

**Camadas de agregados reciclados de betão estabilizadas
com cimento e fibras de coco**

**Contribuição para o estabelecimento da evolução do
comportamento mecânico com a deterioração da consistência
através de sucessivos ensaios de durabilidade**

Miguel Ângelo Ramalho Marques

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em

Engenharia Civil

Orientador

Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Júri

Presidente: Professora Doutora Maria do Rosário Maurício Ribeiro Macário

Orientador: Professor Doutor Luís Guilherme de Picado Santos

Vogal: Professor Doutor José Manuel Coelho das Neves

Outubro de 2021

Declaração

Declaro que o presente documento é um trabalho original da minha autoria e que cumpre todos os requisitos do Código de Conduta e Boas Práticas da Universidade de Lisboa.

*“Tudo é ousado
para quem a nada se atreve”*

Fernando Pessoa

Agradecimentos

Em primeiro lugar, à mãe e ao pai, por todo o sacrifício, paciência e força que foram dando ao longo destes anos, não só de ensino superior, mas de todo o meu percurso escolar, pois sem vocês não teria chegado a onde estamos hoje. Foram tempos difíceis, mas sem nunca desistir conseguimos alcançar os nossos objetivos, mais cedo ou mais tarde e chegou o momento de encerrar mais um capítulo, por isso, o meu Muito Obrigado.

Um agradecimento especial à mana e à Rita, pois foram vocês que me conseguiam por um sorriso no rosto após cada meta falhada e era convosco que eu partilhava o meu sorriso após cada obstáculo ultrapassado. Chegou agora a hora de sorrir ao futuro que nos espera.

Aos avós que tanta vezes me perguntaram como iam os exames, que tanto rezaram para que tivesse sucesso e que tanta vezes me perguntavam quando acabava o curso, pois bem, rezem só mais uma vez!

Quero agradecer também ao professor Luís de Picado Santos, pelo enquadramento, pela leitura deste documento e pela disponibilidade ao longo do percurso até ao momento da defesa da dissertação.

Por fim, quero agradecer ao Rui Garcia e ao João Crucho pelo vosso apoio no trabalho laboratorial, mas também pela vossa disponibilidade ao longo destes meses.

Resumo

O uso de materiais granulares compactados é típico para camadas de base ou camadas de sub-base de um pavimento. Um dos problemas com a utilização deste tipo de material é o facto de serem materiais naturais cuja exploração é causa de preocupações relacionadas com a sustentabilidade do processo. A reutilização dos resíduos de construção e demolição (RCD) para a realização destas camadas de pavimento é uma solução para atenuar a exploração de materiais naturais e evitar a deposição em aterro para resíduos, que é uma causa de problemas ambientais. A introdução de fibra de coco (FC), que tem origem na casca de coco verde, é um recurso renovável que tem uma disponibilidade elevada em países produtores a baixo custo, pode ter efeitos benéficos como melhorar o comportamento mecânico duma camada incorporando RCD. Neste estudo laboratorial, recorreu-se a ensaios de degradação da consistência de provetes executados com RCD, com e sem FC, para avaliar a durabilidade das misturas produzidas, sendo os ensaios realizados os de gelo-degelo. Com ensaios de tração indireta pretende-se avaliar a evolução da resistência dos provetes, onde se determinou que existe uma melhor consistência estrutural nas misturas que continham a fibra de coco, potenciando o seu uso para garantir uma melhor qualidade para as camadas de pavimento ao longo da sua vida em serviço.

Palavras-chave: Agregado, Resíduos de Construção e Demolição, Calcário, Fibra de coco, ensaio Gelo-Degelo, ensaio de Tração Indireta, Durabilidade.

Abstract

The use of compacted granular materials is typical for base layers or sub-base layers of a pavement. One of the problems with using this type of material is that they are natural materials whose exploitation is a cause of concern related to the sustainability of the process. The reuse of construction and demolition waste (CDW) to make those pavement layers is a solution to mitigate the exploitation of natural materials and avoid landfilling for CDW, which can pose environmental problems and is not profitable. The introduction of coconut fiber, which originates from the green coconut husk, a renewable resource that is a waste and is highly available in producing countries at a meager cost, can have beneficial effects such as improving the mechanical behavior of a layer incorporating CDW. In this laboratory study, test specimens produced with CDW and with and without coconut fiber were subjected to degradation tests with the test being the freeze-thaw test. Results were used to evaluate the durability of the specimens. After using indirect tensile tests to assess the evolution of the strength of samples, it was determined that there is better structural consistency in the mixtures containing coconut fiber. This fact enhances its use to ensure better quality for those types of pavement layers throughout its service life.

Keywords: Aggregate, Construction and Demolition Waste, Limestone, Coconut Fiber, Freezing-and-Thawing Test, Indirect Tensile Test, Durability.

Índice

1	Introdução.....	1
2	Enquadramento e descrição da abordagem laboratorial	3
2.1	Introdução	3
2.2	Produção dos Provetes.....	5
2.2.1	Humidade do agregado	5
2.2.2	Tratamento do agregado.....	5
2.2.3	Quantidades e execução	8
2.2.4	Provetes.....	11
2.2.5	Preservação e cura dos provetes	12
2.3	Ensaio congelamento e descongelamento de misturas compactadas de solo-cimento – AASHTO T 136-13 (2015).....	14
2.3.1	Introdução	14
2.3.2	Aplicação da norma.....	14
2.4	Ensaio para a determinação da resistência à tração indireta para misturas tratadas com ligantes hidráulicos – EN 13286-42 (2003).....	16
2.4.1	Introdução	16
2.4.2	Aplicação da norma.....	16
3	Apresentação e Análise de Resultados	19
3.1	Ensaio Gelo-Degelo	19
3.1.1	Volume e teor em água obtido para cada mistura.....	19
3.1.2	Análise do teor em água inicial e do volume inicial	22
3.1.3	Análise do volume dos provetes	22
3.1.4	Análise do teor em água dos provetes.....	24
3.1.5	Análise da perda de material.....	28
3.2	Análise do ensaio de tração indireta	35
3.2.1	RCD com 2% de cimento sem fibra de coco.....	35
3.2.2	RCD com 2% de cimento com fibra de coco.....	36
3.2.3	RCD com 3% de cimento sem fibra de coco.....	37
3.2.4	RCD com 3% de cimento com fibra de coco.....	39
3.2.5	Calcário com 2% de cimento sem fibra de coco.....	40
3.2.6	Calcário com 2% de cimento com fibra de coco	41
3.3	Síntese e principais inferências	42
4	Conclusão e trabalhos futuros.....	46
5	Referências Bibliográficas	48
	Anexo A – Quantidades a utilizar em cada mistura	52
	Anexo B – Boletim do Teor em Água Ótimo e Baridade Ótima - RCD	54

Anexo C – Boletim do Teor em Água Ótimo e Baridade Ótima – Calcário.....	55
Anexo D – Plano de Trabalhos	56
Anexo E – Boletins do ensaio de Tração-Indireta para as diferentes misturas	57
Anexo F – Imagem do Procedimento Laboratorial.....	69

Lista de Figuras

Figura 2.1 - Curva granulométrica dos agregados (adaptado de Crucho et al. (2021))	4
Figura 2.2 - Estufa de secagem de material	6
Figura 2.3 - Peneiro de 31.5 mm utilizado	6
Figura 2.4 - Pás utilizadas no manuseio do agregado	7
Figura 2.5 - Esquartelador utilizado no tratamento do agregado	7
Figura 2.6 - Balança utilizada para medição de agregado	8
Figura 2.7 - Identificação de cada balde contendo o material, data e nome do responsável	8
Figura 2.8 - Câmara frigorífica para congelamento dos provetes	9
Figura 2.9 - Betoneira utilizada na junção dos materiais	11
Figura 2.10 - Martelo Vibro Compactador utilizado na compactação dos provetes	12
Figura 2.11 - Câmara de cura húmida	13
Figura 2.12 - Características dos panos utilizadas para manter a humidade no provete	13
Figura 2.13 - Paquímetro utilizado nas medições dos provetes e moldes	13
Figura 2.14 - Peso da escova utilizada na escovagem dos provetes	15
Figura 2.15 - Exemplo de escovagem no topo de um provete	15
Figura 2.16 - Exemplo de um provete em imersão	16
Figura 2.17 - Esquema de um provete sujeito ao ensaio de tração indireta adaptado de EN 13286-42:2003 (E)	17
Figura 2.18 - Exemplo de aplicação de um ensaio de tração indireta	18
Figura 3.1 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra de coco	29
Figura 3.2 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 2% cimento sem fibra	29
Figura 3.3 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 2% de cimento com fibra de coco	30
Figura 3.4 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 2% cimento com fibra	30
Figura 3.5 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra de coco	31
Figura 3.6 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 3% cimento sem fibra	31
Figura 3.7 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco	32
Figura 3.8 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 3% cimento com fibra	32
Figura 3.9 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco	33
Figura 3.10 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de calcário com 2% cimento sem fibra	34

Figura 3.11 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de calcário com 2% de cimento com fibra de coco.....	34
Figura 3.12 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de calcário com 2% cimento com fibra	35
Figura 3.13 - Estado dos provetes húmidos (esquerda) e imersos (direita) da mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra	36
Figura 3.14 - Estado dos provetes húmidos (fila inferior) e imersos (fila superior) da mistura de RCD com 2% de cimento com fibra	37
Figura 3.15 - Estado de um provete húmido da mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra	38
Figura 3.16 - Pormenor da fibra de coco a suportar a integridade estrutural da mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco	39
Figura 3.17 - Estado de uma provete relativo à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco	40
Figura 3.18 - Estado de um provete após aplicação da carga no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco	41
Figura 3.19 - Comparação em percentagem da massa perdida para as diferentes misturas produzidas	43
Figura 3.20 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de RCD com 2% de cimento	44
Figura 3.21 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de RCD com 3% de cimento	45
Figura 3.22 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de calcário com 2% de cimento	45

Lista de Quadros

Quadro 2.1 - Propriedades dos agregados (adaptado de Crucho et al. (2021))	4
Quadro 2.2 - Teor em água do agregado recolhido	5
Quadro 2.3 - Características dos moldes utilizados	9
Quadro 2.4 - Especificações pretendidas e massa necessária para cada provete	10
Quadro 3.1 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra	19
Quadro 3.2 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 2% de cimento com fibra	19
Quadro 3.3 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra	20
Quadro 3.4 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 3% de cimento com fibra	20
Quadro 3.5 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra	21
Quadro 3.6 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de calcário com 2% de cimento com fibra	21
Quadro 3.7 - Resultados obtidos referentes ao teor em água para cada mistura após a sua produção	22
Quadro 3.8 - Valores iniciais de volume e teor em água dos provetes do tipo 1	22
Quadro 3.9 - Variações de volume para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra	23
Quadro 3.10 - Variações de volume para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra	23
Quadro 3.11 - Variações de volume para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra	23
Quadro 3.12 - Variações de volume para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra	23
Quadro 3.13 - Variações de volume para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra	24
Quadro 3.14 - Variações de volume para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra	24
Quadro 3.15 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra de coco	24
Quadro 3.16 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra de coco	25
Quadro 3.17 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra de coco	26
Quadro 3.18 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco	26
Quadro 3.19 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco	27
Quadro 3.20 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra de coco	28
Quadro 3.21 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra	36

Quadro 3.22 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra	37
Quadro 3.23 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra	38
Quadro 3.24 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra	39
Quadro 3.25 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra	40
Quadro 3.26 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra	41

Abreviaturas

RCD – Resíduos de Construção e Demolição

AN – Agregado Natural

MGEC – Misturas Granulares Estabilizadas com Cimento

FC – Fibra de Coco

AM – Azul de Metileno

EA – Equivalente de areia

1 Introdução

Nos pavimentos é frequente existirem camadas de base e sub-base constituídas por materiais granulares (agregados) obtidos por britagem de rocha, o que levanta problemas de sustentabilidade ambiental. Uma possível solução será a utilização de RCD como substituição parcial ou total do material granular, tendo sido esta hipótese já validada por alguns investigadores (Bravo et al. 2015; Bogas et al. 2016; Sadati and Khayat 2016; Prakash Chandar et al. 2018; Tavakoli et al. 2018).

