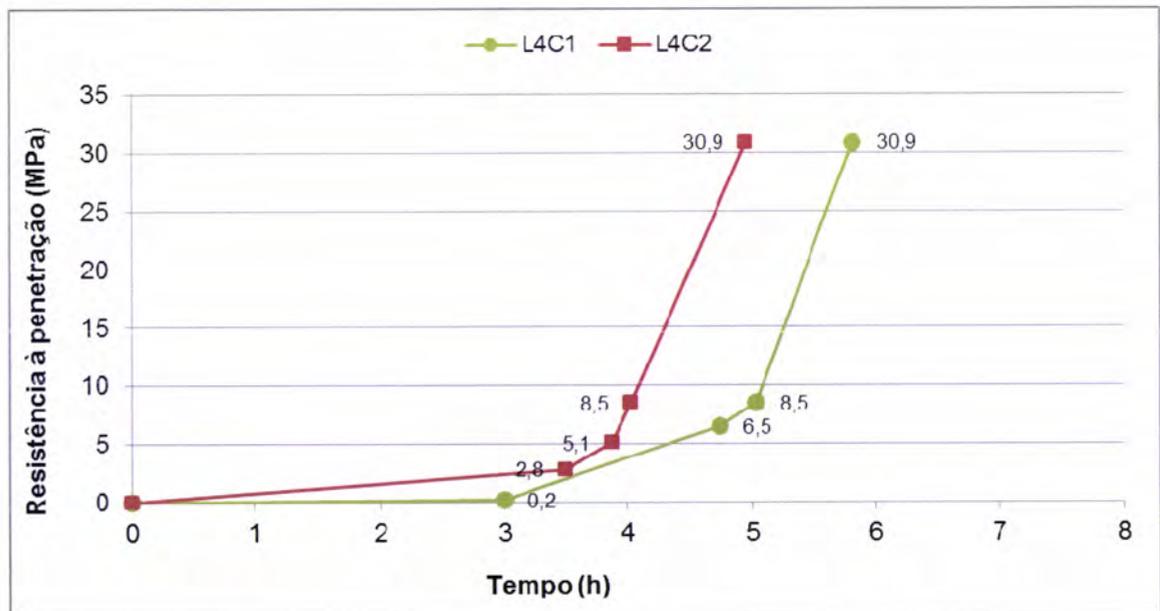


Gráfico 5. 5 – Evolução da resistência à penetração do L4

O ensaio de resistência à penetração permitiu verificar a resistência para os instantes em que o betão recebe o endurecedor de superfície.

Verificou-se que o instante 8,5 MPa foi atingindo em média ao fim de 5 horas e 50 minutos para a composição C1 e foi atingindo em média ao fim de 3 horas e 50 minutos para a composição C2. Como as composições C2 possuem menos água na sua composição, o endurecimento foi mais rápido e conseqüentemente atingiu-se o fim de presa mais cedo. Ambos os adjuvantes tem como função principal reduzir a água, havendo uma redução maior no adjuvante superplastificante. Para além dessa característica, o adjuvante superplastificante desenvolve rapidamente as resistências mecânicas, podendo ser este outro motivo de ter atingido o tempo de presa mais rápido quando comparado com o adjuvante plastificante, composição C1.

b) Temperaturas

Para se conhecer as temperaturas a que estiveram sujeitas as lajetas, foram registadas as temperaturas à entrada e à saída dos túneis.

A tabela 5.1 mostra a temperatura média a meio dos túneis para os instantes 8,5 MPa e 8,5 MPa +45 min.

Verificou-se que a temperatura oscilou de lajeta para lajeta, esta situação aconteceu porque as temperaturas ambientes não foram constantes, contribuindo para essa oscilação, assim como, sempre que eram feitos os ensaios de resistência à penetração havia a necessidade de levantar os túneis e conseqüentemente a temperatura descia.

Obteve-se assim, uma temperatura média de 55,4°C a meio dos túneis.

Tabela 5. 1 – Temperaturas médias ao meio dos túneis

Ensaio	Temperatura ambiente máxima (°C)	Temperatura média a meio do túnel 8,5 (°C)	Temperatura média a meio do túnel 8,5+45 (°C)
L0C1	18	47,0	46,2
L0C2	17	51,7	49,6
L1C1	27	59,6	55,6
L1C2	24	57,8	54,6
L2C1	24	59,1	58,5
L2C2	27	59,3	55,2
L3C1	24	59,1	57,3
L3C2	25	58,1	54,2
L4C1	34	61,6	56,4
L4C2	24	55,7	52,2

c) Taxa de evaporação

A partir das medições das evaporações nas tinas à entrada e saída dos túneis e tendo em consideração a água utilizada em cada amassadura, foi possível estimar a água disponível em cada uma das lajetas no instante antes da colocação do endurecedor.

Na Tabela 5.2 estão indicados os valores da taxa de evaporação a meio da lajeta antes da aplicação do endurecedor.

Tabela 5. 2 – Taxa de evaporação média para cada composição a meio da lajeta antes do instante de aplicação do endurecedor

Ensaio	Taxa de evaporação no túnel 8,5 (l/m²)	Taxa de evaporação no túnel 8,5+45 (l/m²)
L0C1	5,2	6,5
L0C2	3,0	4,2
L1C1	5,6	6,8
L1C2	3,1	4,3
L2C1	4,9	6,7
L2C2	3,5	3,0
L3C1	4,4	4,6
L3C2	4,1	4,4
L4C1	3,5	4,5
L4C2	2,2	3,2

A taxa de evaporação média varia para cada ensaio o que pode estar relacionado com a oscilação das temperaturas ambiente e por sua vez com as temperaturas dentro dos túneis, que aumenta ou diminui com a temperatura ambiente porque o laboratório não permite manter a temperatura constante, obtendo-se assim uma taxa de evaporação média 4,4 l/m².

No túnel 8,5+45 existiu uma maior evaporação para ambas as composições, possivelmente devido à sua localização no espaço onde decorreram os ensaios (mais perto da janela) e por ter um perímetro do semicírculo inferior, que por ser menor, as perdas de calor também são menores quando comparado com o outro túnel com o semicírculo ligeiramente maior assim como, pelo facto de ter estado mais 45 minutos a evaporar..

Para além de ser necessário conhecer a taxa de evaporação para o cálculo da água disponível, considerou-se também a água adicionada à amassadura, no caso das composições C1 e C2 para o ensaio L4. Em que estiveram 1 h e 30 min na betoneira, tendo sido adicionada água ao fim desse tempo 2,0 l e 2,5 l, respetivamente, para se conseguir atingir a mesma classe de consistência de S3, simulando assim um período de atraso da autobetoneira. A taxa de evaporação só começou a ser medida a partir da colocação das lajetas nos túneis, não tendo sido possível contabilizar a água evaporada ao fim de 1 h e 30 min. Então considerou-se a quantidade inicial de água para o L4, sem se contabilizar a água evaporada e a água adicionada ao fim desse tempo.

Tabela 5. 3 – Estimativa de água antes da colocação do endurecedor

Ensaio	Quantidade de água utilizada na amassadura (l/m ²)	Água disponível antes da colocação do Endurecedor (l/m ²)	
		Túnel 8,5	Túnel 8,5+45
L0C1	17,3	12,1	10,8
L0C2	15,0	12,0	10,8
L1C1	17,3	11,7	10,5
L1C2	15,0	11,9	10,7
L2C1	17,3	12,4	10,6
L2C2	15,0	11,5	12,0
L3C1	17,3	12,9	12,7
L3C2	15,0	10,9	10,6
L4C1	17,3	13,8	12,8
L4C2	15,0	12,8	11,8

A partir desta estimativa verificou-se que em cada uma das lajetas a diferença entre a C1 e C2 não é muito grande. A maior quantidade de água disponível aquando da amassadura e os maiores tempos de espera por parte das composições C1 levaram a que a água disponível fosse muito idêntica à composição C2, no instante da aplicação do endurecedor.

d) Resistência à compressão dos provetes cúbicos e cilíndricos

Na resistência à compressão dos provetes cúbicos, observou-se um crescimento progressivo na resistência ao longo do tempo (3, 7 e 28 dias) para cada uma das composições, como era esperado.

