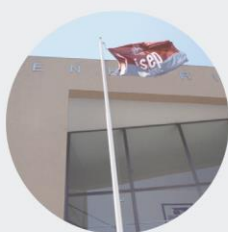




Resistência à Penetração de Cloretos em Estruturas de Betão

JOSÉ MIGUEL PEREIRA GOUVEIA

novembro de 2016



RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE BETÃO

JOSÉ MIGUEL PEREIRA GOUVEIA

Setembro 2016

RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE BETÃO

JOSÉ MIGUEL PEREIRA GOUVEIA

Relatório de Estágio submetido para satisfação parcial dos requisitos do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL – RAMO DE CONSTRUÇÕES

Orientador: Professora Eunice Maria Vilaverde Fontão

Supervisor: Engenheira Cristina Alves Ribeiro (Senqual, Sociedade de Engenharia e Qualidade, Lda)

SETEMBRO DE 2016

ÍNDICE GERAL

Índice Geral	iii
Resumo.....	v
Abstract	vii
Agradecimentos	ix
Índice de Texto	xi
Índice de Figuras.....	xiii
Índice de Tabelas.....	xv
Abreviaturas	xvii
Simbologia	xvii
1 Introdução e enquadramento.....	1
2 Relatório de estágio	3
3 Resistência à penetração de cloretos em estruturas de betão	21
4 Considerações finais.....	49
Referências Bibliográficas	51
Anexo I – Lista de ensaios que a Senqual efetua	55
Anexo II – Classes de exposição	57

RESUMO

O presente relatório tem como principal objetivo descrever o trabalho desenvolvido ao longo do estágio curricular no laboratório central pertencente à Senqual, empresa que efetua serviços de consultoria e controlo de qualidade na área da construção civil.

No decorrer do estágio, o aluno colaborou na realização de vários ensaios em laboratório. Esses ensaios foram efetuados em provetes de betão e agregados, sendo a maioria provenientes de obras de infraestruturas em que a Senqual fez o controlo de qualidade de materiais.

Para tema principal deste relatório foi realizado um ensaio de penetração de cloretos em estruturas de betão, realizado a partir da especificação LNEC E-383/93 e que consistia no método da célula de difusão. Inicialmente foi realizado o ensaio em dois provetes com resistência opostas à permeabilidade. O primeiro provete era bastante resistente e impermeável, prevendo-se pouca ou nenhuma penetração de cloretos. O segundo provete era permeável, prevendo-se assim que ocorresse penetração de cloretos ao longo do tempo.

A realização do ensaio de resistência à penetração de cloretos em estruturas de betão pelo método da célula de difusão teve como objetivo a elaboração de um manual de procedimentos, a validação deste método e proporcionar à Senqual a possibilidade de realizar o ensaio futuramente.

Palavras-chave: durabilidade, corrosão, cloretos, célula de difusão.

ABSTRACT

The main goal of this report is to describe the work accomplished throughout the internship on Senqual company central laboratory. This company performs consulting and quality control services in the construction area.

During the internship, the student collaborated in various laboratory tests. These tests were conducted on samples of concrete and aggregates, mostly from infrastructure constructions in where quality control was made by Senqual.

The main theme of this report was the chlorides penetration test in concrete structures, using the LNEC E-383/93 specification for diffusion cell method. The first sample used was resistant and waterproof, foreseeing little or no penetration of chlorides. The second sample used was permeable, so it was expected to occur chloride penetration over time.

The performing the test of resistance to chloride penetration in concrete structures by diffusion cell method aimed to the preparation of a manual of procedures. The validation of this method provided Senqual the possibility of holding this test in the future.

Keywords: durability, corrosion, chlorides,diffusion cell

AGRADECIMENTOS

À Senqual e ao engenheiro Alves Ribeiro, por me ter proporcionado a realização deste estágio de final de curso.

À engenheira Cristina Alves Ribeiro, por toda a orientação e acompanhamento, bem como a grande disponibilidade demonstrada ao longo dos 6 meses e mesmo depois de finalizado o estágio.

A todos os operadores de laboratório da Senqual, em especial ao Pedro Alves, pela paciência, acompanhamento e ensinamento de conhecimentos acerca dos ensaios laboratoriais.

À engenheira Eunice Fontão, pela orientação dada ao longo de todo este processo, dedicação e disponibilidade na ajuda da elaboração deste relatório.

A todos os meus familiares que sempre motivaram para lutar pelos nossos objetivos e não desistir, em especial à minha mãe que esteve sempre presente ao longo de toda a minha formação académica.

Ao técnico do LNEC António Silva Ferreira, pela ajuda no esclarecimento de algumas dúvidas.

A todos os meus colegas e amigos de curso que fizeram parte do meu percurso académico, quer pela ajuda em trabalhos e no estudo para os exames quer por todos os momentos vividos.

A todos os professores do ISEP que tive ao longo de todo o curso pelos conhecimentos transmitidos e a todos os funcionários que de alguma forma estiveram ligados ao meu percurso.

ÍNDICE DE TEXTO

1	Introdução e enquadramento.....	1
1.1	Considerações Iniciais.....	1
1.2	Enquadramento temático.....	1
1.3	Metodologia e organização do relatório	2
2	Relatório de estágio	3
2.1	Empresa	3
2.1.1	Atividade da Senqual	4
2.2	Atividades realizadas no âmbito do estágio	7
3	Resistência à penetração de cloretos em estruturas de betão	21
3.1	Introdução.....	21
3.2	Enquadramento	21
3.2.1	História do betão armado.....	21
3.2.2	Importância das armaduras.....	23
3.2.3	Agentes agressivos	23
3.3	Ensaio de determinação de resistência à penetração de cloretos	25
3.3.1	Método de célula de difusão.....	28
3.3.2	Método de difusão natural por imersão	29
3.3.3	Método de migração por regime não estacionário.....	29
3.4	Desenvolvimento do ensaio de resistência à penetração de cloretos em estruturas de betão pelo método de célula de difusão	30
3.5	Resultados.....	39

3.6	Manual de procedimentos.....	42
3.6.1	Preparação do provete	42
3.6.2	Preparação dos reagentes	43
3.6.3	Procedimento	43
3.6.4	Medição da concentração de Cloretos	43
3.6.5	Curvas de calibração - RCT - % Cl-.....	45
3.6.6	Boletim de ensaio	47
4	Considerações finais.....	49
4.1	Conclusões	50
4.2	Desenvolvimentos futuros	50

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Localização do laboratório da empresa	3
Figura 2 - Trabalhos na obra do Túnel de Águas Santas (Senqual, 2016)	4
Figura 3 - Noticia numa revista sobre o fim da Obra do Túnel do Marão (Jornal a Voz de trás os Montes, 2016)	4
Figura 4 - Barragem do Foz Tua (EDP, 2016)	5
Figura 5 - Trabalhos no novo circuito hidráulico da Barragem da Venda Nova (EDP, 2016)	5
Figura 6 - Construção do Descarregador de cheias Complementar de Caniçada (Senqual, 2016)	6
Figura 7 - Equipamento de ensaio de Los Angeles.....	7
Figura 8 – Equipamentos de ensaio Micro-Deval.....	8
Figura 9 - Exemplo de curva granulometrica (Apontamentos teoricos de Mecânica dos Solos).....	9
Figura 10 – Material de ensaio de massa volúmica e absorção de água	10
Figura 11 - Paquímetro de índice de forma.....	11
Figura 12 - Peneiros de barras.....	12
Figura 13 - Proвете com extensómetros colados.....	13
Figura 14 - Gráfico de carga e descarga de ensaio de módulo de elasticidade	13
Figura 15 - Proвете de betão submetido a ensaio de absorção de água por capilaridade	14
Figura 16 - Sistema usado no ensaio de penetração de água.....	15
Figura 17 – Fotografias de ensaio de determinação de dosagem de fibras	16
Figura 18 - Curvas características do ensaio de absorção de energia em placas de betão	17
Figura 19 - Ensaio de carga em placa	17
Figura 20 – Esquema de suporte para ensaio de tração em provetes cilíndricos.....	18
Figura 21 - Proвете submetido a compressão diametral	18

Figura 22 - Exemplos das primeiras utilizações de argamassa em Portugal	22
Figura 23 - Fotografia da primeira ponde em betão armado (Saint-Benoît-du-Sault, França)	22
Figura 24 - Fotográfica de ensaio de determinação da zona carbonatada	24
Figura 25 - Resumo esquemático dos principais métodos desenvolvidos de caracterização de resistência à penetração de cloretos (Coutinho, 2005)	27
Figura 26 - Preparação da solução saturada de hidróxido de cálcio	30
Figura 27 - Pesagem de 60 g de Cloreto de Sódio	31
Figura 28 – Preparação das patelas.....	31
Figura 29 - Pintura das primeiras duas patelas	32
Figura 30 - Colocação da patela por cima da borracha vedante	32
Figura 31 - Colocação das soluções nas respetivas células	33
Figura 32 - Decorrer do ensaio em banho-maria a 25°C.....	33
Figura 33 - Primeiro equipamento usado para medições de cloretos	34
Figura 34 - Curvas de calibração - RCT - % Cl-	36
Figura 35 – Equipamento usado para medições de cloretos por potenciometria.....	37
Figura 36 - Exemplo de medição de cloretos em função da medição potenciométrica do RCT.....	38
Figura 37 - Curva de regressão linear	41
Figura 38 - Esquema de corte de disco para ensaio	42
Figura 39 - Calibração do potenciómetro.....	44

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados da medição de pH no Hidróxido de cálcio	35
Tabela 2 - Resultados da medição de pH no Hidróxido de cálcio + 3 % de NaCl	35
Tabela 3 - Calibração do RCT	36
Tabela 4 - Medição da concentração de 3% de Cloretos	37
Tabela 5 - Medições de cloretos do 1º Provete	39
Tabela 6 - Medições de cloretos do 2º Provete	39
Tabela 7 - Medições de cloretos do 3º Provete	40
Tabela 8 - Medições fictícias de cloretos do 4º Provete	40

ABREVIATURAS

LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil

EP – Estradas de Portugal

EDP – Energia de Portugal

ABGE – Agregado britado de granulometria extensa

RCT - Rapid Clorid Test

SIMBOLOGIA

kg - Quilograma

m - Metro

cm - Centímetro

mm - Milímetro

m² - Metro quadrado

m³ - Metro cúbico

l - Litro

h - Hora

min - Minuto

s - Segundo

°C - Grau Celsius

rpm – Rotações por minuto

V - Volt

1 INTRODUÇÃO E ENQUADRAMENTO

1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

O presente relatório insere-se no âmbito da unidade curricular de DIPRE, correspondente a um estágio de 2º ano, do Curso de Mestrado em Engenharia Civil, Ramo de Construções e tem como principal objetivo a descrição do trabalho desenvolvido no estágio curricular, que decorreu na empresa Senqual. Para tema principal foi proposto o estudo de um ensaio para o qual a Senqual possuía o equipamento mas não estava em utilização devido ao facto de ser um ensaio pouco solicitado e, por essa razão, ainda pouco explorado pela empresa: o ensaio de determinação de resistência à penetração de cloretos em estruturas de betão.

1.2 ENQUADRAMENTO TEMÁTICO

Durante a história da construção a maioria das preocupações recaiam apenas no betão e na sua resistência às ações de compressão, o que importava era construir. Inicialmente as peças de betão eram de grandes dimensões, pois ainda não havia grandes estudos das suas características nem grande evolução dos métodos construtivos. Com o passar dos anos foi surgindo o betão armado, que veio permitir novas soluções construtivas de menor robustez e economicamente mais viáveis. Com a utilização do betão armado passou a ser aplicado um novo elemento nas construções, os varões de ferro. Constituindo as armaduras que tornavam as estruturas capazes de resistir a esforços transversos, os varões de ferro eram também sujeitos a outro tipo de degradação que anteriormente o betão não era sujeito e que durante muitos anos foi desprezado. Nas últimas décadas do século XX, com a crescente preocupação com os fenómenos de degradação das armaduras e do betão, surgiram os primeiros estudos e métodos de análise dos agentes agressores, que veio permitir a aplicação de novos tipos de matérias capazes de melhorar a durabilidade e melhorando significativamente o ciclo de vida das estruturas contemporâneas (Magalhães, 2010).

A carbonatação, associada ao efeito do dióxido de carbono, constitui um dos principais fenómenos que provocam a degradação das construções. A penetração do dióxido de carbono no betão irá provocar uma diminuição do pH do betão para valores que permitirão a penetração de cloretos na zona de recobrimento das armaduras e conseqüente corrosão das mesmas.

1.3 METODOLOGIA E ORGANIZAÇÃO DO RELATÓRIO

O desenvolvimento do presente relatório está dividido em três capítulos distintos. Inicialmente, procedeu-se ao acompanhamento dos trabalhos realizados no laboratório, análise e realização dos ensaios de forma a adquirir os conhecimentos e fundamentos necessários para a compreensão e discussão da temática abordada.

Seguidamente, procedeu-se à planificação do ensaio experimental a ser estudado, tendo para tal sido elaborado um manual de procedimentos do ensaio a efetuar, bem como a descrição do que foi feito e os obstáculos encontrados durante a realização do ensaio. Por fim, procedeu-se à discussão dos resultados obtidos para os diversos ensaios realizados.

A estrutura e organização do trabalho foi definida com o intuito de favorecer a abordagem e compreensão dos objetivos anteriormente descritos. Assim, o trabalho encontra-se seccionado em cinco capítulos e anexos, nos quais se contam as seções referentes à introdução e conclusão.

No capítulo 2 apresenta-se um primeiro tópico com uma breve apresentação da empresa e das obras em que participou seguindo-se um outro capítulo sobre os ensaios acompanhados no laboratório e no qual o aluno participou ao longo do estágio, breve descrição dos procedimentos e conclusões que se podem obter.

No capítulo 3, procede-se à descrição pormenorizada do ensaio de penetração de cloretos em estruturas de betão, tentativas efetuadas, dificuldades encontradas e resultados obtidos. Neste capítulo é também apresentado o manual de procedimentos elaborado para melhor compreender a especificação LNEC adotada para este ensaio.

No capítulo 4, são apresentadas as principais conclusões decorrentes da análise dos resultados, bem como uma análise geral dos 6 meses de estágio.

2 RELATÓRIO DE ESTÁGIO

2.1 EMPRESA

O estágio académico foi realizado na empresa Senqual, fundada em 1995, com sede em Espinho e com o laboratório central situado em Valadares (Vila Nova de Gaia), mais precisamente na rua do Carvalho. A Senqual efetua serviços de consultoria e controlo de qualidade na indústria da construção civil e obras públicas.

A Senqual iniciou a sua atividade em 1995 alicerçada na experiência acumulada de há mais de trinta anos pelo seu sócio fundador o Eng.º Alves Ribeiro, formado na faculdade de engenharia da universidade do Porto e com vasta experiência na área. Sendo responsável técnico e sócio gerente o Eng.º Alves Ribeiro, fazem também parte da sociedade a Eng.ª Cristina Alves Ribeiro e o Dr. Gonçalo Alves Ribeiro que desempenham respetivamente as funções de responsável técnica-adjunta e responsável administrativo e financeiro. A Senqual encontra-se atualmente em fase de internacionalização, procurando estar presente em novos mercados, tornando os seus técnicos e equipamentos dos mais variados ensaios uma referência nacional, o que tem propiciado o desenvolvimento e crescimento das diversas áreas da empresa.

O laboratório da Senqual conta com equipamentos laboratoriais recentes e técnicos especializados de forma a elaboração de diversos ensaios de acordo com as normas e a legislação em vigor (Senqual, 2016).