O uso de RCD como material granular não ligado em camadas de pavimento, foi analisado em vários estudos (Chai et al. 2009; Leite et al. 2011; Gonzalez-Burón and Nogués 2019), em que o comportamento registado do RCD é possível de ser comparado com o do agregado natural (AN).

Recorrer ao RCD traz não só benefícios ambientais, nomeadamente reduzindo o uso de AN e a sua necessidade de extração, mas também um benefício financeiro, onde o volume de RCD depositado em aterros torna-se menor, tendo em conta que o seu preço por tonelada de deposição tem vindo a aumentar consideravelmente desde o ano de 2005. Martinho et al. (2018 e 2020) avaliou os custos por tonelada da camada betuminosa base/de ligação de acordo com a tecnologia portuguesa em vigor para misturas preparadas a quente e a temperaturas inferiores a estas (misturas temperadas). Para ambos os casos, conclui-se que a substituição do AN pelo RCD em 60%, gerou uma poupança de 4,5% no custo por tonelada aplicada.

Existe ainda alguma incerteza no comportamento mecânico e na durabilidade de misturas granulares estabilizadas com cimento (MGEC): do ponto de vista do comportamento mecânico, a resistência à flexão e à fadiga são das características mais relevantes neste tipo de mistura, onde a resistência à fadiga está relacionada com o fendilhamento das camadas; do lado da durabilidade, a literatura existente ainda é muito limitada, estando relacionada maioritariamente com ensaios como o de gelo-degelo realizado no decorrer da componente laboratorial desta dissertação.

A introdução da FC como reforço em materiais ligados já foi analisado em inúmeros estudos, estando a maior parte relacionada com a sua utilização no betão (Ali et al. 2012, 2013; Ali 2014; Chen and Chouw 2016b; a, 2018; Hwang et al. 2016; Sathiparan et al. 2017; Khan and Ali 2018; Sekar and Kandasamy 2018; Wang and Chouw 2017a; b, 2018). O uso da FC como reforço teve um efeito positivo no comportamento mecânico e na durabilidade, particularmente na tração indireta, na resistência à flexão, resistência ao impacto e limitando o desenvolvimento do fendilhamento (Ali et al. 2012; Ali and Chouw 2013; Ramli et al. 2013; Hwang et al. 2016; Sekar and Kandasamy 2018).

Sekar and Kandasamy (2018) comprovaram que o comprimento de cada fio de FC possui uma influência proporcional nos ensaios de tração indireta, em que quanto maior o comprimento de cada um, maior teria que ser a tração indireta necessária para causar o fendilhamento do provete, no entanto, de modo a reduzir o processamento do material, não foi efetuada qualquer filtragem no que diz respeito ao comprimento de cada FC.

A utilização de elevadas quantidades de FC não é recomendada pois poderá afetar negativamente a trabalhabilidade (Hwang et al. 2016) proporcionando a criação de aglomerados. Quanto maior a

percentagem em massa de FC utilizada numa mistura, menor será a densidade da mesma (Ali and Chouw 2013; Hwang et al. 2016), dado que o número de vazios será superior, pelo que, a quantidade correta de FC a utilizar será ótima quando esta for a suficiente para manter a integridade estrutural da MGEC aquando da ocorrência de fendilhamento, sem que a sua trabalhabilidade, definida como a propriedade de poder ser aplicado em obra com facilidade, seja comprometida. A fibra de coco é um material com alto teor de lignina e baixo teor de celulose, retardando a sua própria degradação e aumentando a sua durabilidade (Dittenber and Gangarao 2012). As propriedades mecânicas da fibra de coco são ainda muito interessantes para a função de reforço das MGEC (Munawar et al. 2007).

O objetivo desta dissertação passará por verificar qual o impacto da substituição total de AN por RCD em MGEC, quando sujeitas a múltiplos ensaios de condicionamento da integridade estrutural do material, recorrendo ao ensaio de gelo-degelo e ao de tração indireta. Para além desta substituição, metade das misturas produzidas serão reforçadas com FC, aplicando a dosagem apropriada de acordo com a literatura existente, para que possam ser comparadas com misturas sem a sua presença, e assim avaliar os efeitos positivos ou negativos que possam surgir deste reforço. Serão analisados, do lado da durabilidade, os volumes e teores em água relativos ao ensaio de gelo-degelo assim como uma análise da massa do provete de cada mistura produzida. Relativamente ao ensaio de tração indireta, irá ser avaliado a resistência de cada provete, assim como o estado do provete após aplicação da carga, ou seja, de que forma ocorreu a rotura, se o fendilhamento causou a rotura da integridade estrutural e qual a influência da FC.

A estrutura desta dissertação começa com uma apresentação dos materiais utilizados na produção das diferentes misturas, enunciando de seguida quais os procedimentos laboratoriais percorridos, assim como uma apresentação do equipamento utilizado. Posteriormente serão apresentadas características dos provetes produzidos para que se possa verificar se estas vão ao encontro das metas pré-definidas no âmbito do projeto ADVAMCE. A posteriori serão analisados os dados de acordo com as normas utilizadas para que se possam retirar conclusões relativas à substituição total do AN por RCD, assim como, uma análise ao comportamento da FC como reforço.

Esta dissertação está inserida no projeto ADVAMCE, com a referência PTDC/ECI-TRA/32244/2017, com o título “Desenvolvimento de técnicas de valorização de materiais reciclados para promoção da economia circular nas infraestruturas de transporte”, em que o principal investigador é o Professor Luís Guilherme de Picado Santos, com início a 1 de outubro de 2018.

No anexo A estão apresentados em quadros os valores calculados, no âmbito do projeto ADVAMCE, referentes às quantidades de cada material das misturas produzidas. No anexo B e no anexo C, estão apresentados boletins de ensaio relativos ao teor em água ótimo e baridade seca máxima do RCD e do AN, respetivamente. No anexo D está descrito qual o plano de trabalhos utilizado durante a componente laboratorial, enquanto no anexo E são apresentados os doze boletins (dois por cada mistura) relativos aos ensaios de tração indireta realizados no âmbito desta dissertação. No anexo F é mostrado uma imagem do aluno, assim como do Rui Garcia, no decorrer da componente laboratorial.

2 Enquadramento e descrição da abordagem laboratorial

2.1 Introdução

De acordo com a literatura existente e tendo em conta a sustentabilidade que os materiais como o RCD e a FC nos proporcionam, pretende-se produzir misturas que possam ser analisadas relativamente, ao seu potencial uso em camadas de pavimento estabilizadas com cimento. Com a utilização do agregado de betão reciclado, pretende-se analisar quais os efeitos que surgem no comportamento mecânico das MGEC produzidas, onde a dosagem de cimento é consideravelmente mais reduzida que num betão. Existe uma potencial hipótese em que o agregado possa conter no seu interior quantidades residuais de cimento que possam ajudar à estabilidade das misturas de RCD, justificando então a opção de recorrer a reduzidas quantidades de cimento, não só de um ponto de vista de sustentabilidade, mas também financeiro, e com isso, compará-las com misturas de AN exatamente com a mesma quantidade percentual de cimento. A utilização da FC vem possibilitar o retardamento na rotura estrutural nas camadas, potencializando o seu uso em camadas de pavimento.

Para tal, procedeu-se à recolha de informações sobre cada um dos materiais utilizados no âmbito do projeto ADVAMCE, e relativamente ao RCD, seria de esperar que no meio deste tipo de agregado existam vários tipos de materiais, desde pequenas porções de diorito, materiais cerâmicos, fios de aço, cimento e ainda pequenas porções de borracha e madeira. A escolha do calcário como a outra solução para o agregado surgiu com a finalidade de poder comparar os resultados obtidos nos ensaios laboratoriais com o agregado de RCD, dado que o calcário é um agregado de origem natural e um dos mais utilizados a nível nacional, tendo sido fornecido por uma pedreira na região de Lisboa.

Apresentam-se de seguida as características relativas aos agregados utilizados no decorrer do trabalho laboratorial, retirados do projeto ADVAMCE, em que na Figura 2.1 está representada a curva granulométrica do RCD e do AN, onde se verifica que ambas apresentam uma distribuição bastante similar.

No Quadro 2.1 estão apresentadas as propriedades de cada um dos agregados, nomeadamente a percentagem de finos, o ensaio relativo ao azul de metileno, ensaio de equivalente de areia, índice de forma, índice de achatamento, o ensaio de Los Angeles, massa volúmica e absorção de água. É possível constatar que o RCD apresenta valores claramente superiores no que diz respeito à percentagem de finos e à absorção de água. Dado que a percentagem de finos é inferior a 3% no AN, as propriedades dos finos podem ser estimadas como não adversos para o comportamento das misturas. Verifica-se assim que ambos os agregados cumprem os requisitos impostos.

O cimento Portland utilizado, foi produzido pela empresa Cimpor no ano de 2020 catalogada de CEM II/A-L 42,5 R segundo a guia de remessa, ou seja, a sua percentagem de adições encontra-se entre os 6 a 20 %, possui um filler de calcário, uma resistência de 42,5 MPa à compressão ao fim de 28 dias de idade e, por fim, é um cimento de rápido endurecimento.

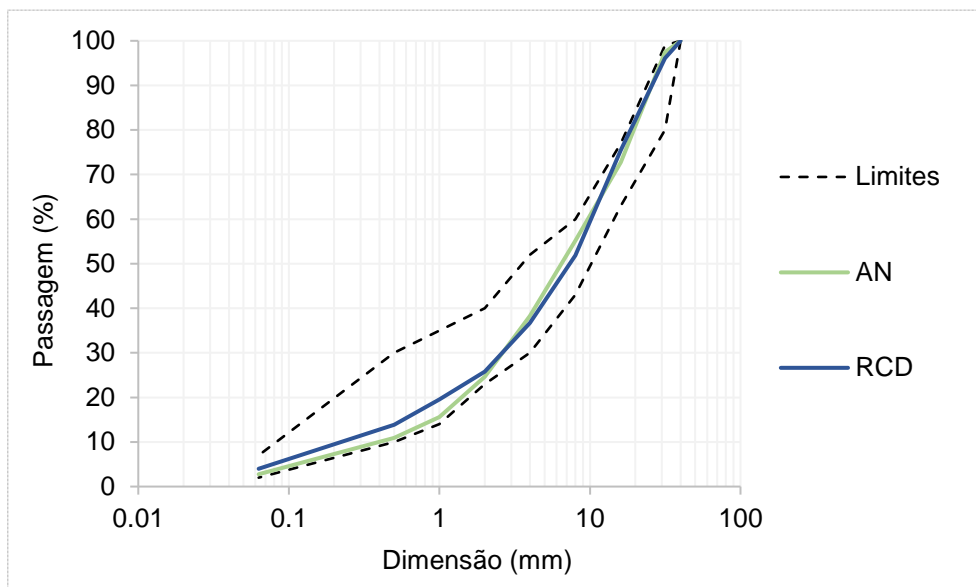


Figura 2.1 - Curva granulométrica dos agregados (adaptado de Crucho et al. (2021))

Quadro 2.1 - Propriedades dos agregados (adaptado de Crucho et al. (2021))

Propriedades	Norma	Agregado Natural	RCD	Limite
Finos (% abaixo de 0,063 mm)	EN 933-1	2,8	4,0	Se finos > 3%, então EA.
Azul de Metileno	EN 933-9	10	7	Se ≥ 50 . No caso de EA < 50, então AM ≤ 2 .
Equivalente de areia	EN 933-8	39	70	
Índice de achatamento	EN 933-3	11	8	≤ 30
Índice de forma	EN 933-4	12	8	-
Los Angeles	EN 1097-2	33	38	≤ 40
Densidade aparente da partícula (Mg/m ³)	EN 1097-6	2,66	2,75	-
Densidade aparente seca da partícula (Mg/m ³)		2,51	2,42	-
Densidade da partícula em base saturada e seca à superfície (Mg/m ³)		2,56	2,54	-
Absorção de água (%)		2,3	4,9	-

A casca de coco verde, que por sua vez é um invólucro vegetal, não possui um uso comercial significativo. Este resíduo pode ser transformado em fibra que apresentará alguma resistência e elasticidade, características adequadas para os ensaios realizados. Previamente à realização desta dissertação, foi conduzido um pequeno estudo no âmbito do projeto ADVAMCE em que se recolheram

algumas características sobre a FC utilizada, e conclui-se que esta apresenta um comprimento médio de 130 mm, uma densidade de partícula de 1,4 Mg/m³ com uma absorção de água a rondar os 140%.