O gráfico 5.4 apresenta os valores médios da resistência à compressão dos provetes cúbicos e cilíndricos (L0, L1, L2, L3 e L4) para cada composição de betão.

As tabelas 5.4 e 5.5 mostram os aspetos visuais dos provetes cilíndricos e das laterais das lajetas para cada ensaio realizado.

Através do gráfico 5.6 e com as tabelas 5.4 e 5.5 foi possível analisar as razões para os valores de resistência à compressão obtidos.

Ao efetuar a análise do gráfico constatou-se que dois dos ensaios L1C1 e L3C2 obtiveram resistências superiores ao ensaio padrão. Esta situação não era de esperar para o ensaio L1, por se tratar de um ensaio com excesso de vibração. A amostra L1 apresentava fissuras e pode ter acontecido que tenha sido utilizada uma zona com menos fissuras. O ensaio L3C2 tem uma composição em que o betão fica mais compacto e menos poroso, apesar de não ter sido vibrado, conseguiu uma boa união como é possível ver na Tabela 5.5, no aspeto visual das lajetas.

O L1C1 esteve sujeito a um excesso de vibração, portanto, previa-se segregação dos materiais e conseqüente diminuição da resistência o que não aconteceu, tendo sido superior aos provetes cúbicos e aos provetes L0C1. As imagens dos provetes cilíndricos (Tabela 5.4) permitiram visualizar fissuras no L1C1, sendo essa uma das conseqüências provocadas pelo excesso de vibração.