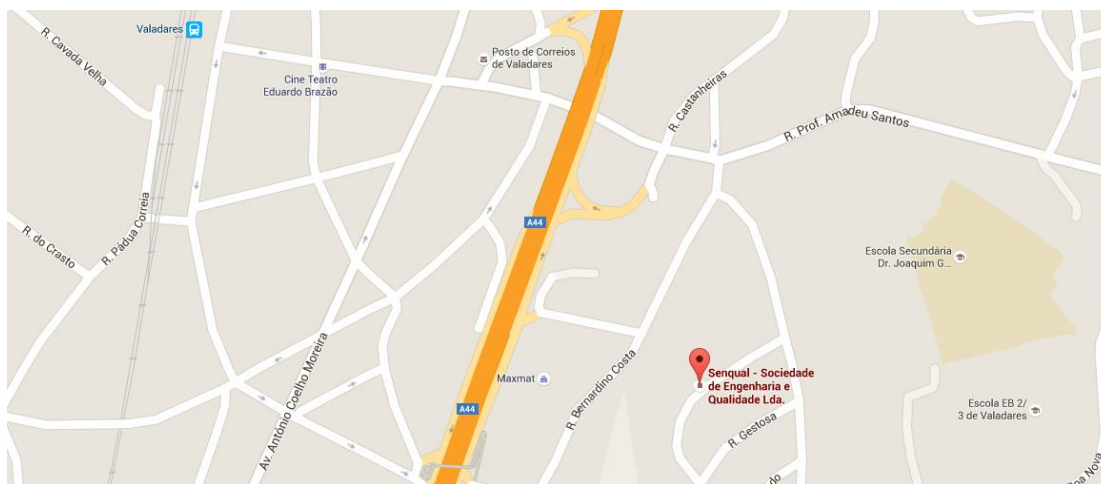


Figura 1 - Localização do laboratório da empresa

2.1.1 Atividade da Senqual

Durante os seis meses de realização do estágio, a empresa esteve presente e colaborou em várias obras importantes no panorama nacional, nomeadamente:

- A construção de novo túnel Norte de Águas Santas: efetuaram controlo de qualidade de betão projetado a partir do laboratório central;



Figura 2 - Trabalhos na obra do Túnel de Águas Santas (Senqual, 2016)

- A construção do túnel do Marão: após alguns anos da obra parada, onde efetuaram controlo de qualidade dos materiais, betão projetado, caldas e solos numa primeira fase e controlo de betuminosos e solos numa segunda fase a partir de dois laboratórios montados em obra e com o apoio do laboratório centra;



4 Figura 3 - Notícia numa revista sobre o fim da Obra do Túnel do Marão (Jornal a Voz de trás os Montes, 2016)

- Aproveitamento hidroelétrico da barragem do Foz Tua: no laboratório central foram realizados os ensaios físicos e químicos de controlo de qualidade de cinzas e cimentos;



Figura 4 - Barragem do Foz Tua (EDP, 2016)

- Reforço de potência da Barragem da Venda Nova: no laboratório central foram realizados os ensaios físicos e químicos de controlo de qualidade de cinzas e cimentos;

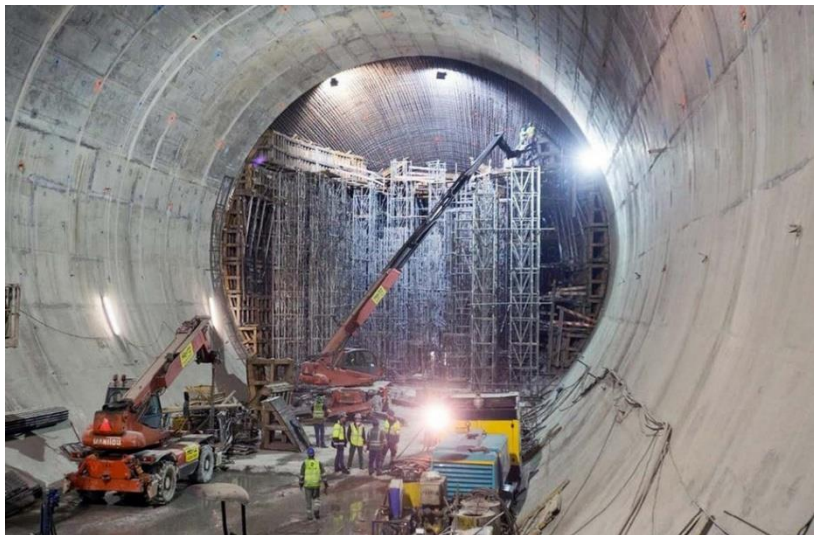


Figura 5 - Trabalhos no novo circuito hidráulico da Barragem da Venda Nova (EDP, 2016)

- Construção do Descarregador de cheias Complementar de Caniçada: a partir do laboratório montado em obra e com o apoio do laboratório central efetuaram controlo de qualidade de betão, betão projetado e agregados;



Figura 6 - Construção do Descarregador de cheias Complementar de Caniçada (Senqual, 2016)

- Controlo de pedreiras, Britevi e Inercer, onde efetuaram controlo de agregados;
- Apoio a obras de reabilitação.

Para além do trabalho que efetuou no decorrer do ano de 2016, a Senqual encontra-se neste momento em processo de acreditação dos ensaios que realiza de forma mais corrente de modo a aumentar a sua oferta no mercado da construção civil.

2.2 ATIVIDADES REALIZADAS NO ÂMBITO DO ESTÁGIO

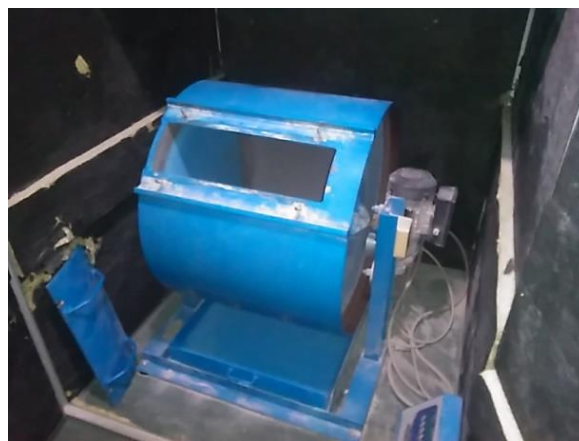
As atividades desenvolvidas ao longo do estágio consistiram no acompanhamento e participação na realização de vários ensaios no laboratório. A seguir são enumerados esses mesmos ensaios que foram realizados com maior frequência e no final do relatório encontra-se anexada a lista de todos os ensaios que a Senqual está habilitada a realizar (Anexo 1).

Ensaio Los Angeles

Este ensaio é realizado com o objetivo de determinar a resistência à desfragmentação de um dado agregado grosso pelo método de Los Angeles, resistência essa que consiste na capacidade do agregado não se quebrar enquanto é manuseado. O agregado é colocado no cilindro (Figura 7-b), juntamente com esferas de aço (Figura 7-a), colocando-se posteriormente a tampa do cilindro bem celada e de seguida iniciando-se 500 voltas a uma velocidade de 31 a 33 rpm, no final do ensaio é determinada a massa de material que depois de ensaiado e lavado fica retido no peneiro 1.6 mm e calculado o coeficiente de Los Angeles.



(a) – Esferas de aço



(b) – Tambor de ensaio Los Angeles

Figura 7 - Equipamento de ensaio de Los Angeles

Este é um ensaio de grande importância para determinar quais os agregados com melhor capacidade para serem usados em camadas betuminosas de desgaste, de regularização e superficiais. Foi realizado com grande frequência ao longo do estágio, tendo sido realizado em britas provenientes de pedreiras que a Senqual acompanha regularmente e também em britas e ABGE (agregado britado de granulometria extensa) aplicados na pavimentação do túnel do Marão.

O ensaio é realizado segundo a norma NP EN 1097-2 e aplica-se a agregados de origem natural ou artificial utilizados na construção civil e obras públicas. Os principais cuidados a ter com este ensaio é realizar uma toma representativa do material que se pretende ensaiar, esquarterar essa amostra, peneirar e lavar até se obter a massa necessária para o ensaio.

Ensaio Micro-Deval

Este ensaio é realizado com o objetivo de determinar o desgaste de um dado material imerso em água. O agregado é colocado num tambor (Figura 8-b), juntamente com 5 Kg de esferas de aço pequenas (Figura 8-a) e 2,5 litros de água, é colada a tampa nos tambores e apertados os parafusos de modo a ficar bem selado, de seguida o tambor é colocado no suporte (Figura 8-c) a efetuar 12000 +/- 10 voltas a uma velocidade de 100 +/- 5 rpm.



(a) - Esferas de aço



(b) - Tambores



(c) – Suporte dos tambores

Figura 8 – Equipamentos de ensaio Micro-Deval

Durante o estágio foram efetuadas varias repetições deste ensaio para amostras de brita e de ABGE provenientes da obra do túnel do Marão.

Este ensaio é realizado segundo a norma NP EN 1097-1. O principal cuidado deverá ser a preparação da amostra antes do ensaio, bem esquadrelada, peneirada, e lavada, e no fim do ensaio a separação das esferas de aço, a separação da água e a lavagem no peneiro 1.6 mm com bastante cuidado para não haver perdas não resultantes do ensaio propriamente dito.

Ensaio de análise granulométrica

O ensaio de análise granulométrica é efetuado para se obter uma distribuição das partículas de uma amostra de solo ou de agregados, até dimensões de 63 mm, e assim realizar uma curva de caracterização das dimensões dessa mesma amostra.

É realizado segundo a norma NP EN 933-1 e consiste na determinação da massa de cada amostra parcial que fica retida em cada um dos vários peneiros utilizados (intervalos 0,063 mm, 0,125 mm, 0,250 mm, 0,5 mm, 1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm e 63 mm). Por ultimo é efetuado o cálculo dos retidos acumulados em cada peneiro e é traçada a curva de distribuição granulométrica (Figura 9). Na realização deste ensaio é necessário o cuidado na preparação e esquadrelamento da amostra de modo a obter-se uma toma representativa da mesma.

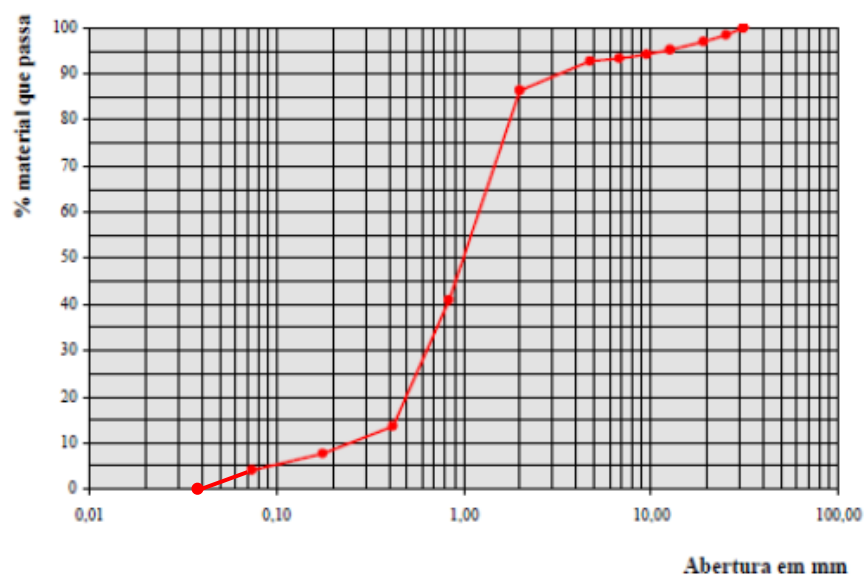


Figura 9 - Exemplo de curva granulométrica (Apontamentos teóricos de Mecânica dos Solos)

Com a realização deste ensaio é possível identificar os agregados que mais se adequam a serem usados nas composições de betão ou betuminosos consoante as soluções e comportamentos que se

pretendam. Ao longo do estágio, o ensaio foi realizado várias vezes em agregados, britas e ABGE, provenientes de pedreiras e de obras que a Senqual efetuou o controlo de qualidade.

Ensaio de massa volúmica e absorção de água

O ensaio consiste em determinar a relação entre a massa e volume de uma amostra seca e a massa e o volume da mesma amostra dentro de água.

Este ensaio é realizado segundo a norma NP EN 1097-6, e determina-se a massa volúmica a partir da razão entre a massa e o volume. Para amostras grossas (brita), pesa-se inicialmente para se obter a massa seca, e depois é pesada novamente dentro de um cesto imerso em água (Figura 10-b). Por fim retira-se o cesto e a amostra é pesada novamente com as partículas saturadas com superfície seca.

Para amostras finas (areias), o procedimento é um pouco diferente, recorrendo-se ao uso de um picnómetro (Figura 10-a), em que a amostra inicial é lavada e de seguida colocada no picnómetro em banho-maria. Neste método deve-se agitar o picnómetro para libertar as partículas de ar que fiquem retidas, de seguida enche-se o resto do picnómetro com água e coloca-se a tampa. No final do ensaio a amostra é seca e colocada num molde troncocónico para de analisar a deformação da amostra.

Este ensaio foi realizado com alguma frequência ao longo do estágio em areias e britas.



a - Picnómetro



b – Cesto metálico

Figura 10 – Material de ensaio de massa volúmica e absorção de água

Ensaio de índice volumétrico

Este ensaio consiste em determinar a volumetria de uma amostra de brita ou de outro material grosso, não se aplicando a amostras de areia.

O ensaio é realizado segundo a especificação LNEC E 223, em que inicialmente a amostra é separada em intervalos granulométricos, e de cada intervalo, mede-se a maior dimensão, arredondada às unidades em mm, de cada uma de cinquenta partículas, com um paquímetro e regista-se o volume correspondente a uma esfera com esse diâmetro, efetua-se este processo para todas as frações retidas e em seguida regista-se o volume acumulado de cada fração da amostra.

Depois de todas as partículas de uma granulometria medidas, enche-se uma proveta graduada com uma quantidade de água suficiente para que seja possível colocar as partículas de uma dada fração dentro de água e determina-se o acréscimo de volume da água.

Neste ensaio os principais cuidados a ter é ser realizado com paciência, é um ensaio muito repetitivo e moroso, pelo que facilmente se comete erros a anotar os volumes correspondentes aos diâmetros máximos, e também se deve colocar as partículas na proveta graduada com cuidado e lentamente para que a mesma não verta água ou salpique.

Durante o estágio foi um ensaio realizado esporadicamente para avaliação de parâmetros de britas produzidas em pedreiras e para algumas obras.

Ensaio de índice de forma

Este ensaio consiste em determinar o índice de forma da fração de um dado agregado, que se obtém através da percentagem de massa resultante do material retido num paquímetro que restringe a espessura máxima de uma partícula em função do seu comprimento.

O ensaio é realizado, segundo a norma NP EN 933-4, normalmente depois de ensaios de análise granulométrica, em que se determinou a fração do material retido mais predominante, e a partir da mesma é efetuado o ensaio de índice de forma, com um paquímetro próprio deste ensaio (Figura 11), em que se procura a maior dimensão de cada unidade de uma brita e em seguida se verifica se a mesma passa no intervalo que o paquímetro apresenta.

Durante o estágio foi um ensaio realizado esporadicamente para avaliação de parâmetros de britas produzidas numa pedreira.



Figura 11 - Paquímetro de índice de forma

Ensaio de índice de achatamento

O ensaio de índice de achatamento consiste principalmente em determinar a percentagem de partículas achatadas de uma amostra de um agregado. Este ensaio, tal como o índice de forma é realizado geralmente depois da realização de uma análise granulométrica em que o material já se encontra separado em várias frações.

O ensaio é realizado segundo a norma NP EN 933-3, em que a partir de cada fração retida peneira-se novamente o material, em peneiros de barras (Figura 12), de forma a reter as partículas não achatadas e por fim faz-se uma relação entre a massa total e a massa achatada.

Este ensaio foi realizado algumas vezes ao longo do estágio para controlo de qualidade de britas proveniente de pedreiras.



Figura 12 - Peneiros de barras

Ensaio de módulo de elasticidade

O ensaio tem o objetivo de determinar o módulo de elasticidade do betão. Este ensaio é atualmente realizado segundo a norma DIN 1048-5 onde os provetes cilíndricos de betão (150 mm de diâmetro e 300 mm de altura) são submetidos a ciclos de carga e descarga numa prensa (figura 14).

Inicialmente é efetuado um ensaio de compressão num provete igual aos que se irão ensaiar, determinando-se assim a tensão máxima de rotura à compressão. Nos provetes seguintes para ensaio serão colados dois extensómetros a meio de dois lados laterais dos provetes (Figura 13) que servirão para medir a extensão enquanto se vai aplicando nos provetes um terço da carga máxima de rotura à compressão.

O módulo de elasticidade em compressão corresponde ao módulo secante calculado como a razão entre uma determinada tensão e a deformação (extensão) correspondente. Este ensaio é de extrema importância para a determinação do módulo de elasticidade, um dos parâmetros mais importantes no cálculo estrutural.



Figura 13 - Provete com extensómetros colados

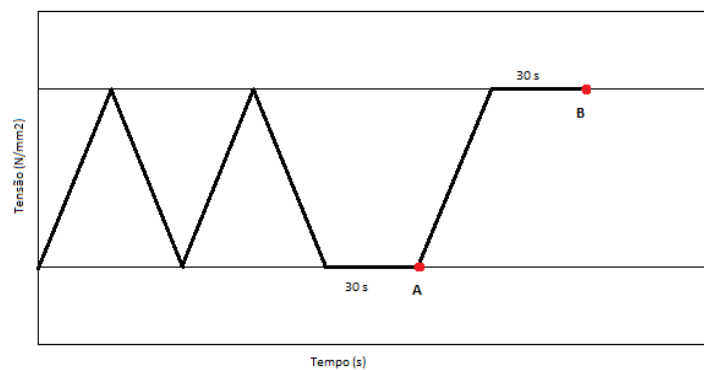


Figura 14 - Gráfico de carga e descarga de ensaio de módulo de elasticidade

Ensaio de absorção de água por capilaridade

O ensaio de absorção de água por capilaridade consiste em determinar a quantidade de água que um provete absorve ao longo de um período de tempo. A capilaridade é a designação que se dá à penetração de um fluido no betão por ação de sucção induzida pela estrutura da porosidade do betão.