Ao longo deste capítulo 2, será descrito o processo laboratorial, contendo os equipamentos usados, introduzindo algumas limitações e soluções encontradas aos mesmos, pequenos procedimentos efetuados de modo a maximizar o potencial dos provetes produzidos e ainda, adaptações efetuadas às normas.

2.2 Produção dos Provetes

2.2.1 Humidade do agregado

Tendo em atenção que ambos os agregados se encontravam expostos ao ar livre à data da sua recolha, estes apresentavam valores de teor em água desconhecidos, ainda que provavelmente similares entre si. Efetuou-se então um ensaio a um dos agregados com o intuito de determinar o teor em água, recorrendo também à equação 2.1, estando os valores obtidos apresentados no Quadro 2.2.

$$w = \frac{M_h - M_s}{M_s} * 100 \quad (2.1)$$

Em que w é o teor em água expresso em percentagem, M_s representa a massa seca expressa em gramas e M_h representa a massa húmida expressa em gramas.

Quadro 2.2 - Teor em água do agregado recolhido

Agregado	Base (g)	Base + Agregado Húmido (g)	Base + Agregado Seco (g)	Água (g)	Teor em água (%)
	11,4	1141,2	1050,4	90,8	8,7

Conhecendo o teor em água existente no agregado, através deste pequeno cálculo em laboratório, torna-se possível determinar a quantidade de água que seria necessário adicionar ou retirar ao agregado aquando da sua produção em obra, dado que esta verificação não é efetuada.

2.2.2 Tratamento do agregado

Relativamente ao procedimento em laboratório, numa primeira instância foi necessário secar as amostras de agregado, como referido anteriormente, recorrendo a uma estufa apresentada na Figura 2.2, a 105°C durante um período de pelo menos 24h.

Após o arrefecimento da amostra até à temperatura ambiente, para que fosse possível o seu manuseamento, recorreu-se ao peneiro de 31,5 mm, apresentado na Figura 2.3, para o RCD e posteriormente repetiu-se o mesmo processo para o agregado de calcário.



Figura 2.2 - Estufa de secagem de material



Figura 2.3 - Peneiro de 31.5 mm utilizado

Dado que o procedimento foi realizado no chão, recorreu-se às pás da Figura 2.4 para movimentar o material para o esquartelador, apresentado na Figura 2.5, para que fosse possível uniformizar o agregado, com o intuito de se obter uma relação adequada entre as várias dimensões do agregado.

No entanto, como o material mais fino concentra-se no centro do monte após passar pelo peneiro, e o material de maiores dimensões localiza-se na periferia do mesmo, foi necessário existir o cuidado de coletar o material de fora para dentro, apenas numa das metades do perímetro do monte, pois à medida que se retirava material, os finos caíam para as periferias possibilitando uma recolha heterogénea de material.



Figura 2.4 - Pás utilizadas no manuseio do agregado



Figura 2.5 - Esquartelador utilizado no tratamento do agregado

O material colocado no compartimento superior do esquartelador passou por espaçadores, situados imediatamente por baixo do compartimento superior, que uniformizava novamente o material, dando liberdade ao utilizador de escolher a dimensão do agregado, antes de cair nos baldes. Esse material foi então colocado noutro tipo de balde, para que pudesse ser pesado numa balança, apresentada na Figura 2.6, de modo a obter um peso total de 41 Kg. No final, a amostra foi devidamente identificada, demonstrada na Figura 2.7, e repete-se então o processo para cada uma das seis misturas.



Figura 2.6 - Balança utilizada para medição de agregado



Figura 2.7 - Identificação de cada balde contendo o material, data e nome do responsável

2.2.3 Quantidades e execução

A necessidade de se ter 41 Kg de agregado em cada mistura surge, não só da limitação prática da altura de arrefecimento em câmara frigorífica, apresentada na Figura 2.8, mas também porque vai ao encontro dos ensaios realizados anteriormente no projeto ADVAMCE e assim permitir uma comparação mais direta.

Tendo em conta que em laboratório existiam apenas 8 moldes adequados à conceção destes provetes, apresenta-se no Quadro 2.3, os dados relativos às características de cada molde.



Figura 2.8 - Câmara frigorífica para congelamento dos provetes

Quadro 2.3 - Características dos moldes utilizados

Moldes			
Nº	Altura (mm)	Diâmetro (mm)	Peso (g)
1	160,45	152,22	11025
2	160,20	152,21	11021
3	160,20	151,75	11040
4	160,50	152,10	11032
301	300	148,90	9170
302	300	149,56	9090
303	300	150,96	9066
304	300	149,67	8689

Tendo as dimensões de cada molde, através de uma aproximação média dos diâmetros e sabendo que se pretende uma dada altura para cada provete, estudos prévios no âmbito do ADVAMCE revelaram também que a densidade ideal para cada provete deverá rondar os 2200 Kg/m³.

Dado que a baridade é medida em função do volume do recipiente, que neste caso corresponderá ao volume ocupado do molde, e a densidade é medida em função do volume do próprio provete, a diferença entre estas duas medições será marginal e desprezável, pelo que não será feita a distinção entre ambas. É então possível realizar o cálculo de massa de agregado necessária para cada molde como mostra o Quadro 2.4, onde as percentagens de cada material estão apresentadas no Anexo A.

Quadro 2.4 - Especificações pretendidas e massa necessária para cada provete

Altura pretendida (m)	Densidade pretendida (Kg/m ³)	Diâmetro médio (m)	Massa necessária (Kg)
0,13	2200	0,151	5,121

Tendo o agregado necessário para cada provete, e conhecendo o teor em água ótimo de cada agregado, em função da densidade seca, através de um ensaio de compactação Proctor modificado, segundo a norma LNEC E197-1966, os valores ótimos de teor em água para RCD e para o calcário são 9,2% e 4,1% respetivamente, que poderão ser consultados no Anexo B.

Os valores de cimento de 2% e 3% utilizados foram estabelecidos para os objetivos do projeto de investigação onde esta dissertação se insere (ADVAMCE). Estes valores permitem atingir uma resistência mecânica aceitável para o objetivo do projeto ADVAMCE, minimizando potenciais problemas de fendilhamento por retração, sendo que esta última é mais importante quando os valores de teor em cimento são iguais ou superiores a 5%. Por outro lado, uma percentagem mais baixa de cimento contribui também para um menor custo global deste tipo de misturas.

Para determinar qual a quantidade de fibra de coco a utilizar, foram realizados estudos também no âmbito do ADVAMCE, onde se concluiu que uso de fibras em elevadas quantidades não seria viável indo ao encontro da literatura existente, mas também porque aquando da sua mistura com os restantes materiais, parte da fibra inserida acabaria por ficar agarrada na betoneira e resultaria que a percentagem real de FC seria inferior à percentagem planeada. Optou-se por adotar uma percentagem de fibra de 0,1% do total de peso do agregado.

Tendo as medidas de todos os materiais necessárias, a junção destes ocorreu numa betoneira, apresentada na Figura 2.9, e começou-se por verificar se a betoneira se encontrava limpa para que não ocorresse mistura de materiais que não os anteriormente descritos. Na betoneira, os primeiros materiais introduzidos foram os sólidos, agregado e cimento, e com a betoneira em rotação adicionou-se a água. Caso a mistura a realizar contenha a fibra de coco, esta deverá ser introduzida humedecida, pois a fibra possui grandes capacidades de absorção de água (140%), e deverá ser ainda ligeiramente desfiada para que exista uma boa distribuição pela mistura, evitando concentrações. Quando a mistura apresentou características homogêneas, nomeadamente cor e textura, é a indicação que a junção dos materiais se encontrava concluída.



Figura 2.9 - Betoneira utilizada na junção dos materiais

2.2.4 Provetes

À mistura assim executada foi retirada uma pequena quantidade de material, no início e fim da compactação, pois tratando-se de um processo ligeiramente demorado, o teor em água poderia sofrer alterações. Para prevenir variações drásticas do teor, a mistura é coberta por um tecido bastante húmido. As amostras de material retiradas são levadas para uma estufa a 105°C, onde foram deixadas a secar durante 48h. Este procedimento permite verificar se o teor em água da mistura produzida se encontra numa gama de valores perto do ótimo.

Para um tabuleiro, são retirados os 5,121 Kg que serão compactados através de um martelo vibro compactador apresentado na Figura 2.10, com um peso aproximado de 30 Kg, como é descrito na norma EN 13286-51 (2003). Antes do material ser colocado no molde, foi introduzido um disco em cartolina no fundo e ainda uma pequena camada de óleo usado, em todo o interior do molde, que funcionou como descofrante, para garantir que a desmoldagem dos provetes seria eficaz e sem roturas. Aquando da colocação do material no molde, a compactação foi efetuada por camadas. Cada camada correspondeu a quatro pás cheias da dimensão inferior da Figura 2.4, nos moldes 1 a 4 (prateados), num total de três camadas. Nos moldes azuis, como estes apresentam uma altura consideravelmente elevada, para que a compactação se realizasse sem que o martelo colidisse com o topo do molde, este teria que conter mais material na primeira camada. Para tal, a quantidade de material pelas camadas foi de seis pás na primeira camada e três pás na segunda e terceira camada.

Entre camadas, nas misturas de RCD, foi efetuado um desgaste com o intuito de criar saliências para garantir a adesão entre as camadas, enquanto nas misturas de calcário, este processo não se realizou devido à resistência que o AN possui. Após a colocação da última camada no molde, é novamente colocado um disco em cartolina no topo do provete.



Figura 2.10 - Martelo Vibro Compactador utilizado na compactação dos provetes

A utilização do peneiro de 31,5 mm permitiu garantir as condições de representatividade entre a dimensão máxima do agregado e a dimensão do molde. Tendo cada provete três camadas, cada uma a rondar os 50-60 mm antes de ser compactada, se duas pedras de agregado estivessem uma sobre a outra, durante a compactação, poderia surgir uma concentração de vazios nesta zona, originando um ponto fraco que posteriormente conduziria a níveis de resistência mais baixos do que o normal.

Como conclusão da construção de cada provete, todos os moldes foram pesados com o provete no seu interior para verificar se a densidade obtida estaria de acordo com a pretendida, tendo também sido medida a altura de cada provete. Estas medições serão apresentadas no Capítulo 3.

2.2.5 Preservação e cura dos provetes

Após a desmoldagem do provete, 24h após a sua compactação, estes foram devidamente identificados e colocados numa câmara de cura húmida especial composta para a situação. Recorreu-se então a uma caixa apresentada na Figura 2.11, onde foi criada uma cama constituída por agregado de reduzida dimensão ou por plástico bolha, onde assentaram os provetes que foram posteriormente humidificados.

Para manter a humidade na câmara, os provetes eram cobertos com um pano húmido, verificado diariamente, para garantir o bom funcionamento de todo o processo, estando as suas características apresentadas na Figura 2.12.