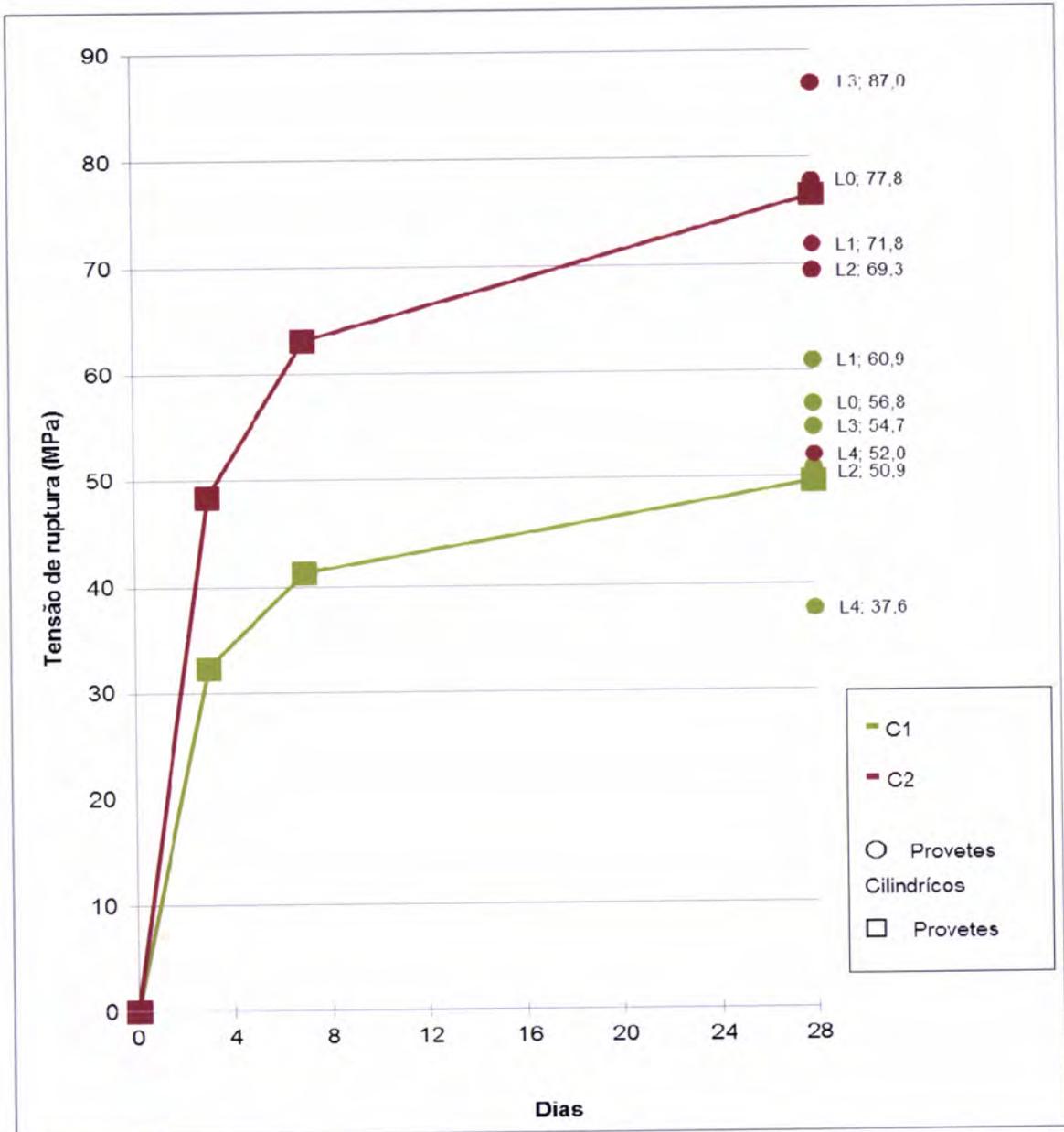


Gráfico 5.6 – Resistência à compressão média dos provetes cúbicos e cilíndricos

Tabela 5. 4 – Aspeto visual dos provetes cilíndricos

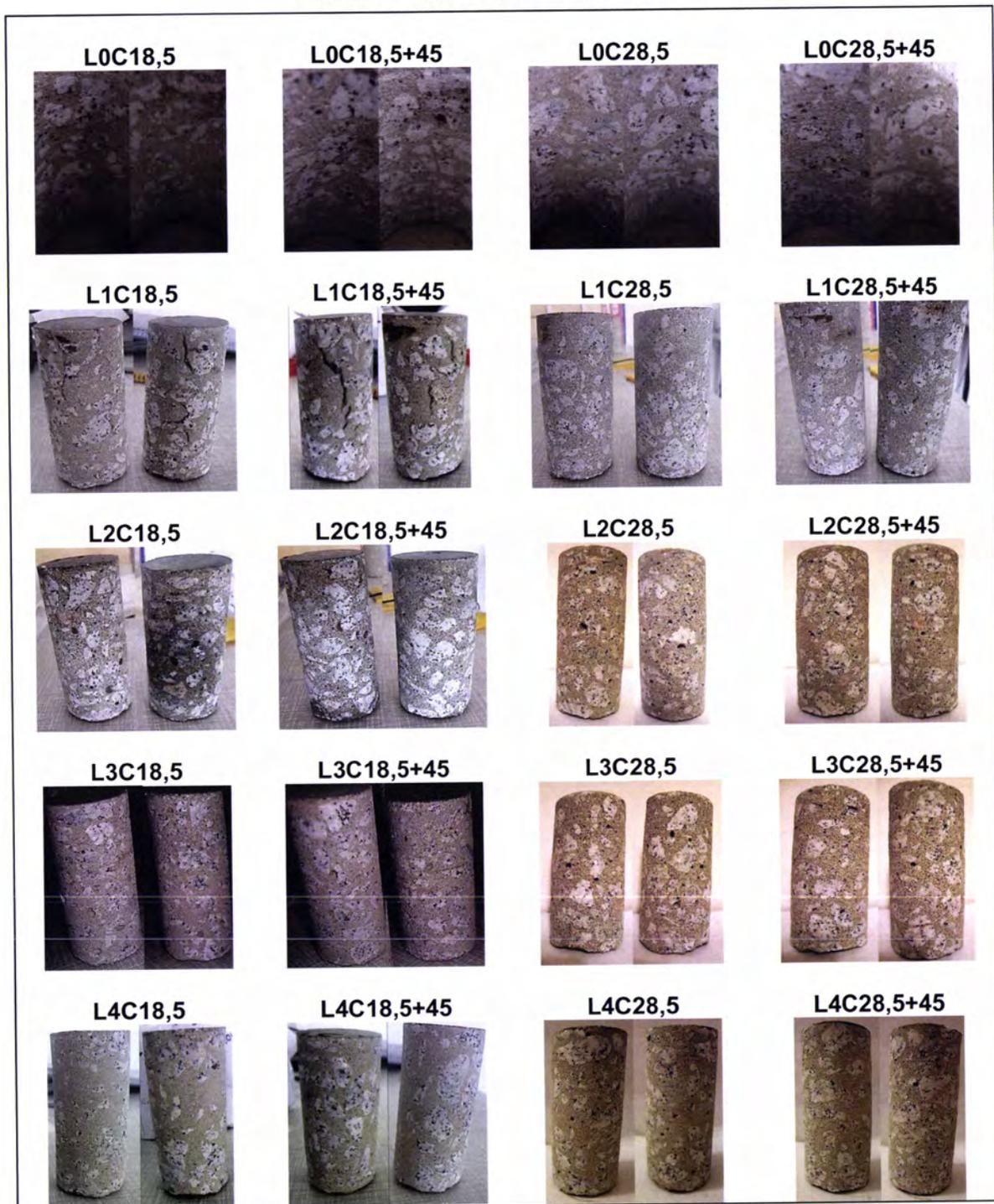
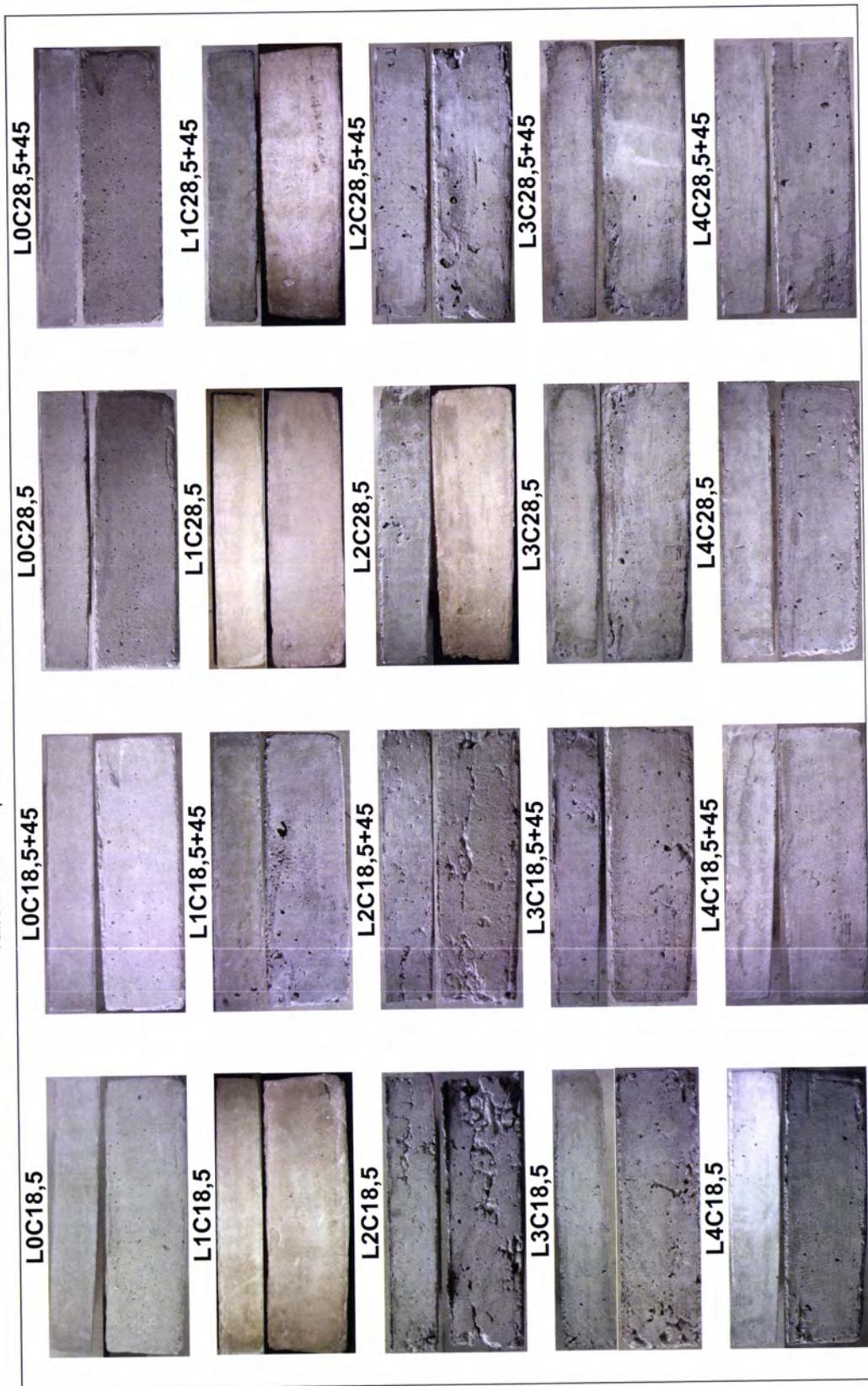


Tabela 5. 5 – Aspetto visual da lateral exterior das lajetas



O ensaio L1C2 não teve fissuras nos provetes cilíndricos, no entanto, foi detetada uma fissura à superfície na lajeta L1C28,5 (Fig. 5.1). Na tabela 5.4 observou-se uma maior concentração de finos à superfície, nos provetes L1C28,5, esta heterogeneidade dever-se-á ao excesso de vibração.



Figura 5. 1 – Fissura da superfície da lajeta para o L1C28,5

O L2C1 obteve resistências inferiores ao L0C1 e ao L1C1, esta situação poderá ter sucedido porque as lajetas do ensaio L2C1 ficaram mais porosas, como foi possível ver nas imagens dos provetes cilíndricos (Tabela 5.4), esta situação deveu-se à falta de vibração, ficando algum ar e água retidos nas lajetas, criando-se zonas de maior fragilidade. Esta água, que não reage com o cimento forma uma rede de poros capilares que provoca um acentuado decréscimo da resistência do betão. Outro motivo poderá estar relacionado com uma maior dificuldade numa boa ligação entre as camadas de betão, sendo mais evidente nas lajetas L2C1 quando comparadas com as lajetas L3C1 (Tabela 5.5), logo, o L2C1 obteve uma resistência inferior ao L3C1.

As resistências do L2C2 foram inferiores aos dos ensaios L0C2, L1C2 e L3C2, tal como aconteceu no ensaio L2C1, possivelmente devido às mesmas razões referidas para o ensaio L2C1. As lajetas L2C2 conseguiram melhores ligações entre as camadas de betão que a lajeta L2C1 (Tabela 5.5), isto resultou da composição C2 que continha menor quantidade de água, transformando-se num betão mais compacto, logo, menos poroso, conseguindo-se unir melhor.

O L3C1 obteve resistências inferiores aos ensaios L0C1 e ao L1C1, possivelmente por ser um betão mais poroso e por falta de vibração, como se viu nas imagens dos provetes

cilíndricos (Tabela 5.4). Esta situação provoca zonas de maior debilidade, originando um acentuado decréscimo da resistência do betão. Outro motivo poderá estar relacionado com uma maior dificuldade na boa ligação entre camadas de betão, prejudicando a resistência do betão.

O L3C2 foi o ensaio que obteve a maior resistência para a composição C2, esta situação pode ser explicada pelo facto de esta composição conter menos água, tornando-se num betão mais compacto, reduzindo a probabilidade de reter água nos poros, minorando o número de poros capilares, que provocam a diminuição da resistência. Se por um lado a vibração do betão é importante para retirar o ar e água presente na massa de betão com o objetivo de diminuir a porosidade, por outro, uma má vibração pode provocar a separação dos materiais e conseqüente diminuição da resistência. Verificou-se durante o nivelamento da amassadura que a água subiu até à superfície (exsudação), acabando por hidratar o betão que estava por cima, já mais endurecido e com pouca água, esta situação originou uma boa união entre as camadas de betão, logo as lajetas L3C2 conseguiram melhores ligações que as lajetas L3C1, L2C1 e L2C2 (tabela 5.5) e por sua vez uma melhor resistência à compressão.