O ensaio é realizado segundo a especificação LNEC E 393, em que os provetes cilíndricos, após terem estado 14 dias numa estufa à temperatura de 40 °C, são colocados dentro de um recipiente sobre um suporte com a face inferior 5 mm imersa em água (Figura 15). Antes do início do ensaio é pesada a massa seca de dois provetes, e volta-se a pesar a massa dos provetes 3 horas, 6 horas, 24 horas e 72 horas depois do início do ensaio para analisar a evolução da absorção por capilaridade, obtendo-se a absorção de água por capilaridade através da diferença de massa entre as medições iniciais e no decorrer do ensaio.

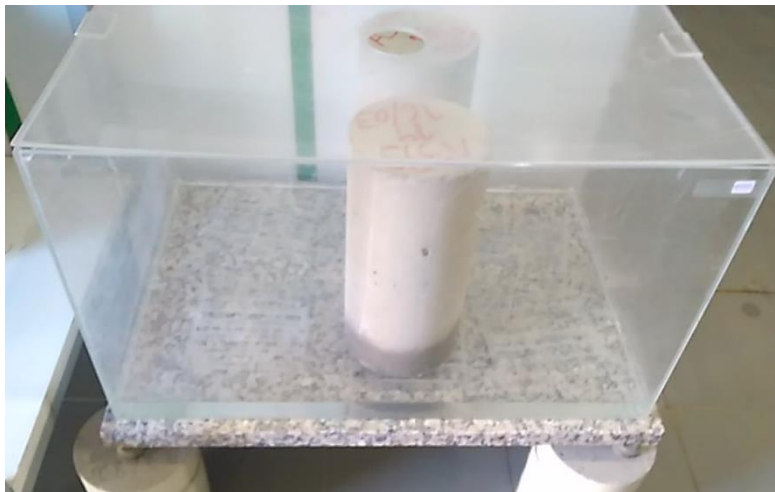


Figura 15 - Provet de betão submetido a ensaio de absorção de água por capilaridade

Ao longo do estágio este ensaio foi realizado com alguma frequência em provetes de betão provenientes da barragem da Caniçada. O coeficiente de capilaridade é obtido através da relação entre a massa obtida nas várias pesagens, sendo que em todos os ensaios é efetuada uma observação do interior dos provetes para detetar alguma anomalia ocorrida que possa ter influenciado a absorção de água.

Deve ter-se em conta que neste ensaio os resultados podem ser influenciados significativamente pelo tipo de provete ensaiado (moldado ou caroteado). Caso a altura de ascensão capilar atinja a altura do provete, esse ensaio torna-se inválido.

Ensaio de penetração de água sob pressão

O ensaio de penetração de água consiste em avaliar a resistência de um provete cubico à penetração de água sob ação de uma pressão externa.

O ensaio é realizado segundo a norma NP EN 12390-8, e consiste na fixação de provetes cúbicos num suporte vertical ligado a um reservatório de água que por sua vez está ligado a um compressor (Figura 16). Após o cubo ser bem ajustado e vedado, é aberta as torneiras de segurança das tubagens que se encontram com uma pressão de 5 Bares. O ensaio tem uma duração de 3 dias e no final é retirado o cubo e aberto a meio e após se separarem as duas metades é medido a profundidade média e máxima de humidade que corresponde à penetração de água. Sendo um ensaio destrutivo, não é possível realizar-se novamente o ensaio em caso de se obter resultados duvidosos.



Figura 16 - Sistema usado no ensaio de penetração de água

Os principais cuidados a ter neste ensaio é a análise da pressão no circuito ao longo dos três dias de duração do ensaio e também a análise rápida da profundidade húmida, a cor do betão por vezes não permite avaliar bem este parâmetro além de que quando se separam as faces, as mesmas secam rapidamente. O objetivo principal deste ensaio é determinar a resistência de um provete de betão conservado em água à penetração de água sob pressão.

Ensaio de determinação da dosagem de fibras

Este ensaio é efetuado para determinar a quantidade de fibras presentes num provete de betão caroteado de uma placa de betão projetado. O ensaio é realizado segundo a norma NP EN 14488-7, em que inicialmente o provete (Figura 17-a) é colocado numa prensa para se partir e de seguida é

desfragmentado no interior de um tabuleiro com auxílio de um martelo até se conseguir separar todas as fibras contidas no provete (Figura 17-b), fibras essas que podem ser poliméricas ou metálicas.

Este ensaio foi realizado esporadicamente ao longo do estágio, e no decorrer do ensaio o principal cuidado a ter é não perder material enquanto se efetua a desfragmentação e separação das fibras.

A dosagem de fibras é obtida através da comparação da massa resultante das fibras extraídas e o volume do provete. Cada ensaio é efetuado a partir de três provetes e no final é feita uma média dos resultados obtidos para cada um deles.



(a) - Provetes de betão



(b) - Fibras retiradas de um provete de betão

Figura 17 – Fotografias de ensaio de determinação de dosagem de fibras

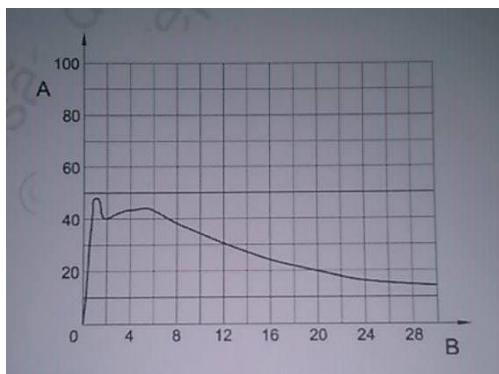
Determinação da absorção de energia em placas de betão projetado reforçado com fibras

Este ensaio consiste em determinar a capacidade de absorção de energia em resposta à carga/flexa que é submetida numa placa de betão armado reforçado com fibras. Um provete de laje de betão reforçada com fibras é submetido a uma carga por intermedio de um bloco rígido de aço, colocado no centro da laje. Regista-se a carga/flexa e prossegue-se com o ensaio até se obter uma flexa de 30mm no centro da laje, o ensaio realiza-se a uma velocidade de 1 mm/min, tendo uma duração de 30 minutos. A partir da energia/flecha, traça-se uma segunda curva com os valores de energia absorvida em função da flecha da laje.

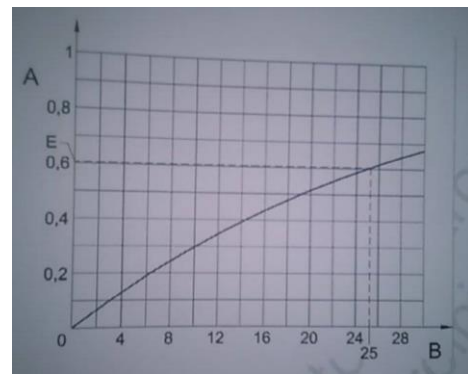
As placas de betão que foram ensaiadas ao longo do estágio eram constituídas por betão projetado com fibras metálicas ou de polietileno, sendo estas placas ensaiadas para controlo de qualidade e também para estudo das soluções mais favoráveis a adotar nos tuneis do Marão e Águas Santas.

O ensaio é realizado segundo a norma NP EN 14488-5. Os principais cuidados a ter é assegurar que as placas sejam o mais planas possíveis, ou seja, que estejam em contacto direto com os 4 bordos do suporte no início do ensaio, que o local onde se aplique a carga seja o mais plano possível e sem fendas ou buracos, e que tenha uma altura de aproximadamente 100+5 mm. Devido ao grande tamanho e massa das placas é necessário um empilhador e duas pessoas para as colocar e retirar na prensa em segurança.

A partir integração da curva de carga/flecha (Figura 18-a), é traçado o diagrama de energia representando o trabalho efetuado em função do deslocamento (Figura 18-b). O resultado do ensaio consiste no valor de energia necessário para se obter uma deformação na placa de 25 mm.



a - Curva de carga/flecha



b – Diagrama de energia

Figura 18 - Curvas características do ensaio de absorção de energia em placas de betão



Figura 19 - Ensaio de carga em placa

Ensaio de resistência à tração por compressão diametral dos provetes

Este ensaio é realizado segundo a norma EN NP 12390-6:2003 e consiste na determinação de resistência à tração de um provete de betão por compressão diametral de provetes cilíndricos de betão endurecido. A resistência é determinada através da colocação do provete numa prensa e na aplicação de uma força de compressão num alinhamento da face lateral do provete cilíndrico, que rompe por tração (Figura 21). Assim como demonstra na Figura 20 e 21, este ensaio é realizado com o auxílio de um suporte próprio para não danificar os pratos da prensa (peças em contacto direto que exercem a força de compressão) e que permite o posicionamento e aplicação da carga no alinhamento correto. Na realização deste ensaio o principal cuidado a ter é a posição central do provete e do suporte tendo sempre cuidados de segurança.

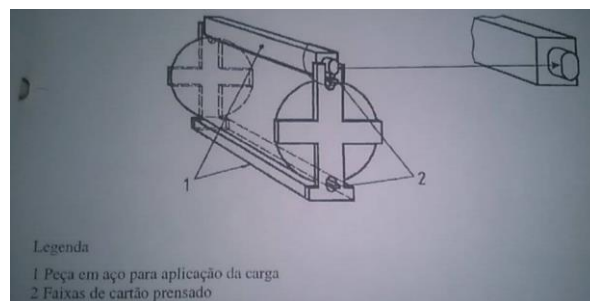


Figura 20 – Esquema de suporte para ensaio de tração em provetes cilíndricos



Figura 21 - Provete submetido a compressão diametral

Ensaio de penetração de cloretos em betões

Este ensaio foi o tema principal de estudo no decorrer do estágio e foi realizado pelo método da célula de difusão de acordo com a especificação LNEC E 383-93. Consiste na análise ao longo do tempo da evolução da concentração de cloretos de uma dada solução. Solução essa que inicialmente está pura e que poderá sofrer contaminação através de um provete de betão que estabelece ligação com uma outra solução inicialmente contaminada.

Inicialmente, para cada ensaio, são preparadas duas soluções saturadas de hidróxido de cálcio, cada uma com 2 L, em que se juntou a uma delas 60g de cloreto de sódio (3% da totalidade dessa solução). Após as soluções preparadas e a obtenção do provete saturado procede-se à montagem das células, com a colocação do provete bem centrado no meio das mesmas. Com os parafusos bem apertados e o provete vedado, procede-se à colocação da solução de hidróxido de cálcio puro num dos recipientes, e de hidróxido de cálcio mais 3% de cloreto de sódio no outro recipiente como demonstra na Figura 22.

Durante os primeiros 5 dias são efetuadas medições dos níveis de cloretos e nas semanas seguintes efetua-se uma medição por semana. No final do ensaio é efetuada a curva de regressão linear, a partir dos resultados obtidos, e é calculado o coeficiente de difusão.

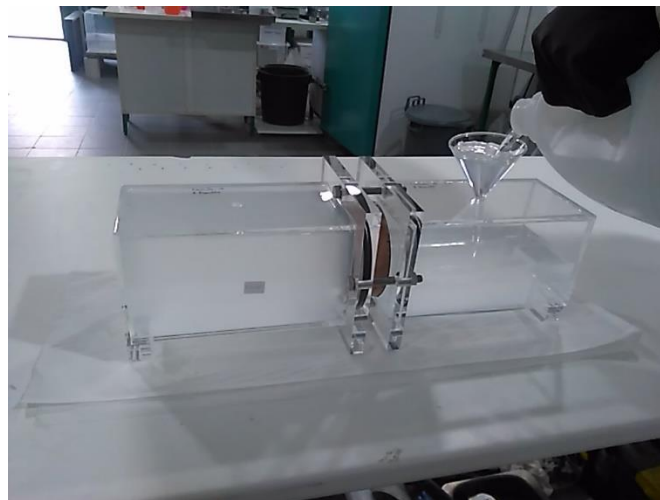


Figura 22 – Montagem da célula de difusão

3 RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE BETÃO

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo é abordado o tema principal do relatório estudado ao longo do estágio, a penetração de cloretos em estruturas de betão. No primeiro tópico é descrito toda a investigação e enquadramento temático em relação à sua importância no panorama da engenharia civil no que diz respeito à preservação das construções. Seguidamente é efetuado a descrição do trabalho desenvolvido em laboratório a fim de se obter o objetivo da realização do ensaio e elaboração do manual de procedimentos e descrição dos resultados obtidos com a elaboração dos ensaios.

3.2 ENQUADRAMENTO

O betão constitui o material mais utilizado na indústria da construção, sendo formado geralmente por uma mistura de água, inertes, que podem ser areia e/ou britas, e cimento e que após a betonagem e cura forma uma espécie de pedra artificial. Foram as argamassas, denominações dadas para as misturas mais finas atualmente usadas para a aplicação de alvenarias de tijolo, que deram origem ao betão. Com o evoluir das soluções construtivas surgiram vários tipos de betão associados aos materiais que se juntaram ao betão. O betão armado, onde se juntaram armaduras de ferro nas estruturas, o betão com fibras, onde foram adicionadas fibras metálicas e/ou sintéticas à mistura do betão fresco, betão armado e pré-esforçado, que para além das armaduras de ferro se juntaram cabos de aço pré-esforçados.

Para além dos materiais que se juntaram ao betão existem também produtos que se adicionam à mistura do betão, para modificar determinadas características, designados por adjuvantes.

3.2.1 História do betão armado

A utilização de argamassas nas construções data da época dos romanos, onde era utilizado essencialmente para pavimentos, paredes e fundações, com grande exploração deste material também em construções de templos, pontes e aquedutos que duram até aos dias de hoje. Por exemplo a ponte de Vila Formosa na N369 (Figura 23-a) e a ponte de Trajano sobre o Rio Tâmega em Chaves (Figura 23-b) são

casos disso em Portugal. Já nesta época, surgiram as primeiras tentativas de construir com betão armado, usando cabos de bronze, o que se revelou ineficiente devido a problemas de variações de dilatação entre os cabos de bronze e o betão (Appleton, 2013).



a - Ponte de Vila Formosa



b - Ponte de Trajano

Figura 23 - Exemplos das primeiras utilizações de argamassa em Portugal

O betão armado capaz de resistir a trações, mais próximo com o que se utiliza nos dias de hoje, surgiu primeiro em obras navais, pela mão de Jean-Louis Lambot (1814-1887) que aplicou betão armado na construção de um barco. Sendo novidade, viria a ser apresentado na feira Mundial de Paris sem ter grande reconhecimento, tendo despertado do interesse de Joseph Monier (1823-1906), que vislumbrou a aplicação do mesmo material em vasos e canteiros florais que noutros materiais fissuravam com bastante facilidade. Mais tarde, Monier veio a desenvolver e registar várias patentes de tubos e tanques (1868), de painéis decorativos para fachadas de edifícios (1869), de reservatório de 130 m³ (1872), de construção de pontes e passadiços (1873 e 1875) (Figura 24) e de vigas de betão armado (1878) (Dirceu, 2008).



Figura 24 - Fotografia da primeira ponte em betão armado
(Saint-Benoît-du-Sault, França)

No início do século XX surgiram as primeiras publicações normativas em Portugal do que já era aplicado na Alemanha e em França, referentes aos processos relacionados com o formigão armado, nomeado anteriormente ao betão armado (Appleton, 2013). As diferentes aplicações tornaram esta inovação técnica um dos destaques na área da construção civil e também do meio académico

3.2.2 Importância das armaduras

O funcionamento conjunto da combinação betão-aço que constitui o betão armado é assegurado pela aderência existente entre os mesmos, assim como as amarrações que ligam as armaduras ao betão. As armaduras permitiram também uma redução da quantidade de betão a usar, tornando os elementos construtivos mais leves e reduzindo o peso próprio das construções. Com a utilização das armaduras ocorreu um crescimento da utilização e desenvolvimento de peças pré-fabricadas como painéis de paredes, tabiques, pavimentos e coberturas (Leite, 1980). Uma das causas principais da degradação estrutural e redução da vida útil das estruturas é a deterioração do betão, com perda da camada de recobrimento, e consequente corrosão das armaduras (Mendonça, 2005).

Sendo o principal elemento resistente aos esforços de tração que o betão por si só não é capaz de suportar, as armaduras têm o inconveniente de se deteriorarem rapidamente quando expostas ao ar e à água, sendo portanto de grande importância impedir a ocorrência dos processos que podem originar essa deterioração das armaduras. Essa degradação pode surgir quer por erros humanos quer por ação da natureza, tendo como principal problema a perda de função estrutural. Sendo que a permeabilidade aos líquidos e vapores é a principal causa da vulnerabilidade aos agentes externos. Logo, para ser durável, o betão deve ser o menos permeável possível (Ribeiro, Pinto e Starling, 2002).