Figura 2.11 - Câmara de cura húmida



Figura 2.12 - Características dos panos utilizadas para manter a humidade no provete

As medições efetuadas a todos provetes foram realizadas com recursos a um paquímetro apresentado na Figura 2.13, com precisão à centésima de milímetro, cumprindo assim o que é descrito na norma AASHTO T 136-13 (2015), uma precisão de 0,25 mm.



Figura 2.13 - Paquímetro utilizado nas medições dos provetes e moldes

2.3 Ensaio congelamento e descongelamento de misturas compactadas de solo-cimento – AASHTO T 136-13 (2015)

2.3.1 Introdução

O ensaio de gelo-degelo realizado é adaptado de uma norma americana, a AASHTO T 136-13 (2015), e apesar de ser referente a solo-cimento, foi possível efetuar os procedimentos aos materiais ensaiados. Pretende-se com este ensaio, avaliar a perda de material, alterações de humidade e variações de volume originadas pelo gelo e degelo dos provetes. Importa referir que este ensaio contém dois métodos descritos na sua norma, em que a diferença se encontra na dimensão máxima do agregado.

O método escolhido foi o método B com a ligeira alteração de que a dimensão máxima do agregado foi de 31,5 mm em vez dos 19,0 mm como é descrito. Esta decisão vai ao encontro de outra norma sul africana – SANS 3001 GR55 (2012) – que relaciona a moldagem dos provetes com a granulometria do material sem truncar.

2.3.2 Aplicação da norma

Após o 7º dia de cura, dois provetes de cada mistura foram colocados no gelo, sendo que um serviu de controlo – tipo 1 - (variações de volume, humidade e massa), enquanto o segundo foi sujeito a escovagem – tipo 2. Na câmara frigorífica, os provetes foram colocados sobre panos humedecidos com água para que a pudessem absorver por capilaridade, onde teriam que permanecer por um período de pelo menos 24h, a uma temperatura não superior a -23°C. Para que todos os provetes tivessem sujeitos às mesmas condições e tendo em conta os fins de semana e feriados, é referido na norma que nestas situações os provetes devem permanecer no gelo, quando não é possível cumprir os períodos de gelo-degelo. O período de degelo tem uma duração total de 23h, sendo a 24ª hora destinada ao ensaio referido. O planeamento adotado está apresentado no Anexo D. Em cada ciclo fez-se trocar entre o topo e a base, a posição sobre a qual o provete assentaria para que o efeito de gelo-degelo fosse homogéneo.

Após serem retirados da câmara frigorífica, os provetes do tipo 1 foram sujeitos a medições de altura e diâmetro e pesagem assim que o seu manuseamento fosse possível, voltando no final das medições para a câmara frigorífica, completando um ciclo.

Aos provetes do tipo 2 foi aplicada a escovagem e para tal, foi efetuada apenas a pesagem antes do início de cada ciclo. Este processo requer bastante concentração e precisão para que seja aplicada a escovagem de forma homogénea em toda a superfície do provete. Esta precisão começa no peso da própria escova que teria que possuir um peso próprio a rondar os 13,3 N, ou seja, 1,33 Kg. Tendo em conta que a escova utilizada cumpre os requisitos descritos na norma AASHTO T 136-13 (2015), o seu peso não está próximo deste valor, pelo que se recorreu a materiais do próprio laboratório para atingir um peso bastante próximo do pretendido, como é verificado na Figura 2.14.



Figura 2.14 - Peso da escova utilizada na escovagem dos provetes

Segundo a norma, cada passagem com a escova teria que ocorrer por duas vezes em todas as superfícies do provete, começando pelo topo e base. Conhecendo as dimensões dos provetes, na superfície lateral seria necessária uma escovagem com 18 a 20 aplicações de modo a cobrir toda a superfície apenas uma vez, repetindo-se novamente o processo para que fosse aplicada duas vezes a escovagem. Um exemplo da escovagem de topo e base é demonstrado na Figura 2.15.



Figura 2.15 - Exemplo de escovagem no topo de um provete

No fim da escovagem, cada provete foi limpo ligeiramente de modo a soltar qualquer material que pudesse induzir a erros na pesagem, e é então pesado para que possa ser levado novamente para a câmara frigorífica completando um ciclo, sendo sujeito a um total de 12 ciclos. Todos os provetes são

colocados exatamente nas mesmas condições em que estiveram os primeiros sete dias. A conclusão do ensaio começa com o cálculo das variações de volume dos provetes do tipo 1 ao longo dos ciclos, assim como para as variações do teor em água.

Por fim, será realizada uma avaliação à perda de material dos provetes do tipo 2 sujeitos à escovagem, onde todos os resultados relacionados com este ensaio serão apresentados no capítulo 3.

2.4 Ensaio para a determinação da resistência à tração indireta para misturas tratadas com ligantes hidráulicos – EN 13286-42 (2003)

2.4.1 Introdução

Tendo em conta que foram construídos oito provetes para cada mistura e apenas dois de cada foram utilizados no ensaio de condicionamento do provete, através do processo de congelamento-descongelamento, para este ensaio foram utilizados os seis provetes restantes de cada mistura. Ao 14º dia de cura, três provetes de cada mistura foram colocados em imersão durante os 14 dias restantes de cura enquanto os restantes três realizaram os 28 dias de cura em câmara húmida. Como procedimentos preparatórios do ensaio, a todos os provetes foi registada a altura, o diâmetro e a massa, com o intuito de avaliar o seu volume e densidade, podendo estes registos serem consultados também no capítulo 3. A Figura 2.16 mostra um exemplo de um provete em imersão em água.



Figura 2.16 - Exemplo de um provete em imersão

2.4.2 Aplicação da norma

Como demonstram a Figura 2.17 e a Figura 2.18, o provete é assente longitudinalmente e de forma centrada numa tira de contraplacado, existindo outra no topo. Esta situação ocorre para que se possa promover algum amortecimento no contacto aço-provete, contribuindo para uma melhor distribuição da carga ao longo de toda a linha longitudinal do provete, evitando desta forma, potenciais pontos de concentração de carga e rompimentos prematuros do provete. Na Figura 2.17, o número 1 representa

o provete de ensaio enquanto o número 2 representa cada uma das tiras de contraplacado utilizadas no ensaio de tração indireta, e a letra F o ponto de carga.

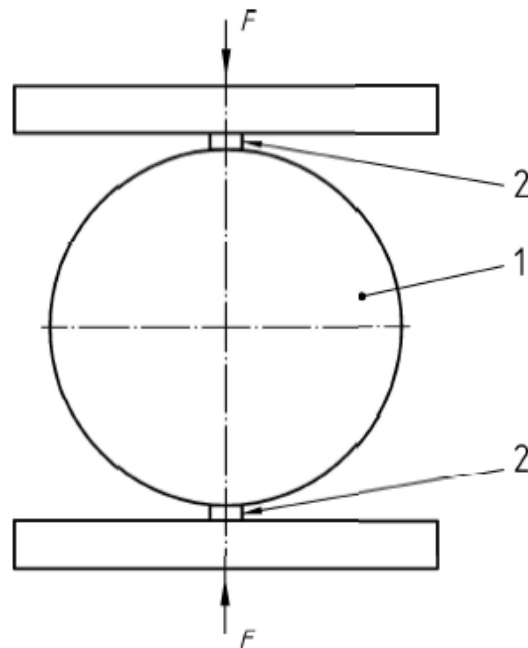


Figura 2.17 - Esquema de um provete sujeito ao ensaio de tração indireta adaptado de EN 13286-42:2003 (E)

É aplicada uma carga de compressão como demonstra a Figura 2.18 que, em simultâneo, regista a deformação do provete e a carga máxima que ocorre aquando da quebra do provete. É ainda possível verificar como foi o comportamento do provete ao longo deste ensaio por meio de um gráfico disponibilizado na própria prensa mecânica.

Após o ensaio a cada provete, é importante que se efetue a limpeza da base da prensa, para que pequenos fragmentos do provete anterior não afetem a posição e/ou a compressão do próximo provete.

A tensão de tração indireta R_{it} , expressa em MPa, é calculada com base na seguinte equação (2.2):

$$R_{it} = \frac{2F}{\pi HD} \quad (2.2)$$

Em que R_{it} representa a tensão de tração indireta em MPa, H a altura do provete em mm, D o diâmetro do provete em mm e F a carga máxima aplicada no provete expresso em N.

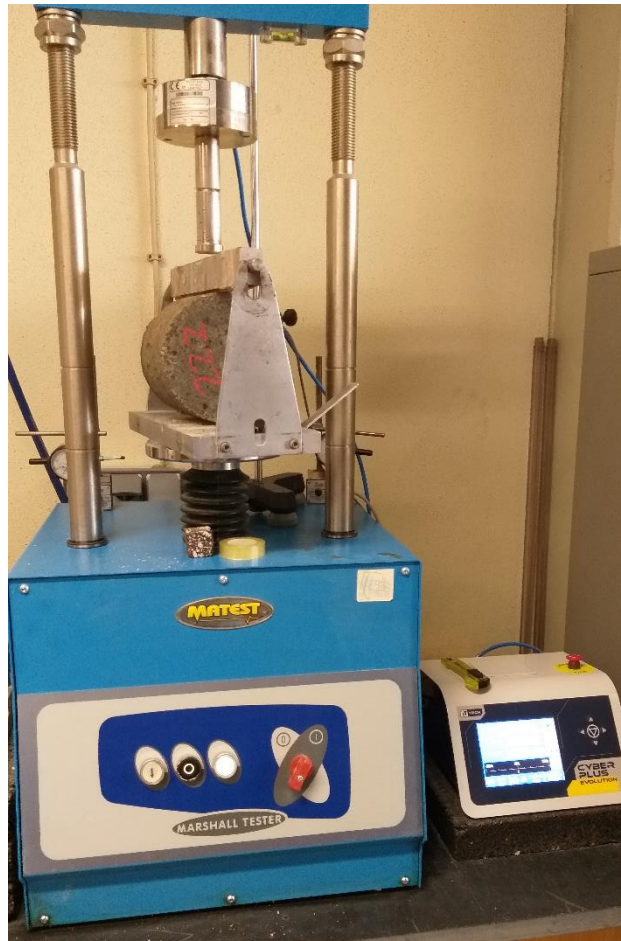


Figura 2.18 - Exemplo de aplicação de um ensaio de tração indireta

3 Apresentação e Análise de Resultados

3.1 Ensaio Gelo-Degelo

3.1.1 Volume e teor em água obtido para cada mistura

Os Quadros 3.1 a 3.6 correspondem cada um a um tipo de mistura em análise e contêm as características dos oito provetes usados para cada mistura, nomeadamente as massas, as alturas e as densidades (peso específico húmido). Importa referir que na produção se considerou uma tolerância de 1%, para o valor de teor em água ótimo, e de $\pm 48 \text{ Kg/m}^3$ para a densidade da mistura, como é referido na norma. No entanto, sendo este ensaio uma adaptação da norma AASHTO T 136-13 (2015), estas tolerâncias terão que ser levemente manobradas para permitir a viabilidade do estudo.

Com base no Quadro 3.1 é possível constatar que as produções dos provetes relativos à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra foram bem-sucedidas. Todos os provetes desta mistura apresentam uma altura aproximada de 13 cm e uma densidade bastante próxima da pretendida (2200 kg/m^3), ainda que fora do intervalo da tolerância máxima, não se tendo, no entanto, registado nenhum provete acima do valor pretendido.

Quadro 3.1 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra

Mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra				
Molde	Peso Total (g)	Peso Proвете (g)	Altura Proвете (mm)	Densidade (kg/m^3)
1	16131	5106	130,83	2144,57
2	16131	5110	130,74	2148,01
3	16151	5111	131,93	2141,98
4	16139	5107	132,10	2127,72
301	14281	5111	135,41	2167,58
302	14214	5124	138,35	2108,23
303	14196	5130	137,03	2091,65
304	13811	5122	135,08	2155,21

Relativamente à mistura do Quadro 3.2, os provetes possuem a altura pretendida e densidades dentro dos limites pretendidos, verificando-se um ligeiro aumento na densidade obtida com a introdução da FC, algo que não seria expectável de acordo com a literatura existente.