Os resultados menos conseguidos de resistência à compressão dos provetes cilíndricos foram para os provetes do L4C1 e L4C2, em que se adicionou água à amassadura, depois de esta se encontrar dentro da betoneira durante 1 hora e 30 minutos. Verificaram-se problemas no desempenho do betão, perdeu resistência e obteve uma mistura pouco homogénea (Tabela 5.4). A perda de resistência foi mais significativa no betão C2, por ser um betão com menos água o endurecimento iniciou-se mais rapidamente, tendo sido necessário adicionar mais água a esta composição de betão para manter a classe de consistência pretendida (S3) e aumentar a trabalhabilidade. As resistências à compressão para este ensaio foram muito inferiores às resistências do L0, L1, L2 e L3. Assim, verificou-se que a adição de água tem uma grande influência na resistência do betão

e) Ensaio de arrancamento por Pull-Off

Através dos ensaios de arrancamento por Pull-Off foi possível analisar a ligação do endurecedor/betão para os diferentes ensaios realizados.

As tabelas que se seguem (Tabela 5.6 e 5.7) apresentam os valores das tensões de rutura e os diferentes tipos de rutura (cola + endurecedor: cor-de-laranja; endurecedor: vermelho; endurecedor + betão: amarelo; betão: verde.) para todos os ensaios realizados.

O ensaio 1 na resistência à tração é que está mais perto dos termo-ventiladores e à medida que se aproxima do 5 fica mais afastado dos termo-ventiladores.

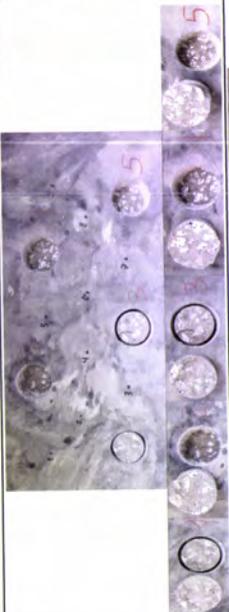
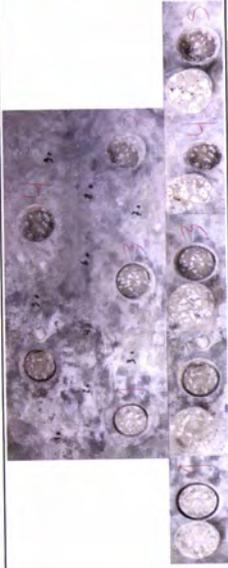
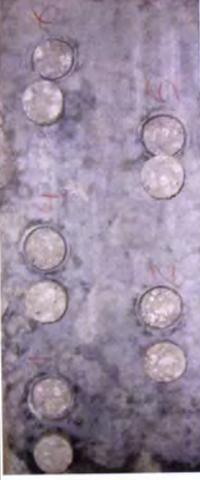
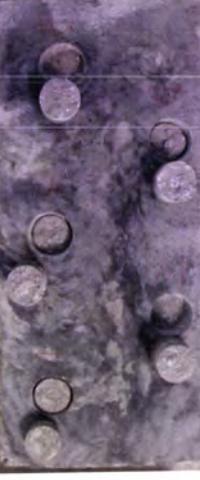
O ensaio padrão apresentou bons resultados para o L0C18,5 e para o L0C28,5. O ensaio padrão não teve um resultado perfeito porque apresentou uma rutura pelo endurecedor/betão, que se localizava perto dos termo-ventiladores na lajeta L0C18,5. As lajetas que estiveram +45 minutos à espera da colocação do endurecedor (L0C18,5+45 e L0C28,5+45) apresentaram um maior número de ruturas pelo endurecedor junto aos termo-ventiladores, como era de esperar.

O ensaio L1 obteve piores resultados quando comparado com L0. Isto, apesar das lajetas L0 terem estado aproximadamente 1 hora a mais expostas às condições adversas dentro dos túneis quando comparado com L1. No dia em que se realizaram os ensaios padrão as temperaturas ambiente foram mais baixas, tendo ocorrido uma diferença de 9 °C para a composição C1 e 7°C para a composição C2, logo, os ensaios padrão estiveram sujeitos a temperaturas menores dentro dos túneis, verificando-se uma maior evaporação no ensaio L1. Observaram-se péssimos acabamentos nas lajetas L1C18,5, L1C18,5+45 e uma má ligação entre endurecedor/betão (tabela 5.5).

O ensaio L1C28,5 não obteve os melhores resultados, contudo, conseguiu obter quatro ruturas pelo betão, tendo apenas uma rutura pelo endurecedor na zona em que a lajeta esteve mais exposta aos termo-ventiladores. A explicação para que este ensaio tenha atingido um bom resultado poderá estar relacionada com uma maior quantidade de água disponível e por ter estado sujeito a temperaturas inferiores em comparação com a composição C1. Nas lajetas L1C28,5 e L1C28,5+45 houve um melhor acabamento, mas não perfeito, sendo que no L1C28,5 a camada do endurecedor foi menos visível na lajeta, aparentemente existiu uma melhor ligação endurecedor/betão, mas o mesmo não se observou na lajeta L1C28,5+45 (Tabela 5.5).

5. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Tabela 5. 6 – Ensaios de arrancamento por Pull-Off para C1

L0C18,5		1 – 2,4 MPa 2 – 2,1 MPa 3 – 2,2 MPa 4 – 2,6 MPa 5 – 2,7 MPa	L0 C18,5+45		1 – 1,9 MPa 2 – 1,9 MPa 3 – 2,1 MPa 4 – 1,3 MPa 5 – 2,4 MPa
L1C18,5		1 – 1,5 MPa 2 – 2,3 MPa 3 – 2,2 MPa 4 – 1,6 MPa 5 – 2,9 MPa	L1C18,5+45		1 – 1,23 MPa 2 – 2,11 MPa 3 – 0,78 MPa 4 – 1,73 MPa 5 – 1,73 MPa
L2C18,5		1 – 1,5 MPa 2 – 1,5 MPa 3 – 1,6 MPa 4 – 1,1 MPa 5 – 2,4 MPa	L2C18,5+45		1 – 1,48 MPa 2 – 1,63 MPa 4 – 1,74 MPa 5 – 1,55 MPa 6 – 1,23 MPa
L3C18,5		1 – 2,1 MPa 2 – 2,2 MPa 3 – 2,3 MPa 4 – 2,2 MPa 5 – 2,3 MPa	L3C18,5+45		1 – 2,12 MPa 2 – 2,07 MPa 3 – 2,36 MPa 4 – 2,20 MPa 5 – 1,76 MPa
L4C18,5		1 – 2,44 MPa 2 – 2,30 MPa 3 – 1,38 MPa 4 – 1,62 MPa 5 – 1,64 MPa	L4C18,5+45		1 – 1,35 MPa 2 – 1,93 MPa 3 – 1,51 MPa 4 – 1,81 MPa 5 – 1,64 MPa

5. RESULTADOS OBTIDOS E SUA ANÁLISE

Tabela 5. 7 – Ensaio de arrancamento por Pull-Off para C2

L0C28,5		1 – 2,72 MPa 2 – 3,12 MPa 3 – 2,94 MPa 4 – 2,63 MPa 5 – 2,69 MPa	L0 C28,5+45		1 – 0,96 MPa 2 – 1,98 MPa 3 – 2,81 MPa 4 – 2,98 MPa 5 – 2,34 MPa
L1C28,5		1 – 2,31 MPa 2 – 1,74 MPa 3 – 2,20 MPa 4 – 1,33 MPa 5 – 2,20 MPa	L1C28,5+45		1 – 1,23 MPa 2 – 2,11 MPa 3 – 0,78 MPa 4 – 1,73 MPa 5 – 1,73 MPa
L2C28,5		1 – 1,91 MPa 2 – 1,82 MPa 3 – 1,81 MPa 4 – 1,68 MPa 5 – 1,80 MPa	L2C28,5+45		1 – 1,56 MPa 2 – 1,62 MPa 3 – 1,85 MPa 4 – 1,55 MPa 5 – 1,60 MPa
L3C28,5		1 – 1,45 MPa 2 – 1,86 MPa 3 – 1,94 MPa 4 – 2,30 MPa 5 – 2,19 MPa	L3C28,5+45		1 – 1,56 MPa 2 – 1,91 MPa 3 – 1,78 MPa 4 – 1,58 MPa 5 – 1,35 MPa
L4C28,5		1 – 1,32 MPa 2 – 2,09 MPa 3 – 1,94 MPa 4 – 0,99 MPa 5 – 0,78 MPa	L4C28,5+45		1 – Erro 2 – 0,22 MPa 3 – 0,73 MPa 4 – 1,08 MPa 5 – 1,86 MPa

Concluiu-se a partir deste ensaio que o betão de base não se encontrava homogêneo, devido à dispersão dos resultados obtidos. Os ensaios de resistência à compressão dos provetes cúbicos e cilíndricos são mais corretos, pois o índice esclerométrico mede apenas a resistência até 5 cm de profundidade.