3.2.3 Agentes agressivos

A ação dos agentes agressivos está diretamente relacionada com a permeabilidade, que se traduz-se na capacidade de ocorrência de transporte interno de água, gases e outros agentes agressivos, sendo que a degradação dependerá, para além da permeabilidade do betão, das condições de exposição ambientais da superfície, ou seja, os agentes agressivos. Como, em geral, não se poderá lidar com a melhoria das condições ambientais, a única alternativa, neste sentido, para se evitar a degradação das armaduras do betão armado é a redução, ao menor nível possível, da sua permeabilidade (Souza e Ripper, 1998). A permeabilidade do betão, não é um fator apenas relacionado com a porosidade, depende também da geometria dos inertes (dimensões, distribuição e forma), do percurso dos fluidos e continuidade dos poros (Neville, 1997). Portanto, dois betões distintos, com a mesma porosidade,

poderão apresentar coeficientes de permeabilidade bem diferentes (Cavalcanti Filho, 2010). Logo, a permeabilidade do betão deverá ser o principal aspeto a considerar no processo físico-químico de deterioração (Mehta e Monteiro, 1994).

As classes de exposição do betão relativamente aos locais das construções estão presentes na Tabela 1 do anexo II, consultadas na especificação LNEC E 464-2005 (Metodologia prescritiva para vida útil de projecto de 50 anos face às acções ambientais), que descreve como principais agentes agressores a exposição à carbonatação, corrosão por cloretos não provenientes do mar, corrosão por cloretos provenientes do mar e ataque pelo gelo/degelo.

O processo de ataque do betão inicia-se de fora para dentro (Mendonça, 2005), sendo necessário uma camada de recobrimento mínimo para protecção das armaduras, quanto maior for a espessura do recobrimento maior será a protecção das armaduras.

Até meados dos anos 80 a utilização do betão foi sendo ponderada apenas em função resistência do mesmo às acções de compressão (Magalhães, 2010), surgindo problemas de degradação ao longo dos ciclos de vida das construções. Surgiu então o novo parâmetro de durabilidade, correspondente à capacidade do betão de resistir às acções da natureza e associado à capacidade das estruturas conservarem os seus requisitos mantendo as condições de segurança. O conceito de durabilidade referente ao betão está diretamente ligado às exposições a que estará sujeito, referidas anteriormente na tabela 1.

A carbonatação consiste na reacção química entre a cal, constituinte do betão obtido através da hidratação do cimento, e o dióxido de carbono presente no ar originando o carbonato de cálcio provocando uma diminuição do pH do betão de 13,5, valor que protege as armaduras de corrosão por cloretos, para um valor de 9, provocando a perda da camada protetora das armaduras contra a acção dos cloretos. A profundidade de carbonatação no interior do betão, além da permeabilidade, depende da quantidade de substâncias carbonatáveis e da humidade relativa do ar e é possível identificar-se facilmente essa profundidade com a aplicação de um reagente (fenolftaleína) conforme apresentado na Figura 25, a zona carbonatada apresenta-se incolor.



Figura 25 - Fotográfica de ensaio de determinação da zona carbonatada

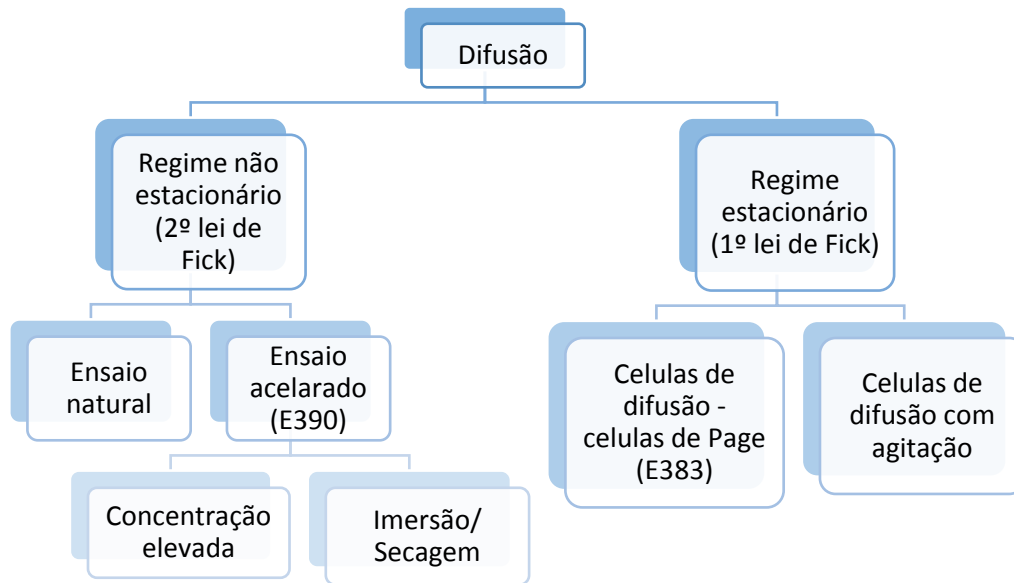
O ataque por cloretos pode ser diretamente proveniente do mar, estruturas permanentemente ou temporariamente em contacto com o mar ou até cerca de 200 metros do mar, e não provenientes do mar, estruturas afastadas do mar mas expostas a ventos que transportem sais (faixa crítica de 5 Km) ou estruturas em contacto com sais descongelantes ou em contacto com água contendo cloretos. O ataque por cloretos dá-se através da destruição da camada protetora das armaduras, consequência nas estruturas que sofreram carbonatação, irá permitir que na presença de ambiente húmido os íons cloreto se fixem ao redor das armaduras e originem a corrosão provocando três efeitos (Sistonen, 2009):

- perda de seção transversal da armadura;
- formação de óxidos e hidróxidos que provocam fissurações na camada de recobrimento;
- rotura da ligação da armadura com o betão resultantes da corrosão e acumulação de óxidos.

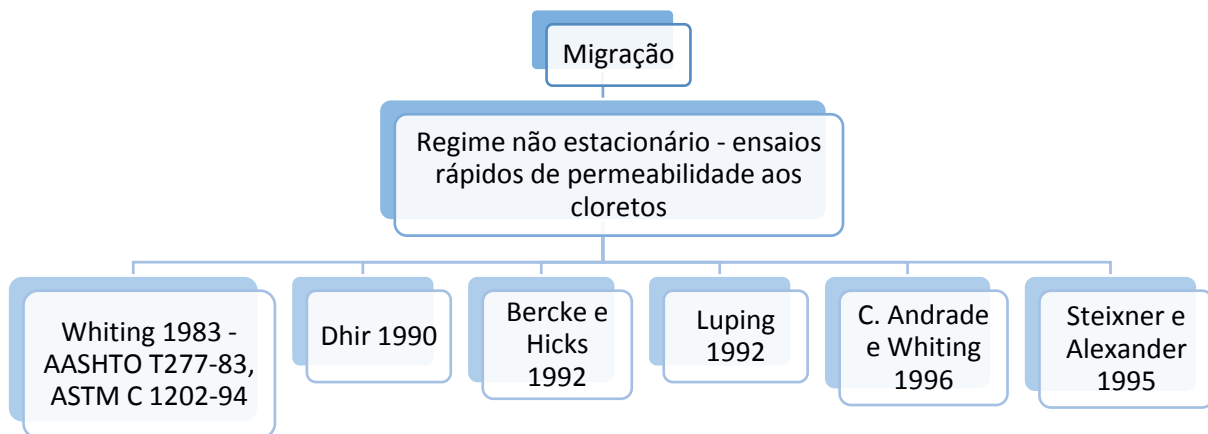
O ataque por gelo e/ou degelo ocorre em locais onde há variações de temperatura e onde ocorrem temperaturas negativas, a este tipo de ataques pode estar também associado ataque por sais descongelantes. O problema causado por este agente agressor é as variações das dilatações entre o betão e as armaduras que causa problemas nas camadas de recobrimento.

3.3 ENSAIO DE DETERMINAÇÃO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS

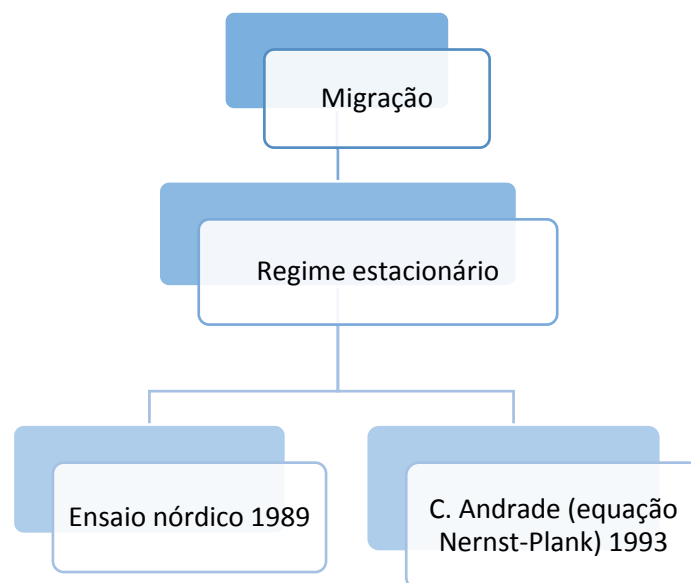
Para ser garantida a resistência e durabilidade do betão em relação aos vários agentes agressivos foram sendo desenvolvidos ensaios para determinação das resistências à ação dos agentes agressores, para determinação da capacidade de penetração desses agentes e para a determinação da presença desses agentes agressivos nos constituintes do betão. No caso da ação de cloretos foram desenvolvidos vários ensaios ao longo do tempo para determinar a resistência à penetração de cloretos. Ensaios esses que se dividem em ensaios de difusão (Figura 26-a) e migração (Figura 26-b e 26-c), ambos em regime estacionário e não estacionário.



(a) – Métodos de difusão



(b) – Métodos de migração por regime não estacionário



(c) – Métodos de migração por regime estacionário

Figura 26 - Resumo esquemático dos principais métodos desenvolvidos de caracterização de resistência à penetração de cloretos (Coutinho, 2005)

O método mais divulgado de difusão foram as células de difusão, inicialmente utilizados por Page, que consiste num método de regime estacionário de determinação da difusão dos iões cloreto por meio da colocação de uma fatia de betão entre uma solução com uma determinada concentração de iões cloreto e uma solução pura. O ensaio consiste no controlo da concentração de iões na célula pura ao longo do tempo e o coeficiente de difusão era calculado em função da primeira lei de Fick (E383, 1983). Mais tarde surgiram os métodos de difusão por regime não estacionário que recorriam à segunda lei de Fick para determinar o coeficiente de difusão e consistiam na emersão natural de provetes em soluções salinas.

Os primeiros ensaios de determinação de permeabilidade de cloretos por migração surgiram nos Estados Unidos da América durante os anos 80, o AASHTO T 277-83, desenvolvido por Whiting, consistia num método por regime não estacionário e que deu os princípios para outros métodos desenvolvidos mais tarde. Nos anos 90 surgiu o método ASTM C-1202, adaptado a partir do primeiro método da AASHTO, tendo sido possível passar a identificar-se, para além do fluxo de cloretos que apenas se identificava no primeiro método, todos os iões presentes no betão a partir de uma carga elétrica com um potencial de 60 V transmitida durante um período de 6 horas. Streicher e Alexander desenvolveram outro método, semelhante ao AASHTO, em que a partir de uma carga elétrica de 10 V era possível identificar-se a condutividade que favorece a migração de cloretos muito mais rapidamente que nos outros métodos. Nos anos 80, Nordtest desenvolveu na Noruega um método também a partir do AASHTO, mas onde se

realizava o ensaio em condições estacionárias e a partir de uma voltagem de 12 V se determinava a permeabilidade aos cloretos, ficando conhecido como método Nórdico (Ferreira, 2000).

Os coeficientes de difusão obtidos tanto nos ensaios não estacionários (difusão forçada) como nos estacionários (difusão natural) têm a mesma ordem de grandeza, no entanto esses resultados apenas têm uma função comparativa uma vez que os ensaios de difusão natural não correspondem exatamente ao que ocorre nas condições reais.

Em 1993 surgiram em Portugal as primeiras duas especificações pelo LNEC, tendo surgido uma outra em 2004, onde constavam os métodos de ensaios para a determinação da resistência à penetração dos cloretos:

- o método da célula de difusão;
- o método de difusão natural por imersão;
- o método de migração por regime não estacionário.

3.3.1 Método de célula de difusão

Para a realização deste ensaio foi adotada a especificação LNEC E 383-1993, que estabelece o método a seguir para se determinar o coeficiente de difusão de cloretos através do método da célula de difusão, método este que avalia a difusão de cloretos de uma solução contaminada para uma solução pura através de um provete de betão ou argamassa, ao longo de 40 dias, o que se torna na principal desvantagem deste método.

Este ensaio pode ser aplicado a provetes moldados ou extraídos diretamente a partir das estruturas e só é válido para betões novos pois o processo de difusão em betões velho não permitiria saber em caso de obtenção de resultados, se os mesmos seriam devido ao estado químico do betão ou à permeabilidade do mesmo.

A difusão consiste num movimento dos iões sob a ação de um gradiente de concentração e neste método ocorre em regime estacionário.

3.3.2 Método de difusão natural por imersão

Para a realização deste ensaio foi adotada a especificação LNEC E 390-1993, que estabelece o método a seguir para se determinar o coeficiente de difusão de cloretos por imersão natural dos provetes numa solução salina, onde a penetração de cloretos ocorre por difusão em regime não estacionário e é determinada através da segunda lei de Fick.

Este ensaio pode ser aplicado a provetes de betão moldados ou extraídos de estruturas e consiste numa avaliação mais aproximada da ação as estruturas em contacto permanente/frequente com algum tipo de cloretos (ambiente marinho/piscinas).

A principal desvantagem deste ensaio, tal como no método da célula de difusão, é a duração prolongada do ensaio. Sendo que esta especificação LNEC já estabelece o método acelerado para este tipo de ensaio em que é necessário o cuidado para que os princípios da segunda lei de Fick não se tornem inválidos.

A vantagem deste método é que pode ser aplicado no local, bastando realizar-se a extração dos provetes por carotagem nos locais e profundidades pretendidas. O coeficiente de difusão determinado por este método é referente a todo o ciclo de exposição ambiental do betão

3.3.3 Método de migração por regime não estacionário

Para a realização desde ensaio foi publicada a especificação LNEC E 463-2004, que estabelece o método para determinar o coeficiente de difusão de cloretos através do ensaio de migração, especificação esta que se baseou na norma NT BUILD 492.

Este ensaio pode ser aplicado a provetes de betão moldados ou extraídos de estruturas e consiste na medição de uma penetração de uma solução clorídrica sob a ação de um campo elétrico.

A Migração consiste num movimento de iões sob a ação de um campo elétrico externo.

O ensaio de migração pode ser aplicado a betões novos ou extraídos de alguma obra já com alguns anos de vida e é um dos ensaios mais requisitados para a elaboração de um estudo de durabilidade do betão. Este método permite identificar a profundidade crítica de penetração de cloretos.

A desvantagem deste método é que por ser de curta duração os resultados podem ser questionáveis em termos de longo prazo, pelo que é um método que tem mais utilidade para uma rápida comparação e diferenciação sem grande precisão entre o comportamento de betões.

3.4 DESENVOLVIMENTO DO ENSAIO DE RESISTÊNCIA À PENETRAÇÃO DE CLORETOS EM ESTRUTURAS DE BETÃO PELO MÉTODO DE CÉLULA DE DIFUSÃO

Para o desenvolvimento do ensaio pretendido foram preparadas duas amostras diferentes de betão de forma a se poder obter resultados distintos no final dos ensaios. Procurou-se iniciar o mais rapidamente possível o ensaio de célula de difusão de cloretos devido ao facto de ter uma duração de 30 a 40 dias de análises e para que se fosse necessário realizar novos ensaios, estes mesmos pudessem ser feitos sem exceder o tempo do estágio.

Preparação das soluções

Antes de iniciar a preparação dos provetes procedeu-se à preparação das soluções a usar no ensaio, uma solução saturada de hidróxido cálcio puro e outra solução igual a esta mas contaminada com 3% de cloreto de sódio correspondente a 60 g. Inicialmente foi preparada cerca de 5 litros da solução base, sendo que cada célula tem uma quantidade correspondente a pouco mais que 2 litros, sobrando assim parte da solução para colocar as patelas em imersão.

A solução de hidróxido de cálcio obteve-se dissolvendo 10 g de hidróxido de cálcio puro (Figura 27-a) por cada 2 litros de água destilada, sendo que parte do hidróxido de cálcio não se dissolveu e ficou precipitada no fundo do recipiente. Após se verificar que a solução se encontrava saturada, ou seja, que o químico não se dissolveu mais, procedeu-se à filtragem da mesma para outro recipiente com recurso a um filtro de papel grosso e um funil (Figura 27-b). Já com as duas soluções de hidróxido de cálcio prontas pesou-se 60 g de cloreto de sódio (Figura 28) e adicionou-se a uma das soluções anteriores.