Quadro 3.2 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 2% de cimento com fibra

Mistura de RCD com 2% de cimento com fibra				
Molde	Peso Total (g)	Peso Proвете (g)	Altura Proвете (mm)	Densidade (kg/m^3)
1	16112	5087	128,66	2172,63
2	16136	5115	127,43	2205,96
3	16155	5115	128,81	2195,58
4	16159	5127	127,77	2208,44

301	14266	5096	131,69	2222,27
302	14222	5132	133,99	2180,19
303	14188	5122	133,94	2136,56
304	13815	5126	132,08	2205,88

Todos os valores obtidos relativamente à mistura do Quadro 3.3, cumprem os objetivos pretendidos, mas comparando os provetes desta mistura com os da mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra, regista-se uma densidade superior aproximadamente de 100 Kg/m³ para cada molde correspondente. Dado que foram cumpridos todos os procedimentos laboratoriais de acordo com a norma, e que a única variável entre as duas misturas é a percentagem de cimento introduzida, conclui-se que a variação na densidade é devido ao cimento.

Quadro 3.3 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra

Mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra de coco				
Molde	Peso Total (g)	Peso Provede (g)	Altura Provede (mm)	Densidade (kg/m ³)
1	16147	5122	127,85	2201,43
2	16135	5114	126,35	2224,38
3	16163	5123	127,59	2220,04
4	16159	5127	127,17	2218,86
301	14290	5120	131,39	2237,84
302	14215	5125	130,22	2240,24
303	14192	5126	130,49	2194,76
304	13816	5127	130,73	2229,10

Relativamente à mistura do Quadro 3.4, as alturas obtidas encontram-se bastante perto da pretendida e verifica-se ainda um decréscimo da densidade em quase todos os provetes. Estes resultados são mais encorajadores dado que vão ao encontro do que seria expectável com a introdução da FC.

Quadro 3.4 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de RCD com 3% de cimento com fibra

Mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco				
Molde	Peso Total (g)	Peso Provede (g)	Altura Provede (mm)	Densidade (kg/m ³)
1	16129	5104	127,15	2205,77
2	16130	5109	127,84	2196,31
3	16157	5117	128,65	2199,17
4	16141	5109	129,21	2176,16
301	14291	5121	131,62	2234,36
302	14210	5120	132,69	2196,40
303	14187	5121	132,70	2156,11
304	13814	5125	130,61	2230,27

Na mistura do Quadro 3.5, verifica-se uma média de alturas dos provetes ligeiramente mais elevada quando comparada com as restantes, mas por outro lado, os valores relativos à densidade são menores do que o pretendido, encontrando-se dentro dos limites admissíveis.

Quadro 3.5 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra

Mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco				
Molde	Peso Total (g)	Peso Provete (g)	Altura Provete (mm)	Densidade (kg/m ³)
1	16193	5168	129,17	2198,51
2	16202	5181	132,21	2153,64
3	16201	5161	132,84	2148,12
4	16201	5169	129,96	2189,01
301	14297	5127	134,82	2183,88
302	14218	5128	133,36	2188,78
303	14184	5118	132,92	2151,28
304	13815	5126	134,25	2170,23

A mistura do Quadro 3.6, cumpre também os valores pretendidos e revela ainda que a densidade obtida é superior em quase todos os provetes desta mistura, o que mais uma vez não seria o resultado expectável, de acordo com a literatura existente.

Quadro 3.6 - Resultados obtidos para os provetes relativos à mistura de calcário com 2% de cimento com fibra

Mistura de calcário com 2% de cimento com fibra de coco				
Molde	Peso Total (g)	Peso Provete (g)	Altura Provete (mm)	Densidade (kg/m ³)
1	16222	5197	129,39	2207,08
2	16198	5177	128,30	2217,56
3	16201	5161	126,54	2255,06
4	16176	5144	129,90	2179,43
301	14339	5169	133,65	2221,05
302	14287	5197	133,24	2220,23
303	14218	5152	134,29	2143,48
304	13854	5165	131,49	2232,64

Os valores do teor em água após a produção das misturas, obtidos através de pequenas amostras retiradas no início e no fim da compactação de cada mistura, encontram-se apresentados no Quadro 3.7, onde se compara com os valores pretendidos para o teor em água de acordo com estudos prévios realizados no âmbito do projeto ADVAMCE, apresentados no Anexo C. Dos valores obtidos, apenas a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra é que se encontra para além da tolerância máxima de 1% referente ao teor em água.

Quadro 3.7 - Resultados obtidos referentes ao teor em água para cada mistura após a sua produção

RCD 2% s/ fibra	RCD 2% c/ fibra	RCD 3% s/ fibra	RCD 3% c/ fibra	Calcário 2% s/ fibra	Calcário 2% c/ fibra
8,01	8,84	8,39	7,75	4,05	4,62

3.1.2 Análise do teor em água inicial e do volume inicial

Para o 1º ensaio realizado (gelo-degelo), os pontos de análise são as variações de volume e de humidade dos provetes do tipo 1. Estes serão analisados tanto para a situação de gelo como para a situação de degelo para cada uma das misturas anteriormente referidas. Para o cálculo de volume recorreu-se à média das alturas e diâmetros medidos (2 medições de diâmetro no topo e base; 4 medições de altura). O teor em água real foi obtido através da massa húmida registada após a desmoldagem e através da sua massa seca correspondente, obtida no final do ensaio. Apresenta-se no Quadro 3.8, os valores de volume obtidos para cada uma das misturas, assim como os valores do teor em água, referentes aos provetes do tipo 1. A variação dos teores em água do Quadro 3.7 para o Quadro 3.8 está possivelmente relacionada com a absorção da humidade do ar por parte dos finos dos provetes, que estiveram expostos 24h à temperatura ambiente, antes da sua desmoldagem.

Quadro 3.8 - Valores iniciais de volume e teor em água dos provetes do tipo 1

Mistura	Volume Inicial (cm ³)	Teor em água (%)
RCD 2% s/Fibra	2385,71	9,62
RCD 2% c/Fibra	2357,47	10,70
RCD 3% s/Fibra	2319,85	8,52
RCD 3% c/Fibra	2336,15	9,67
Calcário 2% s/Fibra	2353,00	5,69
Calcário 2% c/Fibra	2316,89	5,78

3.1.3 Análise do volume dos provetes

Neste subcapítulo encontram-se apresentados os valores do volume máximo e volume mínimo dos provetes do tipo 1, referentes à situação de gelo e à situação de degelo ao longo dos 12 ciclos a que estiveram sujeitos, encontrando-se também mencionado o ciclo a que foram registados estes mesmos valores, assim como a variação percentual entre os volumes de cada mistura.

No Quadro 3.9 e no Quadro 3.10 verifica-se que as maiores variações de volume ocorreram na situação de gelo, devido ao aumento do volume da água e que o volume máximo registado, ocorreu na 2ª metade dos 12 ciclos. Por outro lado, o volume mínimo na situação de gelo ocorreu nos ciclos iniciais onde o condicionamento no provete ainda é reduzido.

Quadro 3.9 - Variações de volume para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra

RCD 2% s/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2390.20 (Ciclo 12)		2386.51 (Ciclo 4)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	0,67	Volume mínimo degelo (cm ³)	0,44
2374.30 (Ciclo 3)		2376.02 (Ciclo 7)	

Quadro 3.10 - Variações de volume para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra

RCD 2% c/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2363.03 (Ciclo 6)		2360.86 (Ciclo 6)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	1,31	Volume mínimo degelo (cm ³)	0,57
2332.02 (Ciclo 2)		2347.44 (Ciclo 8)	

Os Quadros 3.11 e 3.12 dizem respeito às misturas de RCD com 3% de cimento, sem FC e com FC respetivamente, e nestas misturas surgem resultados inconclusivos entre as mesmas. Enquanto a primeira registou valores que vão ao encontro das misturas anteriores, a mistura com FC registou o oposto: a maior variação ocorre na situação de degelo e os valores correspondentes ao volume máximo e mínimo na mesma situação, superam os valores registados na situação de gelo.

Quadro 3.11 - Variações de volume para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra

RCD 3% s/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2317.38 (Ciclo 5)		2312.96 (Ciclo 5)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	0,64	Volume mínimo degelo (cm ³)	0,59
2302.51 (Ciclo 1)		2299.22 (Ciclo 2)	

Quadro 3.12 - Variações de volume para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra

RCD 3% c/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2345.27 (Ciclo 8)		2348.71 (Ciclo 7)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	0,61	Volume mínimo degelo (cm ³)	0,74
2331.04 (Ciclo 5)		2331.40 (Ciclo 11)	

As misturas referentes ao AN, apresentadas nos Quadros 3.13 e 3.14, revelam também valores superiores de variação de volume na situação de degelo, onde a variação de volume no degelo é quase o dobro da registada na situação de gelo. Na mistura com FC, regista-se o único caso onde o valor mínimo de volume na situação de gelo, ocorre num ciclo posterior onde foi registado o volume máximo.

Quadro 3.13 - Variações de volume para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra

Calcário 2% s/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2358.40 (Ciclo 6)		2362.02 (Ciclo 9)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	0,52	Volume mínimo degelo (cm ³)	0,74
2346.02 (Ciclo 2)		2344.59 (Ciclo 1)	

Quadro 3.14 - Variações de volume para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra

Calcário 2% c/Fibra			
Volume máximo gelo (cm ³)	Δ%	Volume máximo degelo (cm ³)	Δ%
2321.40 (Ciclo 6)		2340.10 (Ciclo 4)	
Volume mínimo gelo (cm ³)	0,69	Volume mínimo degelo (cm ³)	1,24
2305.44 (Ciclo 7)		2311.19 (Ciclo 6)	

3.1.4 Análise do teor em água dos provetes

Os Quadros 3.15 a 3.20 são destinados à avaliação do teor em água dos provetes de cada mistura aos longo dos 12 ciclos. Existe um aumento significativo do teor em água no provete, relativo à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra de coco, como apresenta o Quadro 3.15, tanto na situação de gelo como na situação de degelo.

Quadro 3.15 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra coco

RCD 2% s/Fibra - Gelo		RCD 2% s/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
9,62			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	9,56	1	9,82
2	9,80	2	9,99
3	9,91	3	10,16
4	10,15	4	10,40
5	10,18	5	10,53
6	10,40	6	10,70
7	10,64	7	10,86
8	10,38	8	10,88
9	10,51	9	10,97
10	11,06	10	11,21
11	11,17	11	11,32
12	11,16	12	11,20

A variação entre os teores em água da situação gelo e da situação de degelo, no mesmo ciclo, comprova que a câmara de cura húmida, criada e adotada pelos responsáveis da componente laboratorial, foi bem-sucedida, verificando-se este cenário ao longo dos Quadros referentes ao teor em água dos provetes do tipo 1.

O Quadro 3.16 é referente para a mesma situação da mistura anterior, mas agora incluindo a presença da FC, onde é possível verificar que o valor final do teor é praticamente igual ao valor inicial, tanto para a situação de gelo como a de degelo. Esta situação poderá ser justificada caso o provete tenha atingido o seu nível máximo de saturação, ou possivelmente devido à presença da FC.

Quadro 3.16 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra de coco

RCD 2% c/Fibra - Gelo		RCD 2% c/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
10,70			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	10,67	1	10,86
2	10,72	2	10,92
3	10,79	3	10,90
4	10,82	4	10,93
5	10,56	5	10,84
6	10,52	6	10,76
7	10,69	7	10,86
8	10,47	8	10,79
9	10,34	9	10,73
10	10,64	10	10,90
11	10,79	11	10,93
12	10,72	12	10,88

Para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra, apresentada no Quadro 3.17, importa referir que se verifica uma tendência de se obter um teor de humidade do provete mais baixo quando este não possui fibra. Não existiu ainda, uma variação significativa do teor em água desde a sua produção até ao fim do ensaio. Das 4 misturas que tinham por base o agregado RCD, esta mistura foi a que apresentava um teor de humidade inicial mais baixo, mas tal como esperado, esse valor não foi suficiente para influenciar o comportamento do provete ao longo dos 12 ciclos.