Verificou-se que a composição C2 obtém em geral melhores resultados, como já se tinha apurado para os provetes cúbicos e cilíndricos, à exceção do ensaio L2C18,5, L0C18,5 e L0P8,5+45 que obtém maior resistência.

Apurou-se também que em geral a resistência à compressão diminuía nas extremidades das lajetas. Nestas zonas houve maior dificuldade no afagamento do endurecedor de superfície por estar perto das cofragens.

6. CONCLUSÕES

Do trabalho desenvolvido nesta dissertação foi possível retirar as seguintes conclusões:

- É muito importante ter em atenção, que o excesso de vibração também não é aconselhado, pois as fissuras que foram observadas nos provetes L1C1 e na superfície da lajeta L1C28,5, podem vir a trazer grandes problemas a longo prazo na resistência do betão;
- Não é recomendável adicionar água ao betão para melhorar a trabalhabilidade, a adição de água prejudica bastante a resistência do betão e não beneficia também na ligação endurecedor/betão;
- Os ensaios com camadas com diferentes endurecimentos ajudaram na aderência entre o endurecedor/betão, sem alterar a razão a/c, porque conseguiram conter mais água superficial, como no caso L2 com camada recém-produzida à superfície e como no L3 em que a água subiu por exsudação durante o nivelamento do betão, ficando a água da amassadura mais endurecida com alguma água da amassadura;
- recém-produzida. Estas situações são favoráveis porque existe menos água à superfície da lajeta provocadas pelas elevadas temperaturas e pelo vento.
- Salieta-se assim que adicionar água e vibrar o betão em excesso são as situações e não-conformidade mais prejudiciais na ligação endurecedor/betão.

Salieta-se também que:

- Os ensaios de resistência à compressão para situações de não conformidade foram em geral inferiores ao ensaio padrão, à exceção do L1C1 que deveria ter perdido alguma resistência provocada pelo excesso de vibração e L3C2 que conseguiu uma boa união entre camadas por ser um betão mais compacto, obtendo uma boa resistência. A perda de resistência mais evidente foi no ensaio L4, em que a adição de água comprometeu consideravelmente a sua resistência;
- Nas lajetas 8,5+45, verificaram-se em geral maus resultados para todos os ensaios de arrancamento por Pull-Off, à exceção do L3C28,5+45 que apesar de não ter

apresentado um resultado perfeito, conseguiu 3 ruturas pelo betão e 1 pelo endurecedor/betão;

- Os ensaios L1C1 e L4C2 foram os ensaios com piores resultados de Pull-Off; O L1C1 apresentava fissuras nos provetes e um mau acabamento da camada de endurecedor. O L4C2 obteve uma péssima aderência entre o endurecedor/betão provocado possivelmente pelo excesso de água no betão e tinha também um mau acabamento;
- Um ensaio de arrancamento por Pull-Off, para ser bem-sucedido é preciso que as ruturas ocorram todas pelo betão, isto só se verificou no ensaio L2C18,5;
- O L2 foi o ensaio com melhor acabamento, mas mesmo assim com algumas imperfeições. Aparentemente o ensaio L2 é um bom ensaio para o arrancamento por Pull-Off, no entanto, a resistência à compressão ficou comprometida;
- O ensaio L1C28,5, L3C18,5 e o L4C18,5 não foram perfeitos por terem obtido uma rutura pelo endurecedor, todavia, não foi um mau ensaio visto ter obtido essa rutura junto aos termo-ventiladores, tendo sido as restantes ruturas pelo betão. O ensaio L1C28,5 obteve uma má resistência à compressão e apresentou fissuras nos provetes cilíndricos. O ensaio L3C18,5 conseguiu uma má resistência à compressão dos provetes cilíndricos. O ensaio L4C18,5, como para os restantes ensaios L4, obteve uma resistência à compressão muito baixa.
- Os ensaios L3 obtiveram um bom acabamento em geral, mas com algumas imperfeições, tal como aconteceu no L2;
- Com os ensaios de arrancamento por Pull-Off, verificou-se que as situações de não conformidade obtiveram menores valores nas forças de tração em comparação com o ensaio padrão. Logo, pode-se dizer que nenhuma destas situações não conformes, conseguiram obter os resultados ideais;
- O índice esclerométrico apresentou uma grande dispersão de resultados, evidenciando a falta de homogeneidade da camada superficial até 5 cm de profundidade;

-
- A melhor metodologia a adotar, por ordem decrescente, considerando como facto primordial a aderência do endurecedor ao betão de base, foi a seguinte:
L3>L2>L1>L4;
 - A composição de base que obteve melhores resultados por ordem decrescente foi:
L3>L1>L2>L4.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Hullet, T., Plimmer, J., “Delamination of Concrete Floor Surfaces”, Concrete Advice nº18, 2003.
- [2] Sahagún, M., “Betão Pronto - Estudo da sua composição para a sua melhor qualidade”, Memória monográfica para obtenção do grau de bacharelato em Engenharia Civil, Universidade Jean Piaget, Cabo Verde, 2007.
- [3] Martins, J., “BETÕES – Elementos Gerais, Natureza e Qualidade”, série Materiais, 3ª edição, 2010.
- [4] Tipping, E., Ahal, D., “Guide for Concrete Floor and Slab Construction”, Reported by ACI Committee 302, American Concrete Institute, 2004.
- [5] Portland Cement Association, “Concrete Slab Surface Defects: Causes, Prevention, Repair”, Concrete Information, 2001.
- [6] Sequeira, R., “Influência dos adjuvantes no comportamento de um endurecedor de superfície de quartzo aplicado em diferentes betões de base”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Évora, 2011.
- [7] NP 1379, “Granulometria e massa volúmica de agregados”, 1976.
- [8] SECIL, “CEM II/A-L 42,5R: Cimento Portland de Calcário” – Ficha técnica, Outão, 2003.
- [9] NP EN 1008, “Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão”, IPQ, 2003.
- [10] EN 934 – 2, “Adjuvantes para betão, argamassa e caldas de injeção. Parte 2: Adjuvantes para betão. Definições, requisitos, conformidade, marcação e rotulagem”, IPQ, 2008.
- [11] Fernandes, A., “Compatibilidade de diferentes tipos de betões de base com adições e endurecedores de superfície de quartzo”, Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Évora, 2011.

[12] Marques, M. "Influência do betão de base em pavimentos com aplicação de endurecedores de superfície de quartzo", Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil, Universidade de Évora, (ainda não foi defendida).

[13] NP EN 206-1, "Betão. Parte 1: Especificação, desempenho, produção e conformidade", IPQ, 2006.

[14] NP EN 12350 – 2, "Ensaio de betão fresco: Ensaio de abaixamento", IPQ, 2009.

[15] NP 1387, "Betões. Determinação dos tempos de presa", IPQ, 2008.

[16] BS EN 12390 – 1, "Testing hardened concrete – Part 1: Shape, dimensions and other requirements for specimens and moulds", British Standards (BSi), 2003.