(a) - Pesagem do hidróxido de cálcio



(b) - Filtragem da solução saturada de hidróxido de cálcio

Figura 27 - Preparação da solução saturada de hidróxido de cálcio



Figura 28 - Pesagem de 60 g de Cloreto de Sódio

Preparação dos provetes

O primeiro provete ensaiado foi retirado a partir de um provete já ensaiado proveniente da obra da Caniçada na qual a Senqual realiza o controlo de qualidade (amostra mais resistente). O segundo provete foi obtida através de um provete ensaiado em laboratório que obteve valores elevados de penetração de água sob pressão (amostra menos resistente). Já depois da realização do ensaio nos dois provetes iniciais foi preparado mais um provete, sendo que neste caso a amostra seria de argamassa de areia grossa, prevendo-se ainda menor resistência à penetração que o provete 2. Nos últimos dias de estágio preparou-se outros dois provetes a partir de uma amostra de areia fina, não tendo sido possível efetuar-se o ensaio num deles devido à ocorrência de fendilhação no momento de montagem do ensaio

Os provetes 1 e 2 foram caroteados e os provetes 3, 4 e 5 foram moldados, ficando uma amostra cilíndrica com um diâmetro de 11cm e de seguida foram cortados (Figura 29-a), recorrendo à máquina de corte com disco de ponta adiamantado, tendo-se obtido uma secção com 2,5 cm de espessura a partir do centro do cilindro (Figura 29-b).



(b) - Provete pronto a ser cortado



(a) - Patelas cortados com 2,5 cm

Figura 29 – Preparação das patelas

Após uma análise do estado das faces da secção (as mesmas devem ser o mais planas possíveis para que a secção esteja bem vedada durante a realização do ensaio), procedeu-se à pintura da face lateral com uma tinta epoxídica de dois componentes para que todos os poros ficassem vedados e não ocorressem perdas (Figura 30). Depois de ter ficado um dia a secar, os provetes foram colocados a saturar na mesma solução de hidróxido de cálcio a usar no ensaio até adquirir massa constante, sendo necessário cerca de 24 horas.

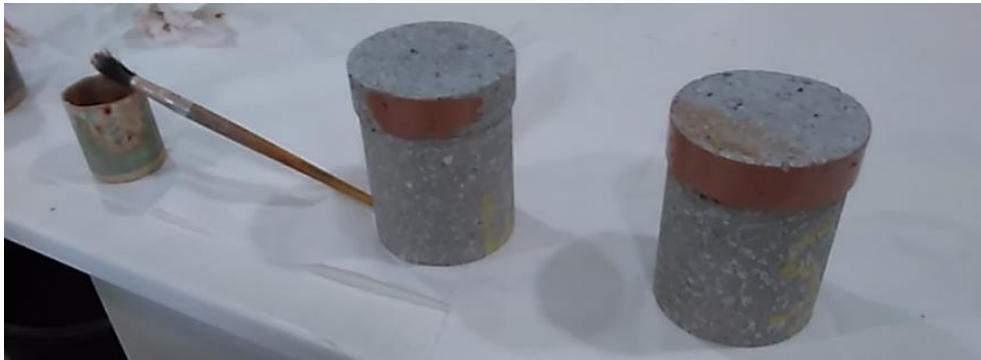


Figura 30 - Pintura das primeiras duas patelas

Montagem do ensaio

Já com as patelas prontas e as soluções separadas e preparadas procedeu-se à montagem das células de difusão, cada uma identificada com a solução que seria introduzida, tendo especial cuidado no aperto dos parafusos para que a borracha vedante não saia da posição ideal (Figura 31). Com os parafusos bem apertados e o provete vedado, procedeu-se à colocação da solução de hidróxido de cálcio puro num dos recipientes, e de hidróxido de cálcio mais 3% de cloreto de sódio no outro recipiente (Figura 32).

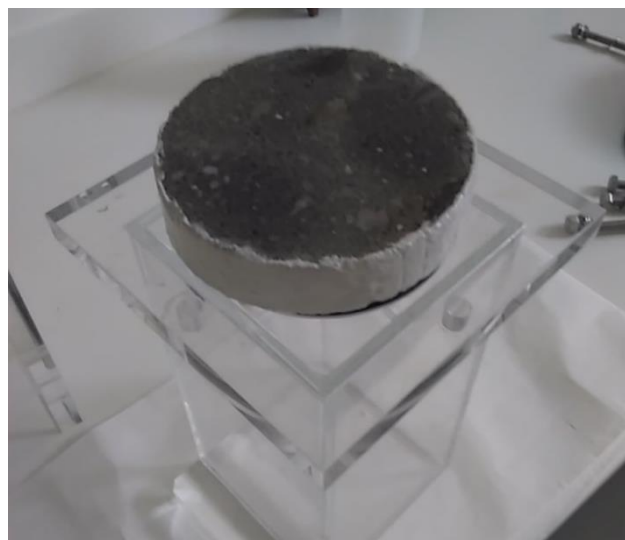


Figura 31 - Colocação da patela por cima da borracha vedante

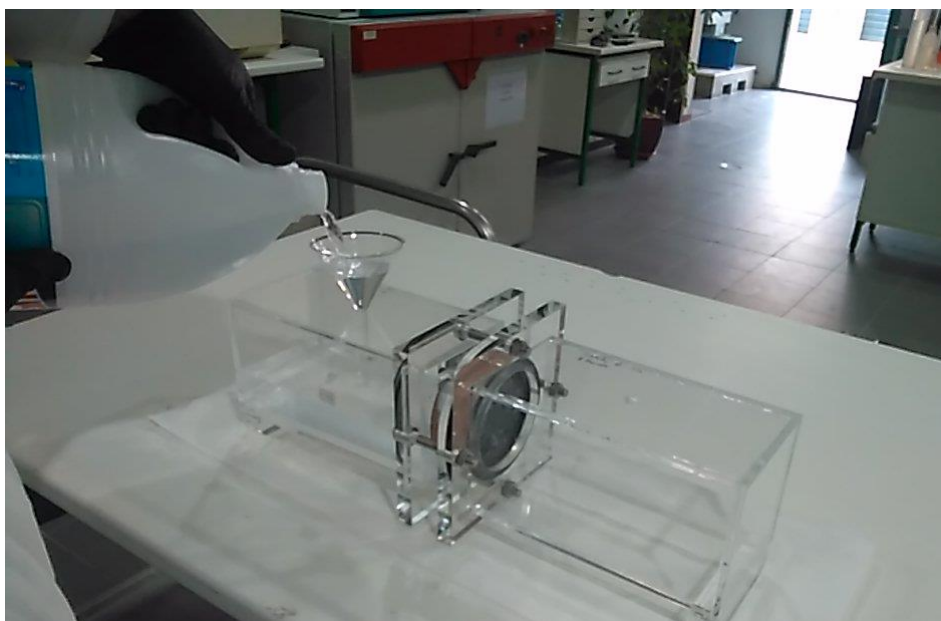


Figura 32 - Colocação das soluções nas respectivas células

Após montado, o sistema das células de difusão foi colocado em banho-maria pois a especificação LNEC E 383 indicava que o ensaio tinha que decorrer a uma temperatura de 25°C. Foi utilizado um equipamento de banho-maria com bastante espaço interior (Figura 33), que permitiu a colocação de até três ensaios ao mesmo tempo.



Figura 33 - Decorrer do ensaio em banho-maria a 25°C

Com o ensaio já a decorrer procedeu-se às separações de 1 cm³ de solução, identificação da mesma e determinação das concentrações de cloretos. Durante os primeiros 5 dias foram efetuadas medições dos níveis de cloretos e nas semanas seguintes foram efetuadas duas medições por semana.

Método de identificação da concentração de cloretos

Para medição do nível de cloretos a norma não especificava nenhum método, pelo que inicialmente foi testado um método de determinação de presença de cloretos (Figura 34), que consistiu na análise das amostras de Hidróxido de Cálcio puro e de Hidróxido de Cálcio com 3% de Cloreto de Sódio em que se sabia as concentrações de cloretos (no caso da primeira solução seria nula e da segunda seria 3%) usando o mesmo método de determinação de cloretos em adjuvantes, consistindo na análise do Ph que uma solução e da evolução do mesmo consoante vai sendo adicionado um reagente. Após a análise dos resultados deste teste representados na tabela 1 e 2, verificou-se que o mesmo não seria viável, não se conseguiu obter diferenças significativas entre as duas soluções, sendo que consoante o ensaio fosse decorrendo, as duas soluções tenderiam a se aproximar no que respeita às concentrações de cloretos, tornando a identificação das concentrações de cloretos ainda menos distintas que as iniciais.



Figura 34 - Primeiro equipamento usado para medições de cloretos

Tabela 1 - Resultados da medição de pH no Hidróxido de cálcio

Hidróxido de cálcio									
Massa AgNO ₃ (g)					10,07				
V AgNO ₃	Ph	V AgNO ₃	Ph	VAgNO ₃	Ph	V AgNO ₃	Ph	V AgNO ₃	Ph
1,20	1,879	3,50	1,927	6,68	1,986	10,91	2,028	15,50	2,061
1,40	1,889	3,71	1,928	7,06	1,992	11,20	2,031	15,95	2,063
1,55	1,902	4,00	1,926	7,41	1,996	11,42	2,036	16,50	2,066
1,70	1,907	4,30	1,924	7,80	1,999	11,85	2,038	17,00	2,066
1,90	1,908	4,55	1,923	8,20	1,999	12,29	2,042	17,50	2,068
2,10	1,907	4,86	1,927	8,70	2,000	12,70	2,044	18,10	2,070
2,30	1,900	5,15	1,950	9,16	2,003	13,12	2,047	18,60	2,072
2,50	1,897	5,41	1,958	9,36	2,007	13,65	2,051	19,13	2,074
2,72	1,904	5,71	1,965	9,83	2,012	14,20	2,053	19,60	2,075
3,00	1,912	6,03	1,972	10,40	2,017	14,71	2,056	20,10	2,075
3,25	1,917	6,37	1,979	10,63	2,023	15,16	2,059		

Tabela 2 - Resultados da medição de pH no Hidróxido de cálcio + 3 % de NaCl

Hidróxido de cálcio + 3 % de NaCl									
Massa (g)					10,13				
V AgNO ₃	Ph	V AgNO ₃	Ph	VAgNO ₃	Ph	V AgNO ₃	Ph	VAgNO ₃	Ph
0,50	1,933	2,80	1,941	6,02	1,950	10,48	1,961	15,53	1,973
0,70	1,934	3,00	1,942	6,42	1,951	10,92	1,963	16,19	1,974
0,85	1,935	3,23	1,943	6,78	1,952	11,31	1,963	16,70	1,975
1,00	1,935	3,48	1,944	7,11	1,953	11,83	1,965	17,20	1,976
1,20	1,936	3,78	1,945	7,50	1,954	12,15	1,966	17,70	1,978
1,38	1,937	4,02	1,945	8,00	1,955	12,66	1,967	18,23	1,979
1,60	1,938	4,30	1,946	8,40	1,956	13,00	1,967	18,65	1,979
1,85	1,939	4,60	1,947	8,72	1,957	13,45	1,968	19,20	1,980
2,10	1,938	4,85	1,946	9,30	1,958	14,03	1,970	19,75	1,981
2,33	1,939	5,30	1,948	9,49	1,959	14,58	1,971		
2,58	1,940	5,65	1,949	9,87	1,960	15,10	1,972		

Como o equipamento de detecção de cloretos não era viável para o efeito pretendido, foi testado um novo equipamento que o laboratório possuía, o Rapid Clorid Test (Figura 36), que consistia num ensaio de determinação de percentagem de cloretos presentes numa solução de 1,5 g diluída numa solução base para medição, sendo essa medição obtida através de potenciometria. Este equipamento exigia que se fizesse a sua calibração antes de cada medição. Essa calibração era efetuada realizando o ensaio de quatro

soluções-padrão com concentração de cloretos conhecidas (0,005%, 0,02%, 0,05% e 0,5%). Ao determinar-se as medições dessas concentrações (Tabela 3) representa-se graficamente a curva de calibração como demonstra na Figura 35, em que no eixo horizontal estão as medições efetuadas pelo equipamento e no eixo vertical estão as concentrações de cloretos correspondentes às medições.

Tabela 3 - Calibração do RCT

% Cl		0,005	0,02	0,05	0,5
mV	10/05/2016	89	69	49	-7
	15/06/2016	89	68	48	-8
	20/07/2016	88	68	47	-8

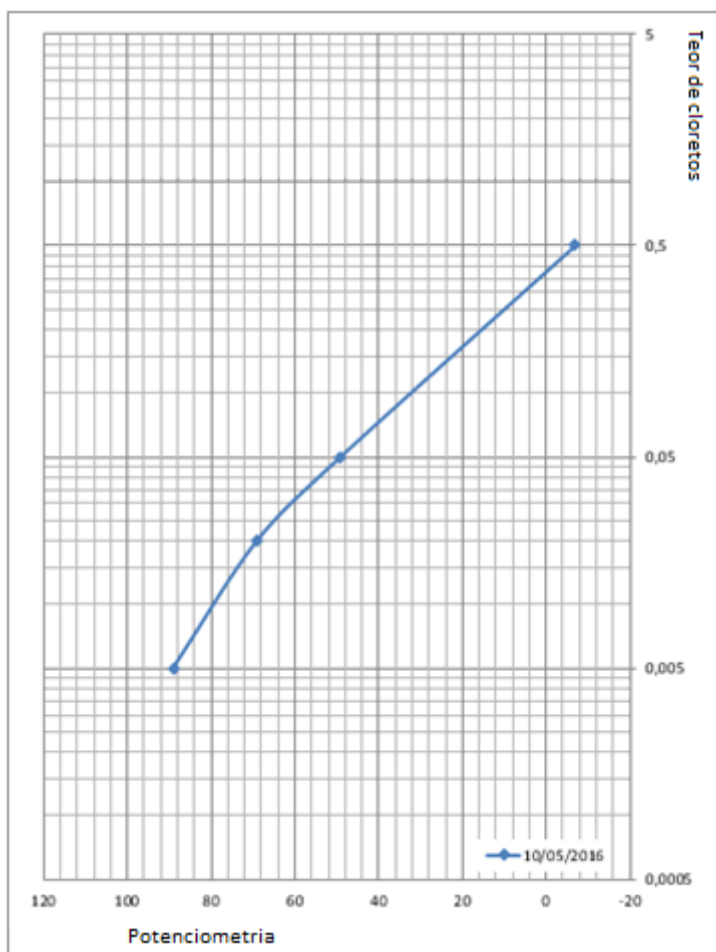


Figura 35 - Curvas de calibração - RCT - % Cl-

Para validar este segundo equipamento foram testadas as soluções iniciais, sendo que foi necessário efetuar uma diluição da quantidade de amostra da solução que continha uma concentração de 3% devido ao facto de a curva de calibração estar apenas traçada para concentrações entre os 0,005% e os 0,5%. Assim optou-se por diluir 0,2 g (que corresponderia à capacidade máxima de medição de 0,5%), em vez do que inicialmente se diluiria e a partir dos resultados obtidos equipararem-se os mesmos a essa quantidade.



Figura 36 – Equipamento usado para medições de cloretos por potenciometria

Após se ter verificado que o equipamento de potenciometria identificava a concentração de 3% com eficiência, assim como demonstra os resultados das medições na tabela 4 e nos cálculos na expressão 1, foi aplicado este método para análise no decorrer do ensaio.

Tabela 4 - Medição da concentração de 3% de Cloretos

Solução 0,2 g	
Medições	6,80
	6,00
	5,40
Média	6,07
% Cloretos	0,395%

$$\% Cl (1,5 g) = \frac{1,5 * 0,395}{0,2} = 2,9625 \% \quad (1)$$

Nas medições efetuadas ao longo do ensaio, o teor de cloretos era obtido através da interceção dos valores medidos no RCT, eixo horizontal, com a curva de calibração, obtendo-se as concentrações correspondentes no eixo vertical, como demonstra no exemplo da figura 37, em que para um valor medido de 44, obteve-se através da curva de calibração a concentração de aproximadamente 0,053 % de cloretos.