Quadro 3.17 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra de coco

RCD 3% s/Fibra - Gelo		RCD 3% s/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
8,52			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	8,47	1	8,62
2	8,57	2	8,74
3	8,59	3	8,73
4	8,67	4	8,76
5	8,46	5	8,66
6	8,46	6	8,66
7	8,66	7	8,73
8	8,45	8	8,70
9	8,58	9	8,75
10	8,75	10	8,89
11	8,78	11	8,87
12	8,79	12	8,94

Como é apresentado no Quadro 3.18, a presença da FC poderá ter contribuído para uma maior variação do teor em humidade da mistura, cenário que não foi registado na mistura com 2% de cimento. A variação do primeiro ao último ciclo não é significativa, mas o valor final obtido está próximo do valor final registado na mistura de RCD com 2% de cimento com FC.

Quadro 3.18 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco

RCD 3% c/Fibra - Gelo		RCD 3% c/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
9,67			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	9,78	1	9,97
2	9,64	2	9,95
3	9,94	3	10,05
4	9,82	4	10,15
5	10,05	5	10,19
6	10,12	6	10,24
7	9,80	7	10,18
8	10,02	8	10,29
9	10,24	9	10,42

10	10,33	10	10,52
11	10,37	11	10,53
12	10,43	12	10,63

Relativamente à mistura contendo o AN apresentada no Quadro 3.19, o valor do teor em humidade do 1º ciclo é mais baixo que o valor do último ciclo, mas esta diferença será considerada como desprezável pois os valores encontram-se bastante próximos. Uma possível justificação aos teores apresentados poderá estar relacionada com o nível de saturação do provete, em que este estará bastante próximo do nível máximo. Um valor que terá também que ser desprezado será o valor do teor de humidade no 2º ciclo na situação de gelo, pois o valor registado da massa do provete nesta situação não foi o correto, originando o valor errático apresentado.

Quadro 3.19 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

Calcário 2% s/Fibra - Gelo		Calcário 2% s/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
5,69			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	5,73	1	6,43
2	3,99	2	6,59
3	5,63	3	6,54
4	5,71	4	6,62
5	5,66	5	6,31
6	5,66	6	6,33
7	5,47	7	6,31
8	5,42	8	6,18
9	5,84	9	6,08
10	5,74	10	6,38
11	5,54	11	6,46
12	5,45	12	6,32

Para concluir a análise aos provetes do tipo 1, o Quadro 3.20, tal como na situação da mistura anterior, apresenta valores decrescentes do teor em humidade ao longo dos ciclos, desta vez mais significativos. Não se registou então, uma clara tendência que permita determinar influência da FC nos valores do teor em água, nas misturas produzidas.

Quadro 3.20 - Teores de água obtidos para a situação de gelo e degelo para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra de coco

Calcário 2% c/Fibra - Gelo		Calcário 2% c/Fibra - Degelo	
Teor em água inicial (%)			
5,78			
Ciclo	Teor (%)	Ciclo	Teor (%)
1	5,85	1	6,02
2	5,56	2	5,91
3	5,58	3	5,98
4	5,52	4	6,18
5	5,54	5	5,85
6	5,46	6	5,87
7	5,23	7	5,72
8	5,34	8	5,78
9	5,30	9	5,73
10	5,41	10	5,83
11	5,32	11	5,79
12	5,36	12	5,75

3.1.5 Análise da perda de material

Em relação à escovagem realizada nos provetes do tipo 2, é apresentada de seguida a evolução da massa ao longo dos 12 ciclos de cada provete para cada uma das misturas, onde também é efetuada uma comparação destes provetes com os provetes de controlo.

3.1.5.1 RCD com 2% de cimento sem fibra de coco

A mistura de RCD com 2% de cimento sem FC, apresenta uma perda de material relativamente constante ao longo dos ciclos, como se pode verificar na Figura 3.1. Esta situação seria expectável dado que a percentagem de cimento é de 2% e não contém FC, tornando a sua durabilidade mais enfraquecida que as restantes.

A Figura 3.2 mostra uma comparação entre dois provetes da mesma mistura sendo o da esquerda o provete de controlo e o provete da direita o que sofreu a escovagem. O desgaste do provete da escovagem ocorreu, principalmente, sobre uma das suas bases. Durante as escovagens, notou-se que a perda de material ocorria principalmente no cimento que ligava os agregados. Como consequência e com o decorrer dos ciclos, o provete foi perdendo o elemento capaz de manter a sua integridade estrutural, levando depois à perda do agregado, deixando novamente o cimento exposto, originando um efeito de “bola de neve”.

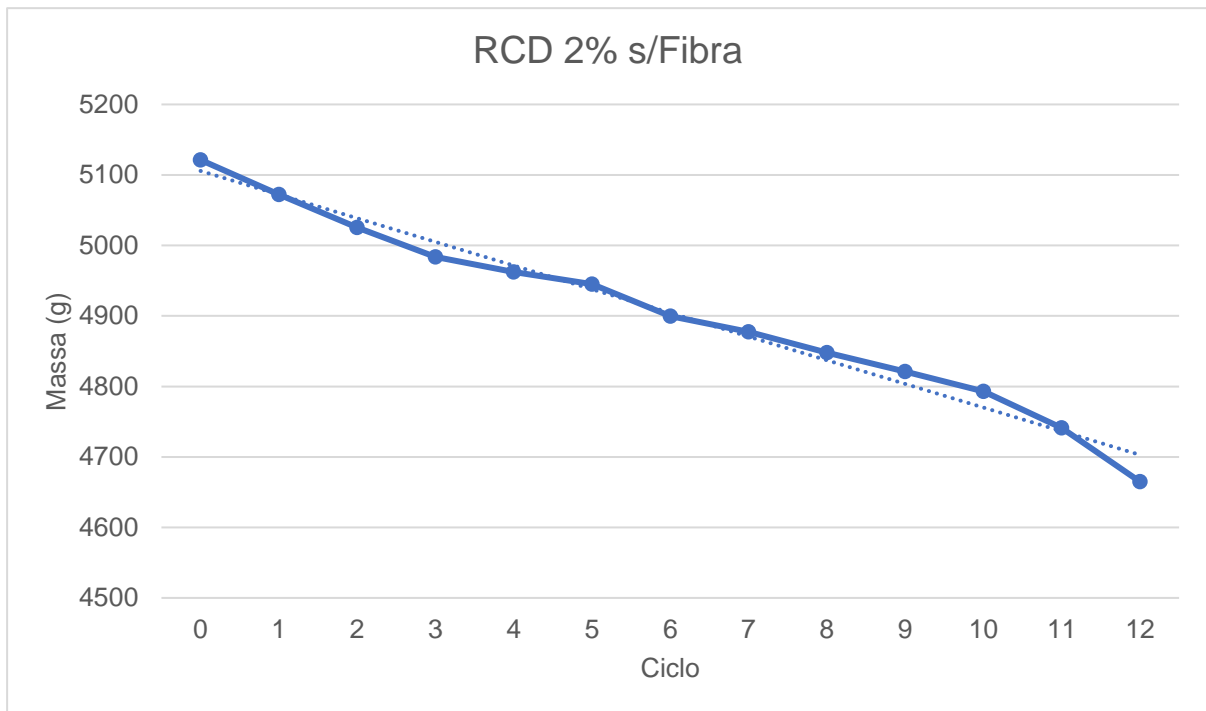


Figura 3.1 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra de coco



Figura 3.2 - Comparação entre o provete de controle (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 2% cimento sem fibra

3.1.5.2 RCD com 2% de cimento com fibra de coco

Para o mesmo tipo de mistura, mas contendo agora a FC, a perda mais acentuada registou-se ao longo dos primeiros três ciclos, e foi ao fim deste ciclo que a FC entrou no estado ativo, ou seja, permitiu que a estrutura global do provete fosse preservada realizando o efeito de ligante, que estaria a cabo do cimento. Verifica-se também na Figura 3.3, que a linha de tendência desta mistura encontra-se bastante mais na horizontal quando comparada com a mistura anterior.

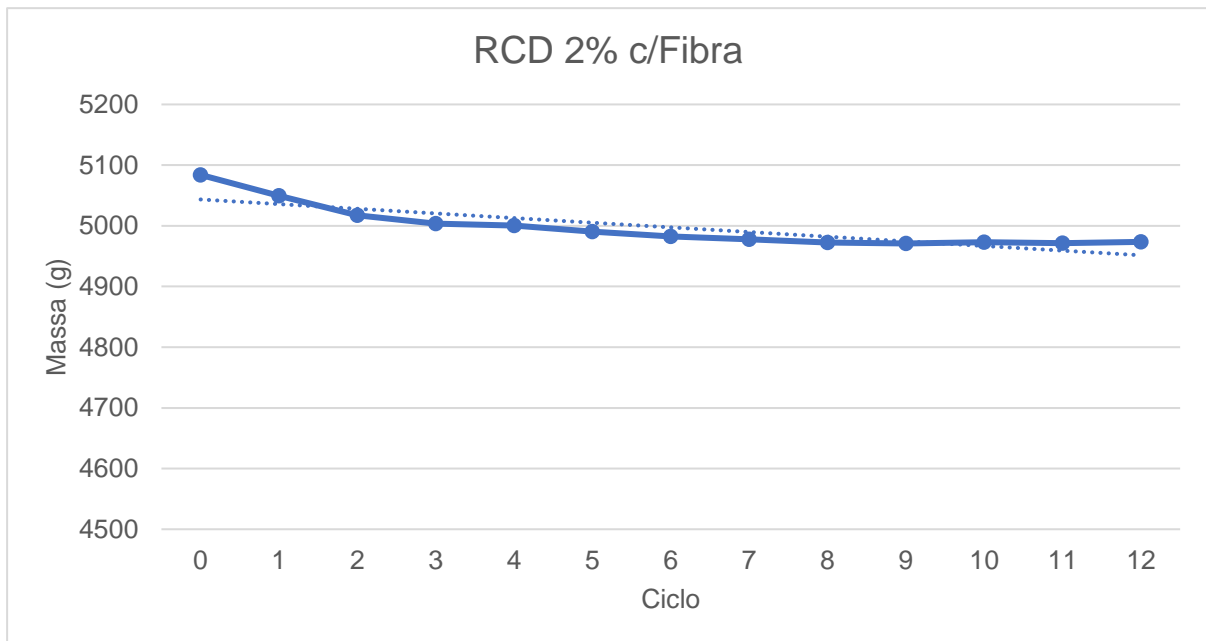


Figura 3.3 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 2% de cimento com fibra de coco

Na Figura 3.4 verifica-se uma perda do cimento nas extremidades do provete deixando o agregado completamente exposto, mas a presença da FC impediu uma maior perda de material, como a que foi registada na mistura anterior.



Figura 3.4 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 2% cimento com fibra

3.1.5.3 RCD com 3% de cimento sem fibra de coco

Relativamente à mistura de RCD com 3% de cimento sem FC, os resultados apresentados na Figura 3.5, são um pouco surpreendentes de certa maneira, pois apenas com o acréscimo de 1% de cimento na mistura, a durabilidade do provete é muito superior quando comparada com a mistura de RCD com 2% de cimento e sem FC. Retira-se que desta mistura, a presença da FC não é necessária pois a quantidade de cimento existente é capaz de compensar a falta deste reforço.