[17] NP EN 12390 – 2, "Ensaio do betão endurecido. Parte 2: Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica", IPQ, 2009.

[18] NP EN 12390 – 3, "Ensaio de betão endurecido: Resistência à compressão de provetes", IPQ, 2009.

[19] NP EN 12390 – 4, "Ensaio de betão endurecido: Resistência à compressão. Características das máquinas de ensaio", IPQ, 2009.

[20] NP EN 12504 – 1, "Ensaio de betão nas estruturas. Parte 1: Carotes. Ensaio à Compressão", IPQ, 2009.

[21] NP EN 12504 – 3, "Ensaio do betão nas estruturas. Parte 3: Determinação da força de arranque", IPQ, 2006.

[22] NP EN 12504 – 2, "Ensaio de betão nas estruturas. Parte 2: Ensaio não destrutivo. Determinação do índice esclerométrico", IPQ, 2012.

ANEXOS

ANEXO I – Questionário realizado às empresas

Empresa A

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Existe um tempo máximo de espera do betão entre o fabrico e a aplicação, cerca de 1h 30 min. Após esse período o betão é rejeitado. A adição de água não é permitida em caso algum após o fabrico do betão, tem como principal causa a diminuição da resistência do betão.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Deve-se colocar a segunda amassadura antes de ultrapassar 1h 30 min.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: Quanto aos erros mais comuns, tem a ver com o uso de vibradores de compactação (agulhas vibratórias), o seu uso excessivo provoca segregação do betão tal como usar a vibração para fazer correr o betão na peça a betonar, pois o vibrador não serve para transportar o betão pelo mesmo motivo, segrega o betão, solta o agregado de fracção grossa.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: O endurecedor é atirado para cima da laje e não é uniformizado, ocorrendo diferentes espessuras.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: No caso de um endurecedor de superfície, deve-se ter em atenção os meios usados para a cura do betão, talvez o meio tradicional seja o mais eficaz, ou seja, cobrir com uma manta plástica toda a peça betonada.

Empresa B

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Um erro comum é acrescentar água ao betão. O que nunca se deve fazer, pois se aumentar a água vai desproporcionar a razão água/cimento. Quando se adiciona água, esta é feita "a olho", não havendo uma quantidade definida.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Caso o betão não chegue para betonar toda a laje dever-se-á deixar um corte no betão de aproximadamente 45º e deixa-lo rugoso, no dia seguinte deverá ser molhado e betonado com novo betão.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: O excesso de vibração é um erro muito comum, provoca a segregação dos materiais.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: O endurecedor é por vezes aplicado quando o betão já se encontra demasiado endurecido sendo necessário adicionar água, alterando assim, a razão água/cimento.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Um erro que pode acontecer é este não ficar protegido contra as condições climatéricas.

Empresa C

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Em caso de atrasos na betonagem o laboratório deslocava-se à obra para aplicação de adjuvante que melhora a trabalhabilidade sem aumentar a % de água de amassadura. Mas mais facilmente se coloca um “pedacinho de água”.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Em grandes betonagens à medida que se faz a betonagem, verifica-se se as quantidades rendem o previsto, quase no final é pedido o último carro (chama-se o carro de acerto) que vem com mais ou menos betão consoante o que se verifica que falta em obra.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: Utilização de meios de vibração deficientes.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: O endurecedor é por vezes aplicado quando o betão já se encontra num grau demasiado endurecido sendo necessário adicionar água, alterando a razão água/cimento.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Coloca-se um produto de cura no final.

Empresa D

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: A solução mais comum é adicionar um pouco de água antes da sua aplicação, se necessário. Mas com muita precaução pois a relação a/c, ao ser modificada altera a resistência do betão, e se estiver mais que 3 horas, já não se deve de utilizar porque de um modo geral estes betões são feitos com plastificantes que começam a actuar entre 2 a 3 hora e devem ser rejeitados.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Se a retoma da betonagem não for superior a duas/três horas não existe problema e consegue-se a uma boa ligação entre o betão e endurecedor. Se esse tempo for superior, já se tiver iniciado o endurecimento do betão, há produtos que se podem utilizar para promover a ligação entre betões com idades diferentes e providências que se podem tomar nomeadamente, deixar as superfícies rugosa, com uma inclinação de 45°.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: Em obra o betão é vibrado com recurso a vibradores de agulha, também se podem utilizar outros recursos, dependendo do tipo de obra, mas um grande problema tem a ver com o excesso de vibração do betão.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: O endurecedor é por vezes aplicado quando este já se encontra endurecido sendo necessário adicionar água alterando a razão água/cimento.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Deve-se cobrir com uma manga plástica ou colocar um produto de cura.

Empresa E

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Este é um erro bastante comum, quando ocorrem atrasos adiciona-se um pouco de água através de uma mangueira enquanto o betão ainda se encontra na autobetoneira.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Deve-se aguardar até 1 hora e 30 min, posto isto, o betão já não se encontra em condições de ser utilizado.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: O erro mais comum em obra tem a ver com a vibração do betão, apesar de se saberem as regras, ocorre muitas vezes o excesso de vibração, arrastar o betão com a agulha do vibrador, contactar a agulha com o molde, desligar o vibrador quando este ainda está imerso e usar a agulha do vibrador inclinada.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: Pode ocorrer um mau afagamento. Zonas em que faltou endurecedor ou em que foi menos afagado podem ficar mais rugosas, ou seja, pouco polidas.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Proteger com um produto de cura.

Empresa F

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Quando o betão está sujeito a altas temperaturas, o tempo de espera diminui, tem de ser igual ou inferior a 1 hora e 30 min. Quando este tempo é ultrapassado o maior erro é a adição de água, que altera a razão a/c e pode alterar consistência do betão pretendida.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Esta situação é muito idêntica à anterior, o tempo de espera não deverá ser mais de 1 hora e 30 min para uma situação normal. Logo, uma solução que ocorre em obra, mas que não é correta, pode ser a de adição de água sobre a superfície do betão que espera pelo novo betão.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: É um erro bastante comum em obra, devido ao mau uso do vibrador, como o excesso de vibração e o arrastar a agulha do vibrador.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: O endurecedor é por vezes aplicado sem ser regularizado.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Protege-se com um produto de cura.

Empresa G

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: O betão com 1 hora e 30 min na autobetoneira, não deve ser utilizado. Um erro comum é a adição de água, a que for necessária para melhorar a trabalhabilidade.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Deixa-se a amassadura rugosa e este tempo não deve ultrapassar a 1 hora e 30 min, caso ultrapasse, este não deverá ser vibrado.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: Excesso de vibração, mas esta situação não acontece apenas com o vibrador, pode ser também provocada pelo transporte do betão e pelo lançamento do betão a uma altura superior a 2 m.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: Endurecedor aplicado por cima do betão já endurecido, com pouca água para a ligação endurecedor/betão.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Deve utilizar-se uma manga plástica.

Empresa H

1 - Quando o betão fica demasiado tempo na betoneira o que faz?

R: Adiciona-se água ao betão quando este ainda se encontra na betoneira.

2 - Quando falta betão para preencher a laje o que faz?

R: Quando falta pouco betão para preencher a laje este pode ser arrastado de uma outra laje que contenha algum excesso.

3 - Como é feita a vibração de betão em obra?

R: Má vibração, pode ser por excesso ou por falta.

4 - Quando se aplica um endurecedor de superfície (sólido) no betão, quais são os erros mais comuns que acontecem no processo de afagamento ou mesmo na sua aplicação?

R: Um erro poderá ser adição excessiva de água.

5 - Como é feita a cura do betão em obra?

R: Utilizar uma manga plástica.