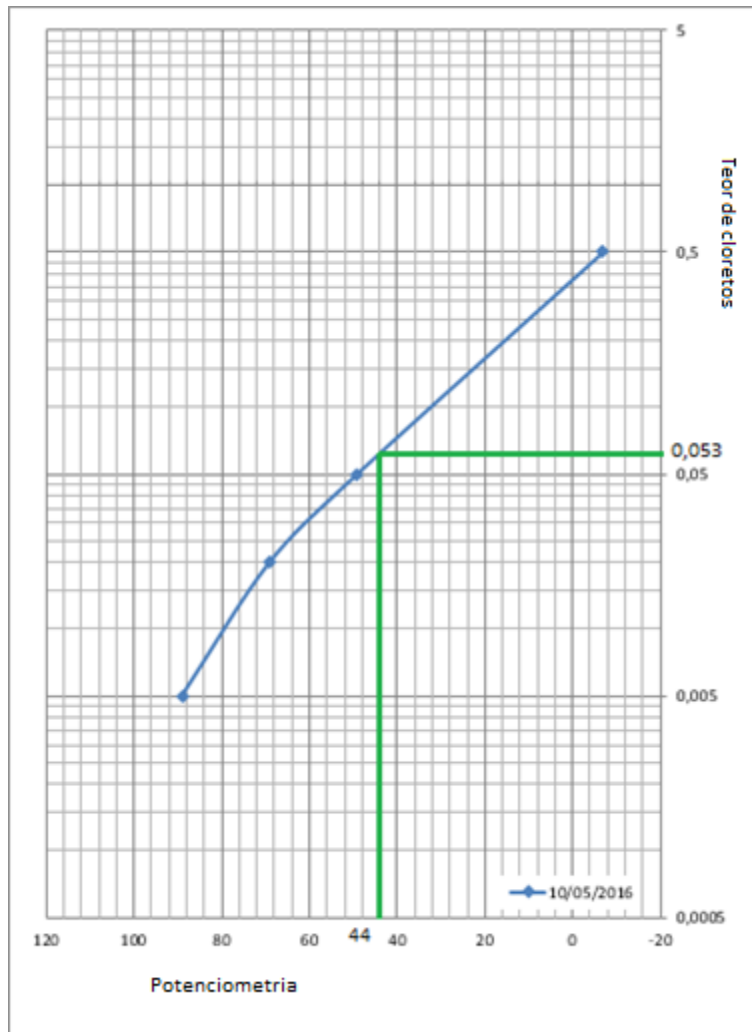


Figura 37 - Exemplo de medição de cloretos em função da medição potenciométrica do RCT

3.5 RESULTADOS

Durante a realização do ensaio para os dois provetes iniciais foi sendo verificado que não ocorria penetração de cloretos, ou seja, a célula que inicialmente estava pura nunca passou de uma percentagem de cloretos inferior a 0,005%, limite de detecção do equipamento utilizado, o que não permitiu retirar resultados conclusivos acerca do ensaio. No terceiro provete ensaiado manteve-se a mesma situação dos outros dois provetes.

As medições efetuadas ao longo da realização do ensaio nos vários provetes encontram-se presentes nas tabelas seguintes:

Tabela 5 - Medições de cloretos do 1º Proвете

Semana	1					2		
Dia	1	2	3	4	5	9	12	
Potenciometria	-	162	169	159	155	154	157	
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	
Semana	3		4		5		6	
Dia	16	19	23	26	30	33	37	40
Potenciometria	163	160	159	157	160	158	-	-
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	-	-

Tabela 6 - Medições de cloretos do 2º Proвете

Semana	1					2		
Dia	1	2	3	4	5	9	12	
Potenciometria	-	162	169	159	155	154	157	
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	
Semana	3		4		5		6	
Dia	16	19	23	26	30	33	37	40
Potenciometria	163	160	159	157	160	158	-	-
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	-	-

Tabela 7 - Medições de cloretos do 3º Provede

Semana	Semana 1					Semana 2		
Dia	1	2	3	4	5	9	12	
Potenciometria	-	169	166	165	161	163	160	
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	
Semana	Semana 3		Semana 4		Semana 5		Semana 6	
Dia	16	19	23	26	30	33	37	40
Potenciometria	172	145	150	151	146	150	-	-
Medição Cl	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	<0,005%	-	-

Para o cálculo do coeficiente de difusão (D) (expressão 2), é necessário determinar o volume das soluções contidas em cada célula (V), em l, a espessura do disco de betão (l), em cm, a área da superfície exposta (S), em cm², o teor de cloretos no compartimento A e no compartimento B (C_A e C_B) em % e o tempo de exposição (t), em s.

$$D = \frac{V + l}{C_A + S} * \frac{\Delta C_B}{\Delta T} \quad (2)$$

Foi iniciado um outro ensaio já no final do estágio onde mais uma vez não foi possível detetar o acréscimo da concentração de cloretos ao longo da primeira semana e como tal, foi admitido as medições de cloretos ao longo do tempo com ocorrência de penetração de cloretos para se ter um modelo do procedimento de cálculo do respetivo ensaio e da determinação do coeficiente de difusão de cloretos.

Sendo os valores fictícios medidos apresentados seguidamente na tabela 5, a representação gráfica e respetiva curva de regressão linear apresentada na Figura 38 e o cálculo do coeficiente de difusão dado pela expressão 3.

Tabela 8 - Medições fictícias de cloretos do 4º Provede

Semana	Semana 1					Semana 2		
Dia	1	2	3	4	5	9	12	
Potenciometria	-	89,43	85,80	65,33	50,77	48,30	47,07	
Medição Cl	0,00%	0,01%	0,01%	0,03%	0,06%	0,08%	0,09%	
Semana	Semana 3		Semana 4		Semana 5		Semana 6	
Dia	16	19	23	26	30	33	37	40
Potenciometria	44,60	40,90	35,97	31,03	22,40	15,00	7,60	-3,50
Medição Cl	0,11%	0,14%	0,18%	0,22%	0,29%	0,35%	0,41%	0,50%

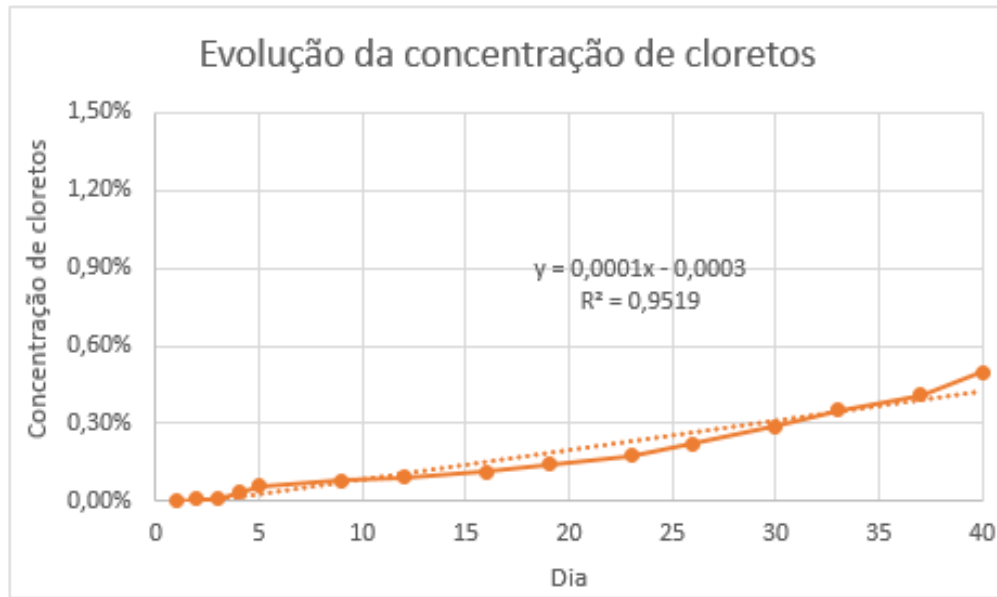


Figura 38 - Curva de regressão linear

$$V = 2 \text{ l}$$

$$l = 2,5 \text{ cm}$$

$$S \text{ (raio de 4 cm)} = \pi * 4^2 = 50,27 \text{ cm}^2$$

$$C_A = 3 \%$$

$$\Delta C_B / \Delta T \text{ (coeficiente angular da reta de regressão linear)} = 0,01 \%$$

$$D = \frac{2 * 2,5}{0,03 * 50,27} * \frac{0,01}{100} = 0,00332 \text{ m}^2/\text{s} \quad (3)$$

Após a análise dos resultados e devido à não ocorrência de penetração de cloretos nos três provetes ensaiados, verificou-se que é esse o melhor resultado que se pode obter neste ensaio, ou seja, que o provete de betão não permita que ocorram qualquer tipo de contaminações por cloretos na célula que conte a solução pura. Quando se verificarem a penetração de cloretos, os provetes que apresentem maiores valores para o coeficiente de difusão são os que apresentam menor resistência e dependendo das situações de origem desses provetes (obras de reabilitação, conservação ou manutenção) poderá ser necessário efetuar alterações ao nível do betão.

3.6 MANUAL DE PROCEDIMENTOS

3.6.1 Preparação do provete

Os provetes caroteados ou moldados terão que ter uma forma cilíndrica, com um diâmetro de aproximadamente 10 cm, e com uma altura significativa que torne possível o corte do mesmo de forma a se obter uma patela de espessura correspondente ao material, 3 mm para pastas, 10 mm para argamassas e 25 mm para betões, sendo essa patela obtida a partir da parte central do cilindro como demonstra o esquema da Figura 39.

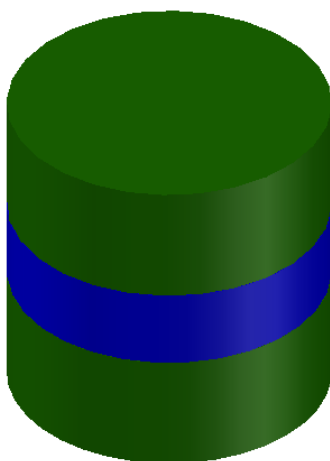


Figura 39 - Esquema de corte de disco para ensaio

Após o corte da patela com a respetiva espessura, a mesma é lavada e seca em estufa e de seguida procede-se à impermeabilização da superfície cilíndrica, de forma a não ocorrer perdas por esta mesma superfície durante o ensaio, com a aplicação de tinta epoxídica de duas componentes e deixa-se a repousar durante 24 horas.

Passadas essas 24 horas, coloca-se a patela em emersão numa solução saturada de hidróxido de cálcio até a mesma ficar saturada e não apresentar variações de massa, aproximadamente 24 horas mas dependendo do tipo de material poderá ser necessário mais tempo.

3.6.2 Preparação dos reagentes

Neste ensaio são usados dois reagentes, uma solução saturada de hidróxido cálcio puro e outra solução igual a esta mas contaminada com 3% de cloreto de sódio correspondente a 60g.

Inicialmente é necessário preparar-se cerca de 5 litros da solução base, pois cada célula tem uma quantidade correspondente a pouco mais que 2 litros, sobrando assim parte da solução para colocar os discos em emersão.

A solução de hidróxido de cálcio obtém-se dissolvendo 10g de hidróxido de cálcio puro por cada 2 litros de água destilada, sendo que parte do hidróxido de cálcio não se vai dissolver e vai precipitar no fundo do recipiente. Após se verificar que a solução se encontra saturada, ou seja, que o químico não se dissolve mais, procede à filtragem da mesma para outro recipiente com recurso a um filtro de papel grosso e um funil.

É aconselhável o uso de recipientes dispensáveis pois a lavagem dos mesmos após a preparação das soluções é bastante complicada devido aos resíduos de hidróxido de cálcio.

3.6.3 Procedimento

Já com a patela saturada e com as soluções prontas, procede-se à montagem das células de difusão, fixando-se cuidadosamente as patelas para que o sistema fique estanque. Identifica-se a célula A, onde será colocada a solução pura e onde serão retiradas as várias amostras para medição dos cloretos ao longo do ensaio, e a célula B onde será colocada a solução com 3% de cloreto de sódio.

Depois de introduzidas as soluções nas respetivas células coloca-se o sistema em banho-maria à temperatura de 25°C +/- 1°C até ao final do ensaio.

3.6.4 Medição da concentração de Cloretos

Para avaliar a evolução da concentração de cloretos no compartimento A ao longo dos 40 dias utiliza-se um equipamento de medição potenciométrica, que a partir de concentrações já conhecidas (0,005%, 0,002%, 0,05% e 0,5%) (figura 40) se obtém a concentração de cloretos correspondente ao valor medido e se representa graficamente a curva de calibração (apresentada no final do manual), onde no decorrer das medições se obterá os valores de concentração de cloretos correspondentes aos valores potenciométricos medidos.



Figura 40 - Calibração do potenciómetro

Cada amostra a medir, deve conter 10 g de uma solução característica do equipamento RCT mais 1,5g da solução retirada para análise. São efetuadas 3 medições, cada uma ao longo de cerca de 1 minuto e no fim é efetuado a média desses valores. Quanto menor for a concentração de cloretos, mais tempo as medições tendem a demorar para estabilizar um valor no RCT.

No decorrer do ensaio são efetuadas medições diárias na primeira semana e duas medições por semana nas semanas seguintes, sendo que sempre que possível, deve-se efetuar cada medições à mesma hora. O boletim de ensaio onde se registaram os resultados é apresentado no final do manual de procedimentos.

3.6.5 Resultados

A partir dos resultados das medições realizadas e da análise da reta de regressão linear é calculado o coeficiente de difusão a partir da seguinte equação:

$$D = \frac{V + I}{C_A + S} * \frac{\Delta C_B}{\Delta T}$$

Onde:

V = volume de solução inicialmente contaminada com cloretos

I = espessura da patela (em função do tipo de material)

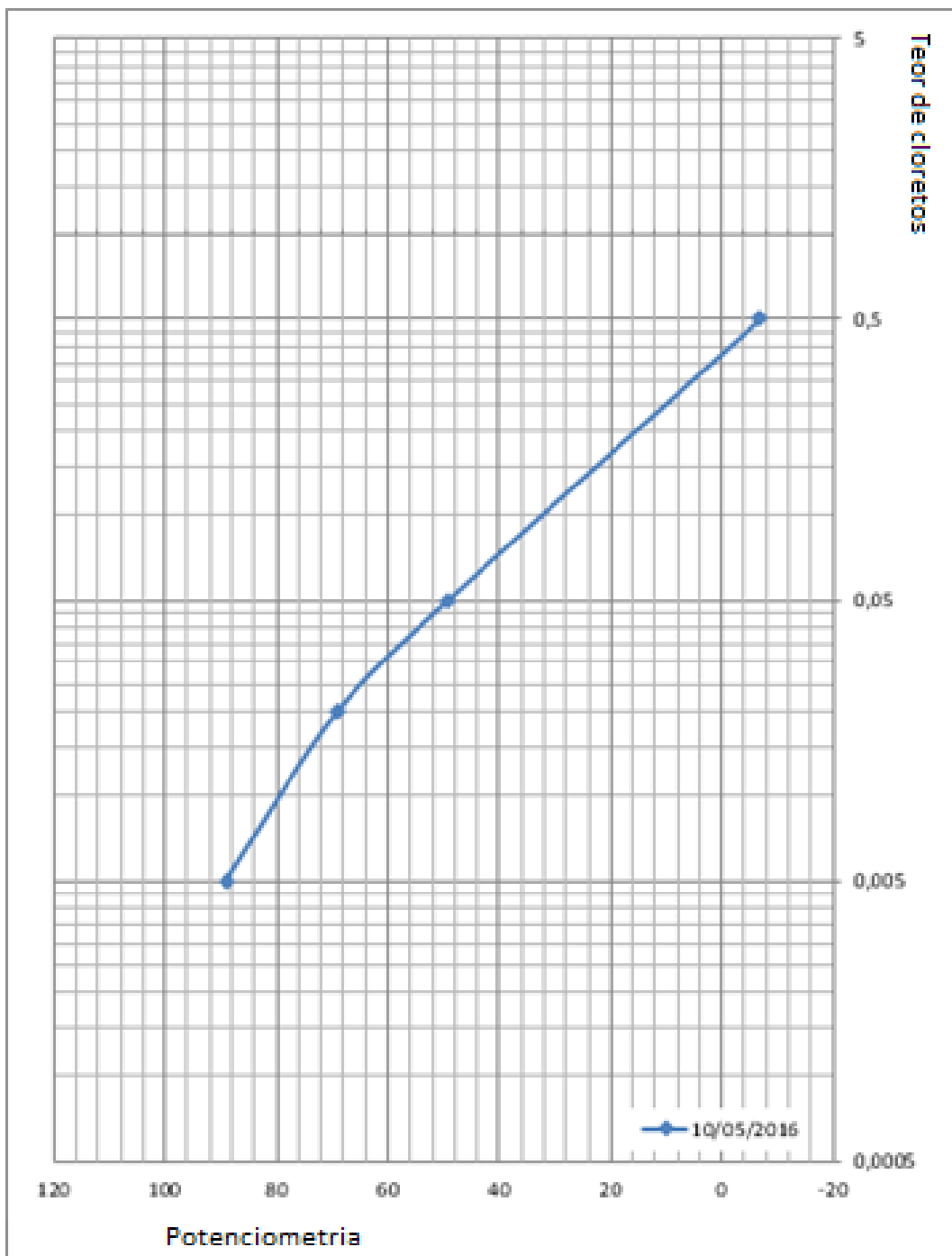
S = área da patela em contacto com a solução contaminada

C_A = concentração inicial de cloretos na solução contaminada

$\Delta C_B / \Delta T$ = coeficiente angular da reta de regressão linear ou inclinação da reta

3.6.6 Curvas de calibração - RCT - % Cl-

% Cl		0,005	0,02	0,05	0,5
mV	10/05/2016	89	69	49	-7



Observações:

Realizado:		Verificado:		Responsável:		CF/NCF:	
------------	--	-------------	--	--------------	--	---------	--

3.6.7 Boletim de ensaio



Rua 19 n.º 288, 4500-255 Espinho
 Tel. 227346825 Fax 227319116
 E-mail: geral@senqual.pt

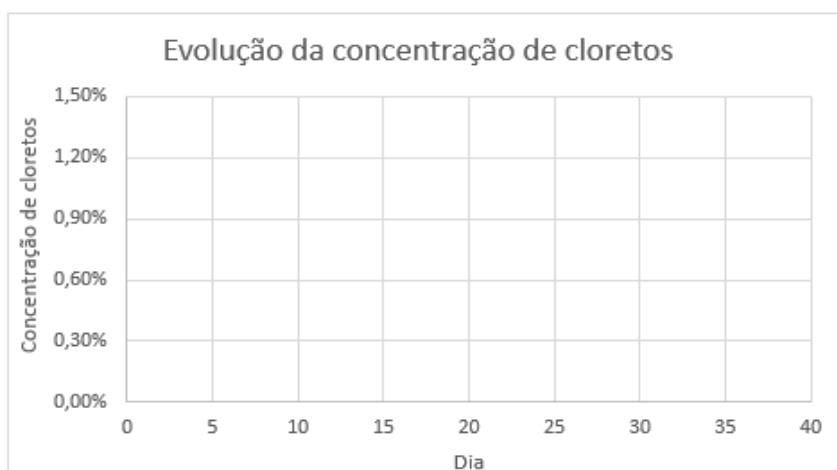
Requerente:	Obra: Ref.ª da amostra: Recolha: Data de recolha: Data de recepção:
-------------	---

Betão Determinação da resistência à penetração de cloretos: Método da célula de difusão Norma: Especificação LNEC 363-1993	Boletim n.º: Data: Pág. 1/1
---	---------------------------------------

Massa do provete	
Diametro do provete	
Espessura do provete	

Temperatura de ensaio	
Teor de cloretos inicial	
Medição por Potenciometria	

Semana	Semana 1					Semana 2		Semana 3		Semana 4	
Dia	1	2	3	4	5	9	12	16	19	23	26
Medição RCT											
% Cloretos											
Semana	Semana 5		Semana 6								
Dia	30	33	37	40							
Medição RCT											
% Cloretos											



Coeficiente de difusão (Inclinação da reta)	
--	--

Observações:

Data de ensaio:	Ensaiou:	Responsável Técnico:
Inicial:		
Final:		(Alves Ribeiro, Eng.)