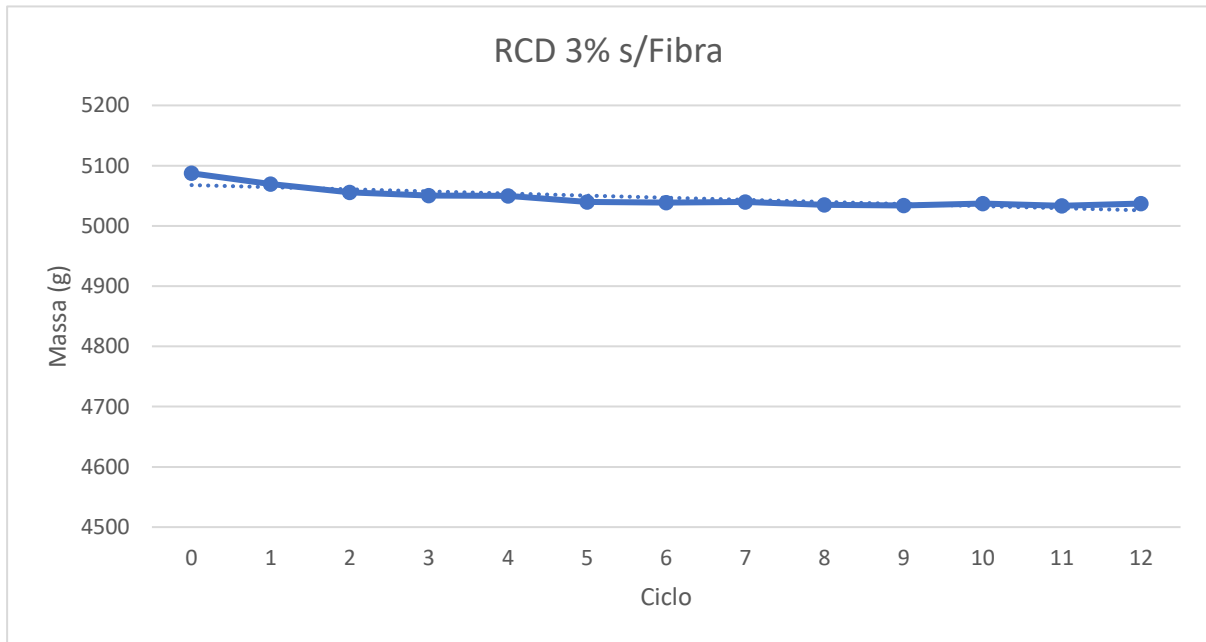


Figura 3.5 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra de coco

Tal como demonstra a Figura 3.6, regista-se apenas um pequeno desgaste superficial no provete da escovagem, mas quando comparado com o provete de controlo, este desgaste torna-se quase insignificante ao longo dos 12 ciclos a que esteve sujeito.



Figura 3.6 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 3% cimento sem fibra

3.1.5.4 RCD com 3% de cimento com fibra de coco

Na mistura de RCD com 3% de cimento com FC, a perda maior esteve concentrada logo no primeiro ciclo, tal como mostra a linha de tendência representada na Figura 3.7 que se encontra praticamente na horizontal. A perda de material que ocorreu poderá ser devido a uma pequena porção do provete que não tenha ficado devidamente compactada, que poderá ter originado um ponto fraco de tensões no provete, tendo-se perdido esta fração de material durante a 1º escovagem.

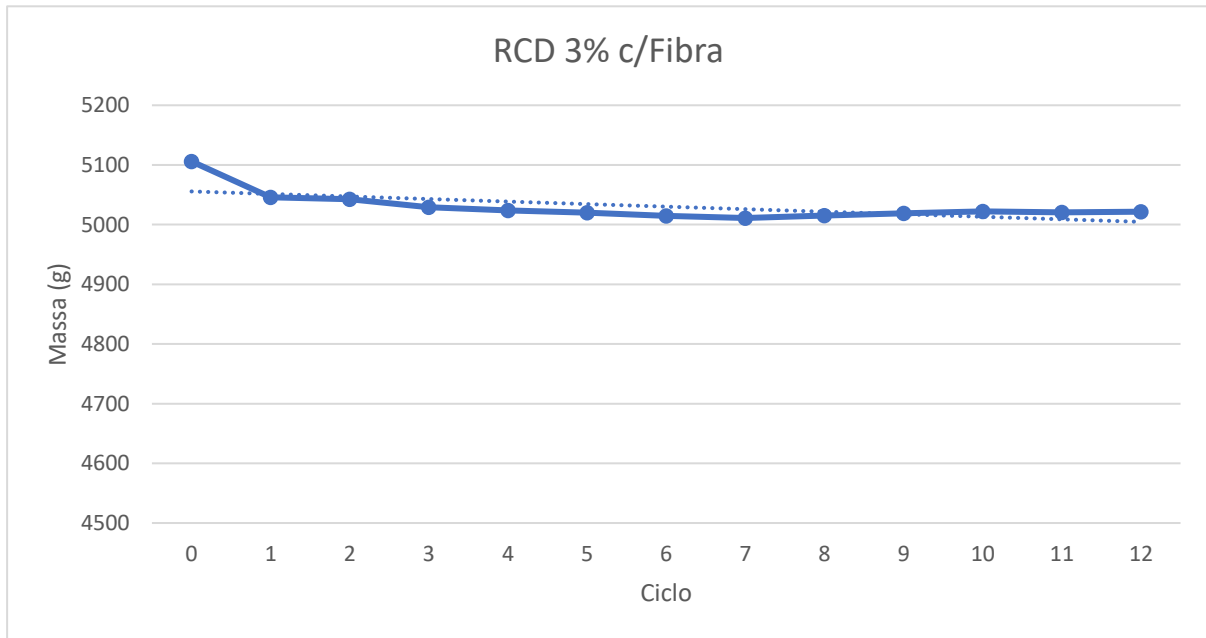


Figura 3.7 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco

Na Figura 3.8 é possível constatar que a diferença entre os dois provetes é bastante superficial. O provete à direita apresenta um ligeiro desgaste, mas não o suficiente ao ponto de comprometer a sua integridade estrutural.



Figura 3.8 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de RCD com 3% cimento com fibra

3.1.5.5 Calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

A análise do provete relativo à mistura de calcário com 2% de cimento sem FC, apresentado na Figura 3.9, terá que ser realizada separando as metades dos ciclos realizados, dado a ocorrência de um possível erro experimental na compactação do provete, em que a distribuição do agregado ao longo do mesmo não foi a mais adequada, levando à segregação do mesmo. Posto isto, verifica-se que durante os primeiros seis ciclos, a perda de material em cada ciclo foi bastante significativa, ao contrário do que se regista no provete a partir do 7º ciclo, onde este apresenta uma perda mais ligeira e uniforme, tornando a variação da massa bastante mais reduzida.

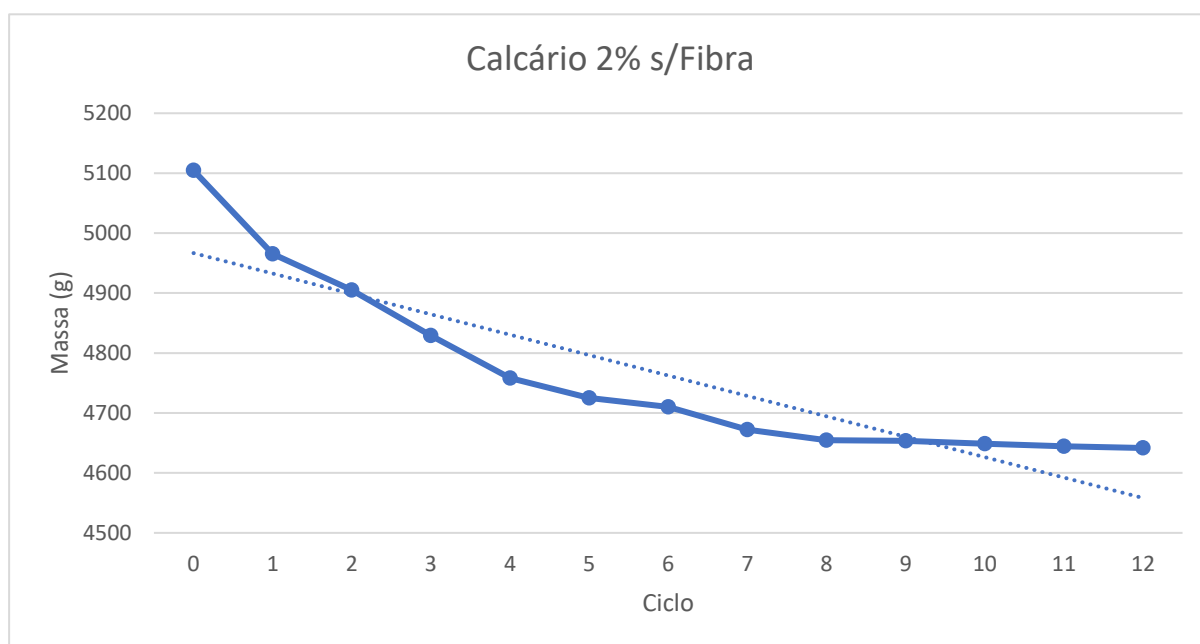


Figura 3.9 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

Uma das camadas de topo do provete, como está explícito na Figura 3.10, possuía demasiado agregado de uma dimensão mais elevada que a média das restantes, não contendo cimento necessário que garantisse uma boa ligação entre os materiais. Durante a escovagem, esta camada perdeu bastante agregado e só na segunda metade dos ciclos se alcançou, o que se pode dizer, um comportamento similar à maioria dos restantes provetes, com características homogéneas, onde a perda material é quase nula, mesmo sem a presença da FC.

Tendo em conta que a dimensão máxima do agregado é de 31,5 mm, uma inspeção visual ao provete da escovagem (direita) permite comprovar que os agregados expostos no topo do provete, estão perto destas dimensões, existindo uma clara diferença para os agregados localizados na base do provete.



Figura 3.10 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de calcário com 2% cimento sem fibra

3.1.5.6 Calcário com 2% de cimento com fibra de coco

Por fim, a mistura de calcário com 2% de cimento com FC, apresenta exatamente o mesmo comportamento que a mistura de RCD com 3% de cimento com FC. A maior perda ocorreu durante o primeiro ciclo, provavelmente devido à compactação ou, tal como a mistura anterior, a problemas de segregação do provete, mas no geral, a mistura apresenta boa durabilidade, como se comprova na Figura 3.11.

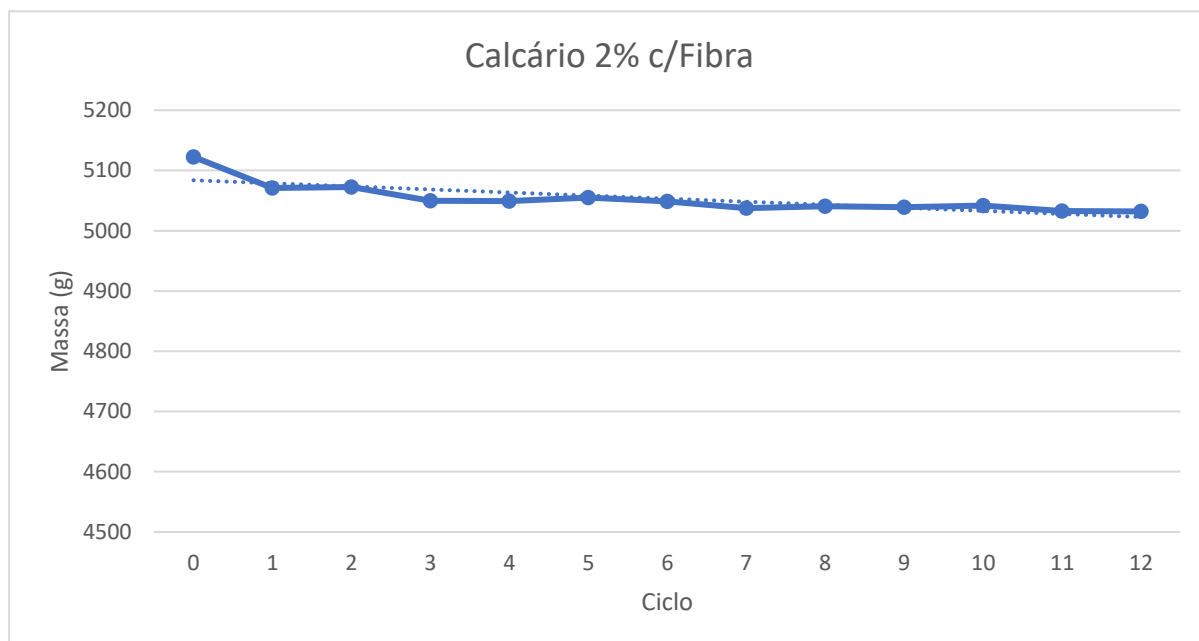


Figura 3.11 - Evolução da massa do provete correspondente à mistura de calcário com 2% de cimento com fibra de coco

Os provetes apresentados na Figura 3.12 não demonstram grandes diferenças entre si pois estas não se verificam. Ambos os provetes apresentam algum desgaste superficial, mais notório no provete da direita.