ANEXO II – Registos dos ensaios realizados

Tabela II.1 – Registo dos ensaios realizados para o betão com composição C1

Identificação	L0C18,5+45	L0C18,5	L1C18,5+45	L1C18,5	L2C18,5+45	L2C18,5	L3C18,5+45	L3C18,5	L4C18,5+45	L4C18,5
Data	30-04-2012		11-05-2012		10-07-2012 2/3-----1/3		11-07-2012 1/3-----2/3		16-05-2012	
Temperatura ambiente durante a produção do betão (°C)	18,0		24,0		22,2 - 23,5		23,8 - 24,0		26,8 - 27,1	
Humidade (%)	60,0		55,0		55,0 - 52,0		50,0 - 47,0		45,0 - 43,0	
Hora fabrico	9:55		09:56		10:04-11:11		9:38-10:51		*9:46-11:16	
Temperatura do betão (°C)	16,5		24,5		21,9 - 21,6		22,1 - 22,2		26,8	
Hora abaixamento	10:00		10:01		10:19-11:20		9:42-10:55		11:21	
Abaixamento (cm)	14,0		15,0		15,0 - 14,0		13,0 - 15,0		10,5	
Hora colocação betão base	10:35		10:37		10:21-11:25		10:11-11:18		11:48	
Hora 8,5 MPa	17:11	17:38	16:11	16:24	16:00	16:15	15:15	15:30	14:48	14:53
Hora colocação endurecedor	17:53	17:40	16:56	16:27	16:45	16:16	16:00	15:32	15:35	14:56
Endurecedor (Kg)	0,72									
Água adicionada ao endurecedor (l)	0,212	0,225	0,262	0,243	0,315	0,276	0,323	0,311	0,528	0,418
Hora 1º afagamento	17:55	17:43	17:01	16:29	16:50	16:20	16:03	15:38	15:40	14:59
Hora 2º afagamento	18:14	18:04	17:14	16:49	17:10	16:35	16:15	15:50	16:03	15:14
Hora 3º afagamento	X	X	X	X	X	X	X	X	16:13	15:30
Hora 4º afagamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hora Fim Trabalhos	18:22	18:12	17:18	16:53	17:20	16:48	16:25	15:58	15:20	15:37

*Nota: Adicionou-se 2,0 l de água à amassadura L4 no período em que esteve 1 hora e 30 minutos na betoneira.

Tabela II.2 – Registo dos ensaios realizados para o betão com composição C2

Identificação	L0C28+45	L0C28,5	L1C28,5+45	L1C28,5	L2C28,5+45	L2C28,5	L3C28,5+45	L3C28,5	L4C28,5 +45	L4C28,5
Data	07-05-2012		17-05-2012		13-07-2012 2/3-----1/3		14-07-2012 1/3-----2/3		22-05-2012	
Temperatura ambiente durante a produção do betão (°C)	16,0		24,0		24,6 - 25,6		23,8 - 24,5		22,7 - 22,9	
Humidade (%)	65,0		50,0		50,0 - 57,0		45,0 - 47,0		50,0 - 50,0	
Hora fabrico	10:07		11:55		9:39-10:44		9:28 – 10:39		*10:13-11:43	
Temperatura do betão (°C)	18,8		23,9		24,9 - 24,5		23,9 – 24,5		22,0	
Hora abaixamento	10:11		11:59		9:42-10:49		9:31-10:42		11:47	
Abaixamento (cm)	15,0		15,0		15,0 - 15,0		15,0 - 15,0		10,5	
Hora colocação betão base	10:48		12:23		9:55 -11:00		9:49-11:04		12:04	
Hora 8,5 MPa	14:40	15:00	15:28	15:21	14:15	14:15	13:08	13:20	14:20	14:53
Hora colocação endurecedor	15:39	15:06	16:13	15:25	15:00	14:17	13:53	13:24	15:05	14:56
Endurecedor (Kg)	0,72									
Água adicionada ao endurecedor (l)	0,243	0,215	0,303	0,238	0,295	0,237	0,289	0,231	0,264	0,258
Hora 1º afagamento	15:42	15:09	16:15	15:30	15:07	14:20	14:02	13:30	15:08	14:59
Hora 2º afagamento	16:00	15:27	16:32	15:50	15:19	14:35	14:15	13:47	15:26	15:18
Hora 3º afagamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hora 4º afagamento	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
Hora Fim Trabalhos	16:07	15:37	16:37	16:00	15:25	14:40	14:25	13:50	16:38	15:24

*Nota: Adicionou-se 2,5 l de água à amassadura L4 no período em que esteve 1 hora e 30 minutos na betoneira.

Tabela II.3 – Temperaturas dentro dos túneis para as duas composições L0

L0C18,5+45			L0C18,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
12:04		43,1		41
13:09		44,4		43,3
14:27		44		41,4
15:10		41,6		42,6
16:40	50		47,7	
17:11	51,4		53	
L0C28,5+45			L0C28,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
13:23		46,2		45,2
14:06		45,3		44,2
14:28		44,5		44,7
14:45	59,6		55,4	
15:00	59,5		53,4	

Tabela II.4 – Temperaturas dentro dos túneis para as duas composições L1

L1C18,5+45			L1C18,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
12:05		49,4		46,1
13:35		50,5		54,1
14:43		54,0		53,7
15:13	69,9		61,3	
16:01	70,0		54,2	
16:21	64,0		64,2	
L1C28,5+45			L1C28,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
14:18		49,0		50,9
16:18		46,2		48,9
17:00		47,5		49,1
17:15	69,1		55,4	
17:20	64,0		61,2	
17:35	70,9		61,9	

Tabela II.5 – Temperaturas dentro dos túneis para as duas composições L2

L2C18,5+45		L2C18,5		
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
14:00		47,9		51,7
14:50		49,8		52,4
15:10		49,1		52,6
16:06	72,4		60,1	
16:36	62,5		67,3	
16:44	72,6		66,7	
L2C28,5+45		L2C28,5		
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
14:00		46,0		49,3
14:30		52,2		49,2
14:35		51,5		49,5
14:40	68,5		60,8	
14:46	64,1		61,6	
14:53	73,7		61,0	

Tabela II.6 – Temperaturas dentro dos túneis para as duas composições L3

L3C18,5+45		L3C18,5		
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
13:44		52,1		53,8
14:12		53,2		52,4
14:50		52,6		54,6
15:05	62,4		63,4	
15:17	62,3		55,5	
15:28	72,0		64,1	
L3C28,5+45		L3C28,5		
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
13:40		46,8		47,8
14:00		55,2		49,1
14:40		48,8		59,0
15:10	65,9		57,2	
15:20	62,3		55,9	
15:25	64,4		56,3	

Tabela II.7 – Temperaturas dentro dos túneis para as duas composições L4

L4C18,5+45			L4C18,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
13:44		53,4		52,9
14:12		57,1		53,3
14:50		55,7		51,5
15:05	67,8		60,2	
15:17	66,9		61,1	
15:28	68,7		59,4	
L4C28,5+45			L4C28,5	
Hora	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)	Temperatura entrada do túnel (°C)	Temperatura saída do túnel (°C)
13:40		46,6		42,1
14:00		43,3		42,2
14:40		48,6		42,8
15:10	69,1		62,1	
15:20	65,6		63,4	
15:25	60,9		60,8	

Tabela II.8 – Taxa de evaporação para as duas composições L1

Tara da tina (Kg)		0,265	0,295
Identificação		L1C18,5+45	L1C18,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,109	2,270
	Peso água (l)	1,814	2,005
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,686	0,495
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,494	2,591
	Peso água (l)	2,199	2,326
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,301	0,174
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,689	0,723
	Peso água (l)	0,394	0,458
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,420	1,547
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	2,034	2,159
	Peso água (l)	1,739	1,894
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,460	0,432
Identificação		L1C28,5+45	L1C28,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,379	2,469
	Peso água (l)	2,114	2,174
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,386	0,326
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,616	2,697
	Peso água (l)	2,351	2,402
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,149	0,128
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,649	0,775
	Peso água (l)	0,384	0,480
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,730	1,694
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,854	2,023
	Peso água (l)	1,589	1,728
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,762	0,674