Mod E000.0

O presente relatório diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra salvo autorização expressa da Senqual.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este relatório foi fruto de um estágio no laboratório da Senqual, com a duração de seis meses, em que o aluno foi inserido na vertente profissional. Esta integração profissional permitiu a colaboração na realização de vários ensaios, tendo os principais sido expostos neste relatório. Alguns dos ensaios foram realizados em provetes provenientes de obras de grande importância, que também acrescentou uma maior motivação no trabalho e na aprendizagem. Dentro desses ensaios destacam-se:

- Los Angeles.
- Micro-deval.
- Análise granulométrica.
- Massa volúmica e absorção de água.
- Índice volumétrico.
- Índice de forma.
- Índice de achatamento.
- Módulo de elasticidade.
- Absorção de água por capilaridade.
- Penetração de água sob pressão.
- Determinação da dosagem de fibras.
- Absorção de energia em placas de betão projetado.
- Resistência à tração por compressão diametral.

Foi também estudado e realizado um ensaio de determinação da resistência à penetração de cloretos, através do método da célula de difusão, estabelecido na especificação LNEC E 383.

A dificuldade encontrada na planificação do ensaio deveu-se ao problema de como se iria efetuar as medições dos cloretos, pois nem o equipamento do ensaio nem a norma indicava um método específico. O primeiro teste de medição do teor de cloretos efetuado com um equipamento de medição de pH, que se encontrava em utilização para outros ensaios, não correu como o esperado. Em alternativa, surgiu a ideia de utilizar um equipamento de potenciometria, tendo-se verificado os valores teóricos que se testaram. A realização do ensaio nos dois primeiros provetes, em que não se obteve resultados de

penetração de cloretos, originou a dúvida se os procedimentos do método estariam a ser realizados corretamente, situação que se manteve após ter sido testado um novo provete diferente.

4.1 CONCLUSÕES

Do estudo dos ensaios realizados sobre o método da célula de difusão para o ensaio de análise do grau de resistência à penetração de cloretos numa estrutura de betão, foi possível concluir que:

- O objetivo principal proposto foi conseguido. O estudo e a realização do ensaio permitiu a análise e validação do mesmo de modo a poder ser realizado no futuro. Como tal o manual de procedimentos e o boletim de ensaio desenvolvido para a elaboração do ensaio ficou à disposição da empresa para utilização.
- Após três ensaios em provetes distintos em que se obteve resultados nulos de difusão de cloretos através do betão, levantaram-se algumas questões, quer sobre a forma como o ensaio estava a ser realizado, quer sobre a própria eficácia do método. Depois de revisto todo o procedimento de ensaio e validada a forma como este estava a decorrer, fica a questão sobre a eficácia do método, constituindo esta discussão um desenvolvimento futuro para análise da empresa.

4.2 DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Para desenvolvimentos futuros, seria interessante uma melhor análise deste ensaio em comparação com os outros três métodos, com especificações LNEC para a determinação da resistência à penetração de cloretos, realizando-se esses mesmos ensaios com vários provetes das mesmas origens para se perceber as diferenças de resultados que se obtêm em cada método, bem como a viabilidade de cada um.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DIRCEU, João – História do Concreto, [Consult. 10/06/2016], disponível em: WWW:URL: <http://www.ebah.pt/content/ABAAAAH4sAE/historia-concreto#>

APPLETON, Júlio – Estruturas de betão. 1º Vol. Amadora: Edições Orien, 2013. ISBN: 978-972-8620-21-9

HANAI, João Bento - Argamassa Armada. 2º Vol. Projeto Estrutural e Dimensionamento com Telas Soldadas. São Paulo: IBTS

MOURACHEV; SIGALOV; BAIKOV – Construções de Betão armado. Tradução Santos Leite. Porto: Edições Lopes da Silva, 1980.

FIGUEIRAS, Joaquim; BASTOS, Ana Maria – Betão estrutural, Encontro Nacional. Porto: FEUP, 1994

MENDONÇA, Luís - Revista “Arte e Cimento”, nº 37. Outubro 2005, pp. 70-73

TORRES, Ariela - Corrosão por Cloretos em Estruturas de Concreto Armado: Uma meta-análise. Porto Alegre, 2011. Tese de doutoramento

CRAUS, Camila – Penetração de cloretos: em concretos com diferentes tipos de cimento submetidos a tratamento superficial. Brasil, Santa Maria 2010. Tese de mestrado.

MISSAU, Fabiano – Penetração de cloretos: em concretos contendo diferentes teores de cinza de casca de arroz. Brasil, Santa Maria 2004. Tese de mestrado.

ROMANO, Fátima Sequeira – Estudo do ingresso de cloretos em concretos localizados no litoral norte do Rio Grande do Sul. Brasil, Porto Alegre 2009. Tese de mestrado.

CORTÊS, João Filipe Martins - Resistência à penetração de cloretos de betões estruturais de agregados leves. Portugal, Lisboa 2014. Tese de mestrado.

K.D. Stanish, R.D. Hooton and M.D.A. Thomas - Testing the Chloride Penetration Resistance of Concrete: A Literature Review. Canada, Toronto. FHWA Contract DTFH61-97-R-0002

Revista a voz de Trás-os-Montes, Maio 2016. pp. 53 Disponível em: WWW:URL: https://issuu.com/avozdetras-os-montes/docs/tunel_do_mar__o_final1

SENQUAL – Apresentação [Consult. 5 Junho.2016]. Disponível em: WWW:URL: <http://senqual.pt/pt/empresa/>

SENQUAL – Arquivo - Túnel de Águas Santas [Consult. 21 Julho.2016]. Disponível em: WWW:URL: <http://senqual.pt/pt/portefolio>

COUTINHO, Joana Sousa – Melhoria da durabilidade de betões por tratamento da Cofragem. Porto: FEUP, 2005

FERREIRA, Rui Miguel – Avaliação de ensaios de durabilidade do betão. Portugal, Guimarães 2000. Tese de mestrado.

Especificação LNEC E – 464. 2005. Betões: Metodologia prescritiva para a vida útil de projecto de 50 anos face às acções ambientais.

NP EN 1097-2. 2002. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 2: Métodos para determinação da resistência à fragmentação – Los Angeles

NP EN 1097-1. 2002. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 1: Determinação da resistência ao desgaste micro-Deval,

NP EN 933-1. 2012. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 1: Análise granulométrica. Método de peneiração.

NP EN 1097-6. 2013. Ensaios das propriedades mecânicas e físicas dos agregados. Parte 6: Determinação da massa volúmica e da absorção de água.

Especificação LNEC E 223. 1968. Agregados: Determinação do índice volumétrico.

NP EN 933-4. 2012. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 4: Determinação da forma das partículas. Índice de forma.

NP EN 933-3. 2012. Ensaios das propriedades geométricas dos agregados. Parte 3: Determinação da forma das partículas. Índice de achatamento.

DIN 1048-5. 1991. Testing concrete; Testing of hardened concret. Part 5 - elastic modulus.

Especificação LNEC E 393. 1993. Betões: Determinação da absorção de água por capilaridade.

NP EN 12390-8. 2003. Ensaios de betão endurecido. Parte 8: Determinação da profundidade de penetração de água sob pressão.

NP EN 14488-7. 2008. Ensaios de betão projetado. Parte 7: Avaliação da dosagem de fibras.

NP EN 14488-5. 2008. Ensaios de betão projetado. Parte 5: Determinação da capacidade de absorção de energia de provetes de lajes reforçadas com fibras.

EN NP 12390-6. 2003. Ensaios de betão endurecido. Parte 6: Determinação da resistência à tracção por compressão.

Especificação LNEC E 383. 1993. Determinação da resistência à penetração de cloreto. Método da célula de difusão.

Especificação LNEC E 463. 2004. Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário.

Especificação LNEC E 390. 1993. Determinação da resistência à penetração de cloretos. Ensaio de imersão.

ANEXO I – LISTA DE ENSAIOS QUE A SENQUAL EFETUA

Lista de ensaios

Agregados e Inertes

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	LNEC E 233
Ensaio de desgaste pela máquina de Los Angeles	LNEC E 237
Determinação do índice de lamelação	B.S. 812 Part 105.1
Determinação do índice de alongamento	B.S. 812 Part 105.2
Análise granulométrica de fíler	LNEC E 234
Determinação do índice volumétrico	LNEC E 223
Determinação da quantidade de material que passa no peneiro de 0,074 mm	LNEC E 235
Determinação do teor em partículas moles	LNEC E 222
Determinação da baridade	NP 955
Métodos de amostragem	NP EN 932-1
Determinação das massas volúmicas e da absorção de águas de britas e godos	NP 581
Análise granulométrica - Método de peneiração	EN 933-1
Determinação das massas volúmicas e da absorção de água de areias	NP 954
Determinação da forma das partículas Índice de achatamento	EN 933-3
Determinação da forma das partículas - Índice de forma	EN 933-4
Determinação da percentagem de superfícies esmagadas e partidas nos agregados grossos	NP EN 933-5
Determinação do teor de conchas - Percentagem de conchas nos agregados grossos	NP EN 933-7
Determinação do teor de finos - Ensaio do equivalente de areia	EN 933-8
Análise dos finos - Ensaio do azul metileno	EN 933-9 AFNOR P 18-592
Determinação da baridade e do volume de vazios	NP EN 1097-3
Determinação do teor de água por secagem em estufa ventilada	NP EN 1097-5
Determinação da massa volúmica e da absorção de água	NP EN 1097-6
Determinação da massa volúmica do fíler - Método do picnómetro	NP EN 1097-7
Coefficiente de forma	AFNOR P18-622-4
Reactividade dos álcalis dos agregados	ASTM C1260
Determinação da resistência ao desgaste (Micro-Deval)	NP EN 1097-1
Determinação dos teores em água total e em água superficial	NP 956
Determinação do teor em água superficial de areias	NP 957

Lista de ensaios

Determinação da resistência ao esmagamento	NP 1039
Determinação do teor em partículas muito finas e matérias solúveis	NP 86
Pesquisa da matéria orgânica pelo processo do ácido tânico	NP 85
Determinação do teor de partículas friáveis	NP 1380
Determinação do teor em partículas leves	NP 953
Determinação da reactividade com sulfatos em presença de hidróxido de cálcio	LNEC E 251
Determinação da resistência à fragmentação (Los Angeles)	NP EN 1097-2
Determinação da baridade seca máxima - Ensaio de compactação Proctor	EN 13286-2
Correcção do ensaio de compactação	PIE.002.1
Controlo de compactação com gamadensímetro	ASTM D 6938
Classificação dos componentes dos agregados grossos reciclados	NP EN 933-11
Determinação de sais de cloreto solúveis em água utilizando o método de Volhard	EN 1744-1:Parte 7
Determinação potenciométrica de sais de cloreto solúveis em água (método alternativo)	EN 1744-1:Parte 8
Determinação de sais de cloreto solúveis em água por aplicação do método de Mohr (método alternativo)	EN 1744-1:Parte 9
Determinação dos sulfatos solúveis em água	EN 1744-1:Parte 10
Determinação do teor total de enxofre	EN 1744-1:Parte 11
Determinação de sulfatos solúveis em ácido	EN 1744-1:Parte 12
Determinação dos sulfuretos solúveis em ácido	EN 1744-1:Parte 13
Análise relativa à presença de partículas de sulfureto de ferro reativas	EN 1744-1:Parte 14.1
Determinação dos contaminadores leves	EN 1744-1:Parte 14.2
Determinação do teor em húmus	EN 1744-1:Parte 15.1
Determinação do teor de ácido fulvo	EN 1744-1:Parte 15.2
Determinação da solubilidade na água	EN 1744-1:Parte 16
Determinação da perda por ignição	EN 1744-1:Parte 17
Determinação de cal livre por complexometria (método de referência)	EN 1744-1:Parte 18.2
Determinação de cal livre por condutometria (método alternativo)	EN 1744-1:Parte 18.3
Determinação de cal livre por acidimetria (método alternativo)	EN 1744-1:Parte 18.4
Determinação da desintegração do silicato dicálcico de escórias de alto forno arrefecido ao ar	EN 1744-1:Parte 19.1

Lista de ensaios

Determinação da desintegração do ferro de escórias de alto forno arrefecidas ao ar	EN 1744-1:Parte 19.2
Determinação da expansão da escória de aço	EN 1744-1:Parte 19.3
Determinação de sais de cloreto solúveis em ácido	NP EN 1744-5
Determinação do teor de álcalis solúveis. Processo por espectrofotometria de chama.	NP 1382
Ensaio de compactação de material granular estabilizado com ligantes hidráulicos (Método do Vibro-Compactador)	BS 1924-2: Section 2.1.5
Determinação dos vazios do fíler seco compactado	NP EN 1097-4
Ensaio do sulfato de magnésio	NP EN 1367-2
Ensaio de ebulição para basaltos "Sonnenbrand"	NP EN 1367-3
Determinação da resistência ao choque térmico	EN 1367-5
Preparação de eluatos por lixiviação dos agregados	NP EN 1744-3
Determinação da influência do extracto de agregados reciclados no tempo de início de presa do cimento	NP EN 1744-6
Determinação da retracção por secagem	NP EN 1367-4

Pedras Naturais

Ensaio	Norma
Determinação da massa volúmica aparente e da porosidade aberta em pedras naturais	NP EN 1936
Point Load Test	ASTM D 5731
Determinação da resistência à compressão uniaxial	NP EN 1926
Slake Test	ASTM D 4644
Ensaio de carga pontual (EN 1926 – Anexo B)	PIE.009.1
Determinação da tensão de rotura por compressão	NP 1040
Determinação do coeficiente de dilatação térmica linear	NP EN 14581: Método A

Enrocamento

Ensaio	Norma
Análise granulométrica	EN 13383-2: Section 5
Determinação da densidade das partículas e da absorção de água	EN 13383-2: Section 8
Determinação da massa volúmica e porosidade	Procedimento LNEC
Determinação da resistência à compressão uniaxial	Procedimento LNEC
Slake Durability Test	Procedimento LNEC
Determinação da expansibilidade	Procedimento LNEC
Determinação da resistência ao esmagamento	Procedimento LNEC
Determinação do Índice de vazios (Macro-ensaio)	Procedimento LNEC