Tabela II.9 – Taxa de evaporação para as duas composições L1

Tara da tina (Kg)		0,265	0,295
Identificação		L1C18,5+45	L1C18,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,119	2,180
	Peso água (l)	1,854	1,885
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,646	0,615
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,546	2,578
	Peso água (l)	2,281	2,283
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,219	0,217
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,417	0,495
	Peso água (l)	0,152	0,200
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,348	2,300
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,602	1,721
	Peso água (l)	1,337	1,426
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,163	1,074
Tara da tina (Kg)		0,295	0,265
Identificação		L1C28,5+45	L1C28,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,356	2,447
	Peso água (l)	2,091	2,152
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,409	0,348
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,622	2,682
	Peso água (l)	2,357	2,387
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,143	0,113
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,421	0,597
	Peso água (l)	0,156	0,302
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,344	2,198
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,720	1,954
	Peso água (l)	1,455	1,659
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,045	0,841

Tabela II.10 – Taxa de evaporação para as duas composições L2

Tara da tina (Kg)		0,265	0,295
Identificação		L2C18,5+45	L2C18,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,102	2,258
	Peso água (l)	1,837	1,963
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,663	0,537
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,601	2,591
	Peso água (l)	2,336	2,296
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,164	0,204
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,850	0,322
	Peso água (l)	0,585	0,027
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,915	2,473
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,866	1,635
	Peso água (l)	1,601	1,340
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,899	1,160
Identificação		L2C28,5+45	L2C28,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,473	2,407
	Peso água (l)	2,208	2,112
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,292	0,388
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,671	2,669
	Peso água (l)	2,406	2,374
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,094	0,126
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,476	0,387
	Peso água (l)	0,211	0,092
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,289	2,408
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,789	1,892
	Peso água (l)	1,524	1,597
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,976	0,903

Tabela II.11 – Taxa de evaporação para as duas composições L3

Tara da tina (Kg)		0,265	0,295
Identificação		L3C18,5+45	L3C18,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,298	2,285
	Peso água (l)	2,033	1,990
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,467	0,510
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,670	2,669
	Peso água (l)	2,405	2,374
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,095	0,126
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,396	0,530
	Peso água (l)	0,131	0,235
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,369	2,265
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,676	1,832
	Peso água (l)	1,411	1,537
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,089	0,963
Identificação		L3C28,5+45	L3C28,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,312	2,301
	Peso água (l)	2,047	2,006
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,453	0,494
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,678	2,718
	Peso água (l)	2,413	2,423
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,087	0,077
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,401	0,308
	Peso água (l)	0,136	0,013
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,364	2,487
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,814	1,929
	Peso água (l)	1,549	1,634
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,951	0,866

Tabela II.12 – Taxa de evaporação para as duas composições L4

Tara da tina (Kg)		0,265	0,295
Identificação		L4C18,5+45	L4C18,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,338	2,396
	Peso água (l)	2,073	2,101
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,427	0,399
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,614	2,672
	Peso água (l)	2,349	2,377
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,151	0,123
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,401	0,705
	Peso água (l)	0,136	0,410
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,364	2,090
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,520	1,943
	Peso água (l)	1,255	1,648
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,245	0,852
Identificação		L4C28,5+45	L4C28,5
Entrada	Peso tina+água (Kg)	2,468	2,532
	Peso água (l)	2,203	2,237
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,297	0,263
Saída	Peso tina+água (Kg)	2,655	2,735
	Peso água (l)	2,390	2,440
	Taxa de evaporação (2,5 l)	0,110	0,060
Entrada dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	0,275	0,688
	Peso água (l)	0,010	0,393
	Taxa de evaporação (2,5 l)	2,490	2,107
Saída dia seguinte	Peso tina+água (Kg)	1,540	2,054
	Peso água (l)	1,275	1,759
	Taxa de evaporação (2,5 l)	1,225	0,741

ANEXO III – Ensaio de resistência à compressão

Tabela III.1 – Resistência à compressão dos provetes cúbicos C1

	3 dias			7 dias			28 dias		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Massa (kg)	8,122	8,086	8,099	8,098	7,916	7,962	7,897	8,120	7,823
Força (KN)	747,3	707,5	724,5	924,8	924,8	936,0	1111,5	1129,5	1104,8
Tensão (MPa)	33,2	31,4	32,2	41,1	41,1	41,6	49,4	50,2	49,1

Tabela III.2 – Resistência à compressão dos provetes cúbicos C2

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

Tabela III.3 – Resistência à compressão dos provetes cilíndricos C1

Identificação	Data	Ø (mm)	h (mm)	M (kg)	A (mm ²)	ρ (kg/m ³)	F (KN)	F _c (MPa)
L0C18,5	1	49	49	0,224	1886	2420	101	53,6
	2			0,225		2430	108	57,3
*L0C18,5+45	1			0,226		2450	101	53,6
	2			0,227		2460	118	62,6
*L1C18,5	1			0,225		2440	115,0	61,0
	2			0,226		2450	122,0	64,7
*L1C18,5+45	1			0,221		2390	111,0	58,9
	2			0,225		2440	111,0	58,9
L2C18,5	1			0,224		2420	96,9	51,4
	2			0,222		2400	98,5	52,2
L2C18,5+45	1			0,223		2410	94,6	50,2
	2			0,220		2380	93,6	49,6
L3C18,5	1			0,222		2400	105,0	55,7
	2			0,222		2400	93,6	49,6
L3C18,5+45	1			0,222		2400	104,0	55,2
	2			0,222		2400	110,0	58,3
L4C18,5	1			0,217		2350	70,5	37,4
	2			0,218		2360	66,6	35,3
L4C18,5+45	1			0,221		2390	75,1	39,8
	2			0,219		2370	71,7	38,0

*Nota: Fissuras nos provetes cilíndricos L1C18,5 e L1C18,5+45.

Tabela III.4 – Resistência à compressão dos provetes cilíndricos C2

Identificação	Data	Ø (mm)	h (mm)	M (kg)	A (mm ²)	ρ (kg/m ³)	F (KN)	F _c (MPa)
L0C28,5+45	1	49	49	0,227	1886	2460	138	73,2
	2			0,226		2450	146	77,4
L0C28,5	1			0,226		2450	155	82,2
	2			0,228		2470	148	78,5
L1C28,5	1			0,229		2480	140,0	74,2
	2			0,229		2480	137,0	72,4
L1C28,5+45	1			0,229		2480	141,0	74,8
	2			0,229		2480	124,0	65,7
L2C28,5	1			0,226		2450	132,0	70,0
	2			0,228		2470	145,0	76,9
L2C28,5+45	1			0,227		2460	123,0	65,2
	2			0,223		2410	123,0	65,2
L3C28,5	1			0,228		2470	165,0	87,5
	2			0,229		2480	168,0	89,1
L3C28,5+45	1			0,229		2480	158,0	83,8
	2			0,230		2490	165,0	87,5
L4C28,5	1			0,220		2380	95,5	50,6
	2			0,219		2370	96,4	51,1
L4C28,5+45	1			0,218		2360	94,6	50,2
	2			0,221		2390	106,0	56,2

Tabela III.5 – Índice esclerométrico

Tensões de compressão para cada ensaio (MPa)									
L0C1	L0C2	L1C1	L1C2	L2C1	L2C2	L3C1	L3C2	L4C1	L4C2
8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	8,5	SP8,5	P8,5	8,5
41	33	35	31	38	38	31	31	30	34
38	36	41	46	49	38	34	52	36	70 *
34	33	36	38	38	40	34	36	31	36
43	49	40	38	45	49	41	38	34	38
38	33	30	38	34	38	34	38	41	36
36	34	36	38	46	40	45 *	36	41	34
33	34	34	46	49	40	34	36	31	38
40	41	36	46	45	36	38	43	33	32
31	33	28	32	33	34	36	31	36	43
L0C18,5	L0C28,5	L1C18,5	L1C28,5	L2C18,5	L2C28,5	L3C18,5	L3C28,5	L4C18,5	L4C28,5
+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45	+45
34	33	27	30	31	30	32	34	33	41
40	36	34	44	36	52	38	34	28	45
34	38	34	38	27	36	34	28	36	31
38	43	34	41	38	52 *	40	36	45 *	41
33	34	34	40	38	40	33	43	39	43
36	34	38	41	36	41	33	36	31	38
33	33	36	34	36	49	38	43	28	31
54	38	38	38	38	52	31	34	39	32
38	30	31	31	41	34	34	34	31	34

*Os números assinalados a vermelho não são válidos