Cimentos e Adições

Ensaio	Norma
Cimentos. Determinação da finura.	NP EN 196-6
Cimentos. Determinação das resistências mecânicas.	NP EN 196-1
Cimentos. Determinação do calor de hidratação.	LNEC E 68
Cimentos. Ensaio de expansibilidade – Processo de Le Chatelier.	LNEC E 330
Cimentos. Determinação do tempo de presa e expansibilidade.	NP EN 196-3
Cimentos. Determinação da massa volúmica.	LNEC E 64
Cimentos. Determinação da perda ao fogo.	NP EN 196-2:Secção 4.4.1
Cimentos. Determinação do sulfato.	NP EN 196-2:Secção 4.4.2
Cimentos. Determinação do resíduo insolúvel em ácido clorídrico e carbonato de sódio.	NP EN 196-2:Secção 4.4.3
Cimentos. Determinação do resíduo insolúvel em ácido clorídrico e hidróxido de potássio.	NP EN 196-2:Secção 4.4.4
Cimentos. Determinação do sulfureto.	NP EN 196-2:Secção 4.4.5
Cimentos. Determinação do manganês por fotometria.	NP EN 196-2:Secção 4.4.6
Cimentos. Desagregação pelo peróxido de sódio.	NP EN 196-2:Secção 4.5.2
Cimentos. Insolubilização e determinação da sílica – Método por dupla insolubilização (método de referência)	NP EN 196-2:Secção 4.5.3
Cimentos. Decomposição por ácido clorídrico e cloreto de amónio e precipitação da sílica (método alternativo)	NP EN 196-2:Secção 4.5.5
Cimentos. Determinação da sílica pura.	NP EN 196-2:Secção 4.5.6
Cimentos. Desagregação do resíduo de evaporação.	NP EN 196-2:Secção 4.5.7
Cimentos. Determinação da sílica solúvel.	NP EN 196-2:Secção 4.5.8
Cimentos. Determinação da sílica total.	NP EN 196-2:Secção 4.5.9
Cimentos. Determinação do óxido de ferro (III).	NP EN 196-2:Secção 4.5.10
Cimentos. Determinação do óxido de alumínio.	NP EN 196-2:Secção 4.5.11
Cimentos. Determinação do óxido de cálcio pelo EGTA (método de referência)	NP EN 196-2:Secção 4.5.12
Cimentos. Determinação do óxido de magnésio pelo DCTA (método de referência)	NP EN 196-2:Secção 4.5.13
Cimentos. Determinação dos cloretos	NP EN 196-2:Secção 4.5.16
Cimentos. Determinação do teor de dióxido de carbono (método de referência)	NP EN 196-2:Secção 4.5.17
Cimentos. Determinação do teor de álcalis (método de referência)	NP EN 196-2:Secção 4.5.19

Lista de ensaios

Ensaio de pozolanicidade dos cimentos pozolânicos	NP EN 196-5
Cimentos. Calor de hidratação. Método da dissolução.	NP EN 196-8
Pastas de cimento. Determinação da retracção autogénea.	LNEC E 476
Cinzas. Determinação da finura.	NP EN 451-2
Cinzas. Determinação da massa volúmica.	LNEC E 64
Cinzas. Determinação do índice de actividade.	NP EN 450-1 (NP EN 196-1)
Cinzas. Determinação do tempo de presa e expansibilidade.	NP EN 450-1 (NP EN 196-3)
Cinzas. Determinação do teor de óxido de cálcio livre.	NP EN 451-1
Fíler calcário para betões. Determinação do valor do azul de metileno.	LNEC E 385
Fíler calcário para betões. Determinação do teor de carbono orgânico total (TOC).	LNEC E 386
Cinzas. Determinação da perda ao fogo.	NP EN 196-2:Secção 4.4.1
Cinzas. Determinação do sulfato.	NP EN 196-2:Secção 4.4.2
Cinzas. Determinação dos cloretos.	NP EN 196-2:Secção 4.5.16

Adjuvantes para argamassas e betões

Ensaio	Norma
Determinação do pH	ISO 4316
Determinação do teor de cloretos solúveis em água	NP EN 480-10
Determinação do teor de álcalis	NP EN 480-12
Determinação do teor de resíduo seco	NP EN 480-8
Determinação da massa volúmica	ISO 758
Análise por espectrofotometria de infravermelhos	NP EN 480-6
Betão de referência e argamassa de referência para ensaio	NP EN 480-1
Determinação do tempo de presa	NP EN 480-2
Determinação da exsudação do betão	NP EN 480-4
Determinação da absorção capilar	NP EN 480-5
Argamassa de alvenaria de referência para o ensaio de adjuvantes para argamassa	NP EN 480-13

Lista de ensaios

Betões

Ensaio	Norma
Ensaio de compressão	LNEC E 226
Ensaio de abaixamento	NP 87 NP EN 12350-2
Determinação da massa volúmica do betão fresco	NP 1384 NP EN 12350-6
Determinação da composição do betão fresco	NP 1385
Determinação dos tempos de presa	NP 1387
Determinação do teor em ar do betão fresco	ISO 4848
Ensaio de compacidade	ISO 4111
Ensaio de espalhamento	NP 414
Resistência de betões hidráulicos à tracção por compressão diametral em provetes fabricados em laboratório (Ensaio Brasileiro) aos i dias	ASTM C 496
Resistência à penetração da água	ISO 7031
Ensaio à compressão. Tratamento estatístico de resultados	NP EN 206-1
Resistência à compressão	NP EN 12390-3
Resistência de betões hidráulicos à tracção, por flexão, aos i dias	LNEC E 227 LNEC E 255
Dosagem de fibras no betão reforçado com fibras	NP EN 14488-7
Determinação da massa volúmica, da absorção e porosidade	ASTM C 642
Ensaio de arrancamento	NP EN 12504-3
Resistência à tracção por compressão	NP EN 12390-6
Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio à pressão atmosférica	LNEC E 394
Determinação do teor de ar. Métodos pressiométricos.	NP EN 12350-7
Determinação do teor em cloretos no betão	PIE.029.1
Determinação do teor em álcalis no betão	PIE.030.1
Resistividade dos betões	PIE.031.1
Profundidade de carbonatação do betão	PIE.032.1
Determinação do módulo de elasticidade	DIN 1048-5
Determinação da retracção e expansão de betões	LNEC E 398
Determinação da resistência à penetração de cloretos. Ensaio de imersão.	LNEC E 390
Determinação do coeficiente de difusão dos cloretos por ensaio de migração em regime não estacionário.	LNEC E 463
Determinação da absorção de água por capilaridade.	LNEC E 393
Profundidade da penetração da água sob pressão	NP EN 12390-8

Lista de ensaios

Determinação da capacidade de absorção de s de provetes de lajes reforçadas com fibras	NP EN 14488-5
Determinação da velocidade de propagação dos ultra-sons	NP EN 12504-4
Detecção de armaduras	BS 1881:Part 204
Determinação do índice esclerométrico	NP EN 12504-2
Ensaio Vêbê	NP EN 12350-3
Grua de compactabilidade	NP EN 12350-4
Ensaio da mesa de espalhamento	NP EN 12350-5
Determinação da absorção de água por imersão. Ensaio no vácuo.	LNEC E 395
Betão autocompactável. Ensaio de espalhamento.	NP EN 12350-8
Resistência à flexão de provetes.	NP EN 12390-5
Betão autocompactável. Ensaio de escoamento na caixa L.	NP EN 12350-10
Betão autocompactável. Ensaio de segregação no peneiro.	NP EN 12350-11
Betão autocompactável. Ensaio de espalhamento no anel J	NP EN 12350-12
Execução e cura de provetes para ensaios de resistência mecânica	NP EN 12390-2
Massa volúmica do betão endurecido	NP EN 12390-7
Carotes. Extracção, exame e ensaio à compressão.	NP EN 12504-1
Resistência à compressão do betão projectado jovem	NP EN 14488-2
Resistência à flexão (máxima, última e residual) de vigas reforçadas com fibras	NP EN 14488-3
Resistência de aderência em carotes à tracção simples	NP EN 14488-4
Espessura de betão sobre um substrato	NP EN 14488-6
Determinação da permeabilidade ao oxigénio	LNEC E 392
Determinação do módulo de elasticidade em compressão	LNEC E 397

Argamassas e Caldas de Injecção

Ensaio	Norma
Determinação da consistência da argamassa fresca	EN 1015-2
Resistências mecânicas	NP EN 196-1
Determinação da água de amassadura para espalhamento normalizado	PIE.017.1
Ensaio de fluidez, exsudação e variação de volume	NP EN 445: Section 4.3 + 4.4
Ensaio de resistência à compressão	NP EN 445: Section 4.6
Ensaio da massa volúmica	NP EN 445: Section 4.7

Lista de ensaios

Materiais Betuminosos

Ensaio	Norma
Determinação da afinidade agregado-betume	EN 12697-11
Determinação da baridade dos provetes	EN 12697-6
Determinação da baridade máxima teórica	EN 12697-5
Análise granulométrica	EN 12697-2
Ensaio Marshall	EN 12697-34
Determinação da espessura das camadas	EN 12697-36
Cálculo da porosidade dos provetes	EN 12697-8
Determinação da resistência conservada	MIL-STD-620A: Method 104
Determinação da densidade aparente	LNEC E 267
Determinação do teor em betume e do teor em água com o extractor de Kumagawa	LNEC E 268
Determinação do teor em betume e determinação do inerte total de uma mistura com o extractor de refluxo	EN 12697-1
Determinação da densidade com o picnómetro	LNEC E 35
Optimização do teor em betume (Método de Marshall)	JAE P. 14
Ensaio de adesividade	JAE P. 9
Determinação da baridade máxima teórica pelo método do picnómetro de vácuo	ASTM D 2041
Medição da profundidade da macrotextura da superfície do pavimento através da técnica volumétrica da mancha.	NP EN 13036-1
Determinação da baridade de misturas compactadas	ASTM D 2726
Efeito da água sobre a coesão de misturas betuminosas abertas mediante o ensaio Cântabro de perda por desgaste	NLT 362
Permeabilidade (misturas betuminosas porosas) "in situ" medida com LCS	NLT 327
Medição da irregularidade das camadas do pavimento: ensaio com régua	EN 13036-7
Determinação da baridade	JAE P.13

Solos

Ensaio	Norma
Determinação da resistividade de solos pelo método de Wenner	ASTM G57
Análise granulométrica	LNEC E 196
Análise granulométrica por peneiração húmida	LNEC E 239
Ensaio de compactação	LNEC E 197

Lista de ensaios

Determinação do CBR	LNEC E 198
Correcção do CBR	---
Determinação da densidade das partículas	NP 83
Determinação do teor em água	NP 84
Determinação do teor em água	NP EN ISO 17892-1
Ensaio de equivalente de areia	LNEC E 199
Ensaio de expansibilidade	LNEC E 200
Determinação da baridade seca « in situ » pelo método da garrafa de areia	LNEC E 204
Determinação da permeabilidade - carga constante	PIE.005.1
Determinação da permeabilidade - carga variável	PIE.004.1
Ensaio de carga em placa	NF P 94-117-1 ASTM D 1194 ENV 1997-3 DIN 18134
Teor em matéria orgânica	LNEC E 201 JAE S.9 NLT 117
Ensaio CBR imediato (CBR sem embebição e sem sobrecarga)	NF P 94-078
Ensaio PDL (Penetrómetro Dinâmico Ligeiro)	PIE.001.1
Controlo de compactação com gamadensímetro	ASTM D 6938
Ensaio de corte directo	BS 1377:Part 1
Ensaio edométrico	PIE.033.1
Ensaio triaxiais	PIE.034.1
Compactação com martelo vibrador	BS 1924-2: Section 2.1.5
Determinação dos limites de consistência	NP 143
Classificação unificada	Reg. Pequenas Barragens de Terra – Decreto 48373 de 08/05/1968
Classificação para fins rodoviários	LNEC E 240
Determinação do valor de azul de metileno	AFNOR P 18-592
Determinação da matéria orgânica. Método de redução da água oxigenada.	PIE.003.1
Determinação do teor em cloretos. Método potenciométrico.	PIE.010.1
Determinação do pH	LNEC E 203
Determinação da quantidade de sulfatos de um solo	LNEC E 202

Lista de ensaios

Determinação da resistividade com sonda de Wenner	PIE.011.1
Determinação da resistividade com sonda de condutividade	PIE.012.1
Coefficiente de fragmentabilidade dos materiais rochosos	NF P 94-066
Coefficiente de degradabilidade dos materiais rochosos	NF P 94-067
Determinação da baridade seca "in situ". Macro-ensaio.	PIE.008.1
Análise granulométrica. Macro-ensaio.	PIE.027.1

ANEXO II – CLASSES DE EXPOSIÇÃO

Tabela 1 – Classes de exposição (Especificação LNEC E 464-2005)

Designação da classe	Descrição do ambiente	Exemplos informativos onde podem ocorrer as classes de exposição
1 Sem risco de corrosão ou ataque		
X0	Para betão não armado e sem metais embebidos: todas as exposições, exceto ao gelo/degelo, à abrasão ou ataque químico. Para betão armado ou com metais embebidos: ambiente muito seco.	Betão no interior de edifícios com muito baixa humidade do ar
2 Corrosão induzida por carbonatação		
Quando o betão, armado ou contendo metais embebidos, se encontrar exposto ao ar e à humidade, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
Nota: As condições de humidade são as do betão de recobrimento das armaduras ou de outros metais embebidos, mas, em muitos casos, as condições deste betão podem considerar-se semelhantes às condições de humidade do ambiente circunvizinho. Nestes casos, pode ser adequada a classificação do ambiente circunvizinho. Tal pode não ser aplicável, caso exista uma barreira entre o betão e o seu ambiente.		
XC1	Seco ou permanentemente húmido	Betão no interior de edifícios com baixa humidade do ar; Betão permanentemente submerso em água.
XC2	Húmido, raramente seco	Superfícies de betão sujeitas a longos períodos de contacto com água; Muitas Fundações
XC3	Moderadamente húmido	Betão no interior de edifícios com moderada ou elevada humidade do ar; Betão no exterior protegido da chuva.
XC4	Ciclicamente húmido e seco	Superfícies de betão sujeitas ao contacto com a água, fora do âmbito de classe XC2
3 Corrosão induzida por cloretos não provenientes da água do mar		
Quando o betão armado ou contendo outros metais embebidos se encontrar em contacto com água, que não água do mar, contendo cloretos, incluindo sais descongelaentes, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
Nota: No que respeita às condições de humidade ver também a secção 2 deste quadro		
XD1	Moderadamente húmido	Superfícies de betão expostas a cloretos transportados pelo ar
XD2	Húmido, raramente seco	Piscinas; Betão exposto a águas industriais contendo cloretos
XD3	Ciclicamente húmido e seco	Partes de pontes expostas a salpicos de água contendo cloretos; Pavimentos; Lajes de parques de estacionamento de automóveis.
4 Corrosão induzida por cloretos da água do mar		
Quando o betão, armado ou contendo metais embebidos, se encontrar em contacto com cloretos proveniente da água do mar ou exposto ao ar transportando sais marinhos, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XS1	Ar transportando sais marinhos mas sem contacto direto com água do mar	Estruturas na zona costeira ou na sua proximidade
XS2	Submersão permanente	Partes de estruturas marítimas
XS3	Zonas de marés, de rebentação ou de salpicos	Partes de estruturas marítimas
5 Ataque pelo gelo/degelo com ou sem produtos descongelaentes		
Quando o betão, enquanto húmido, se encontrar exposto a um significativo ataque por ciclos de gelo/degelo, a exposição ambiental deve ser classificada como se segue:		
XF1	Moderadamente saturado de água, sem produtos descongelaentes	Superfícies verticais de betão expostas à chuva e ao gelo.
XF2	Moderadamente saturado de água, com produtos descongelaentes	Superfícies verticais de betão de estruturas rodoviárias expostas ao gelo e a produtos descongelaentes transportados pelo ar

XF3	Fortemente saturado, sem produtos descongelantes	Superfícies horizontais de betão expostas à chuva e ao gelo
XF4	Fortemente saturado, com produtos descongelantes	Estradas e tabuleiros de pontes expostos a produtos descongelantes; Superfícies de betão expostas ao gelo e a salpicos de água contendo produtos descongelantes; Zona das estruturas marítimas expostas a rebentação e ao gelo
6 Ataque químico		
<p>Quando o betão se encontrar exposto ao ataque químico proveniente de solos naturais e de águas subterrâneas, conforme indicado no quadro 2, a exposição ambiental deve ser classificada com estabelecido abaixo. A classificação da água do mar depende da localização geográfica, aplicando-se assim a classificação válida no local de utilização do betão.</p> <p>Nota: Pode ser necessário um estudo especial para estabelecer condições de exposição relevantes quando há: -Valores fora dos limites do Quadro 2; - Outros agentes químicos agressivos; Águas ou solos poluídos quimicamente; - Grande velocidade de água em conjunto com os agentes químicos do quadro 2.</p>		
XA1	Ligeiramente agressivo, de acordo com o quadro 2	
XA2	Moderadamente agressivo, de acordo com o quadro 2	
XA3	Fortemente agressivo, de acordo com o quadro 2	