Figura 3.12 - Comparação entre o provete de controlo (esquerda) e o provete de escovagem (direita) para a mistura de calcário com 2% cimento com fibra

Ao longo das figuras que demonstram a evolução da massa dos provetes, por vezes registam-se pequenas subidas no valor da massa. Estas são justificadas por uma maior presença de água presente no provete, devido a uma humedificação superior que no ciclo anterior, ou devido ao desgaste que o provete foi sofrendo, criando possíveis canais de entrada de água até aos vazios que ficaram mais preenchidos quando comparados com os restantes ciclos.

3.2 Análise do ensaio de tração indireta

Tendo em conta a fórmula (2.2) enunciada no capítulo 2.4.2, determinou-se a tensão de tração indireta de cada provete, procedendo-se agora à apresentação dos resultados obtidos para cada uma das misturas produzidas, estando os boletins referentes a este ensaio apresentado no Anexo E.

3.2.1 RCD com 2% de cimento sem fibra de coco

No Quadro 3.21 é apresentado os valores referentes à mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra, onde se pode constatar que o primeiro ensaio realizado na prensa mecânica não foi bem-sucedido, ao ponto de não se ter qualquer registo da carga aplicada no provete, dado que os cabos que ligavam a prensa ao aparelho que regista os valores não se encontravam ligados.

Os valores obtidos relativamente à primeira mistura não permitem que se retire qualquer conclusão significativa, devido à discrepância de resultados obtidos. Os dois provetes húmidos ensaiados, apresentam uma considerável diferença na resistência à tração indireta entre si, e os provetes imersos obtiveram resultados que, mesmo que ainda mais próximos entre o conjunto, não possuem uma variação significativa para os provetes húmidos.

Quadro 3.21 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra

RCD 2% s/Fibra					
Provete		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	211	-	130,99	152,47	-
	214	16655	131,16	152,17	0,53
	217	10225	137,03	150,16	0,32
Imersão	213	16670	131,90	152,43	0,53
	215	13499	135,55	150,48	0,42
	218	13802	135,08	150,33	0,43

Na Figura 3.13 são apresentados os seis provetes quebrados em 2 metades, estando na fila da esquerda os provetes húmidos e na fila da direita os provetes que estiveram imersos. Visualmente não se verificam diferenças significativas entre os provetes húmidos e os provetes imersos, sendo mesmo a única diferença para esta mistura, a facilidade com que os provetes húmidos perderam material durante o seu manuseio.



Figura 3.13 - Estado dos provetes húmidos (esquerda) e imersos (direita) da mistura de RCD com 2% de cimento sem fibra

3.2.2 RCD com 2% de cimento com fibra de coco

Para a mesma mistura anterior, mas agora com a presença da FC, os valores apresentados no Quadro 3.22, são ligeiramente superiores quando comparados com a mistura anterior. Verifica-se também que os provetes que estiveram imersos 14 dias, apresentam menor resistência de tração, possivelmente devido ao elevado teor em água que apresentavam.

Quadro 3.22 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 2% de cimento com fibra

RCD 2% c/Fibra					
Provete		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	221	20951	104,65	152,30	0,84
	222	21392	127,86	152,52	0,70
	223	16978	132,09	150,21	0,54
Imersão	224	16437	135,10	149,98	0,52
	225	16429	133,31	150,18	0,52
	226	16169	133,88	150,46	0,51

Na Figura 3.14, verifica-se que os provetes não se separam por completo, registrando-se apenas o fendilhamento dos mesmos. As metades permanecem unidas devido à FC que se encontra tracionada, mantendo a integridade estrutural do provete.



Figura 3.14 - Estado dos provetes húmidos (fila inferior) e imersos (fila superior) da mistura de RCD com 2% de cimento com fibra

3.2.3 RCD com 3% de cimento sem fibra de coco

Tal como seria expectável, os valores da mistura RCD com 3% de cimento são superiores aos de 2% de cimento, ambos sem fibra, tal como é demonstrado no Quadro 3.23, tendo a situação húmida mais do dobro da resistência. Conclui-se aqui que o elemento com maior contribuição para a resistência à tração indireta é o cimento. Para esta mistura e comparando os valores de resistência dos provetes húmidos com os provetes imersos, a tendência mantém-se, onde os provetes húmidos possuem maior resistência.

Quadro 3.23 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra

RCD 3% s/Fibra					
Provete		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	227	30742	102,40	152,45	1,25
	228	32946	125,79	152,55	1,09
	229	31766	126,12	152,66	1,05
Imersão	231	23966	131,82	150,02	0,77
	232	21494	131,25	150,18	0,69
	234	23728	130,77	150,26	0,77

No decorrer dos ensaios de tração indireta, registou-se que os provetes destas misturas, tanto para a situação de provete húmido como a de provete imerso, o fendilhamento ocorreu de forma espontânea e agressiva. A maior parte dos provetes desta mistura acabou desfeito a pequenos blocos que não foram possíveis de serem montados, sendo a Figura 3.15 uma exceção. onde está apresentado um provete que não se desfez, mas apresenta uma fissura que mostra uma separação completa das suas metades.



Figura 3.15 - Estado de um provete húmido da mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra

3.2.4 RCD com 3% de cimento com fibra de coco

Com a introdução da FC para a mesma percentagem de cimento da mistura anterior, os valores máximos diminuíram, mas existe uma clara aproximação de valores quando se compara os provetes no estado húmido com os provetes no estado imerso, tal como é demonstrado no Quadro 3.24. A presença de água no interior do provete, não afetou de forma significativa a resistência dos provetes como se fez notar nas misturas anteriores.

Quadro 3.24 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de RCD com 3% de cimento com fibra

RCD 3% c/Fibra					
Provete		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	235	28411	126,72	152,48	0,94
	238	23511	126,73	152,77	0,77
	242	19227	131,97	150,46	0,62
Imersão	236	28320	128,69	152,45	0,92
	239	21622	131,69	150,12	0,70
	240	22819	133,90	150,09	0,72

Na Figura 3.16 está demonstrado que o que mantém as duas metades unidas é a FC, situação registada também em misturas anteriores, onde no pormenor apresentado, é possível verificar as fibras tracionadas em claro contraste à mistura anterior.



Figura 3.16 - Pormenor da fibra de coco a suportar a integridade estrutural da mistura de RCD com 3% de cimento com fibra de coco

3.2.5 Calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

Todos os ensaios realizados aos provetes da mistura de calcário com 2% de cimento sem FC, foram bem-sucedidos, no entanto, no primeiro ensaio surgiu um valor anormal quando comparado com os restantes, por razões desconhecidas, e por isso não será considerado na análise da resistência. Os restantes valores obtidos são ligeiramente menores que os das misturas de RCD e poderão estar relacionados com uma possível segregação dos provetes, dado que a dimensão do agregado era visivelmente superior.

Quadro 3.25 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra

Calcário 2% s/Fibra					
Proвете		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	245	9401	133,17	152,37	0,29
	249	21061	132,66	150,22	0,67
	250	16360	134,14	150,07	0,52
Imersão	246	20445	130,26	152,43	0,66
	247	16654	134,88	149,98	0,52
	248	17808	134,21	149,91	0,56

A Figura 3.17 mostra nitidamente o fendilhamento de um provete na mistura de calcário sem FC, onde os problemas de segregação não são tão evidentes como os que foram registados na mesma mistura sujeita ao ensaio de escovagem. Existe um fendilhamento transversal entre as 2 camadas de topo devido à impossibilidade de terem sido criadas saliência para uma melhor ligação entre as camadas. Mais uma vez, a falta da fibra permitiu a rotura estrutural significativa do provete.



Figura 3.17 - Estado de uma provete relativo à mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

3.2.6 Calcário com 2% de cimento com fibra de coco

Por fim, a presença da fibra nas misturas de calcário não trouxe qualquer contribuição positiva no que diz respeito à resistência na tração indireta, tendo-se registado valores ainda mais baixos na situação imersa, estando os mesmos apresentados no Quadro 3.26.

Quadro 3.26 - Valores de carga obtidos no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento com fibra

Calcário 2% c/Fibra					
Provete		F (N)	H (mm)	D (mm)	R _{it} (MPa)
Húmido	251	15277	129,00	152,45	0,49
	252	18891	129,16	152,22	0,61
	255	16792	133,88	149,95	0,53
Imersão	256	15372	133,18	149,98	0,49
	257	13386	133,75	150,46	0,42
	258	14708	136,83	150,26	0,46

A Figura 3.18 apresenta um pormenor do fendilhamento do provete correspondente a esta mistura, mas devido à presença da FC, o próprio fendilhamento não é significativo ao ponto de comprometer a integridade estrutural do provete.

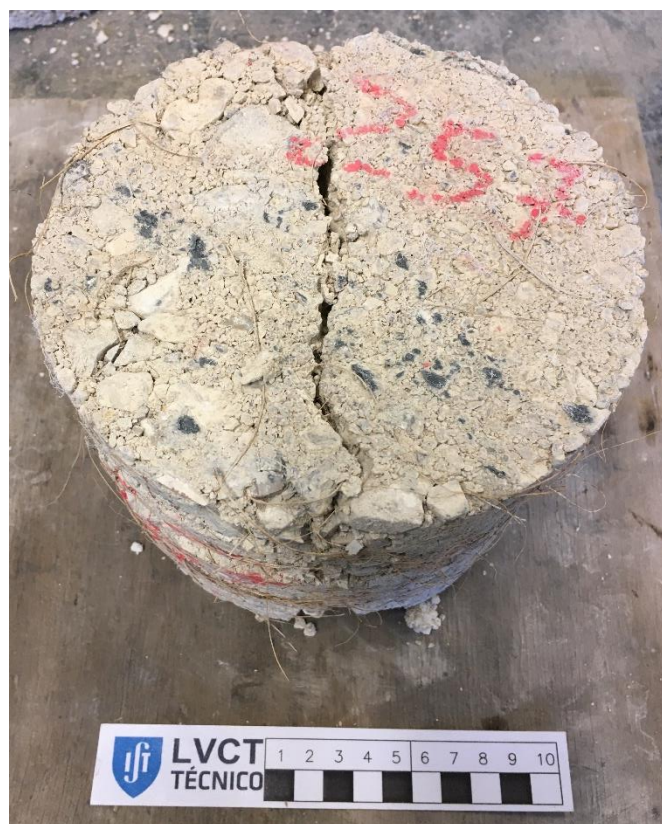


Figura 3.18 - Estado de um provete após aplicação da carga no ensaio de tração indireta para a mistura de calcário com 2% de cimento sem fibra de coco

3.3 Síntese e principais inferências

Dos resultados que foram registados ao longo desta dissertação relativamente ao volume, especificamente na situação sem a presença da fibra de coco, seria expectável que na situação de gelo, este fosse superior ao volume no degelo para todos os provetes de qualquer mistura, pois a água aumenta de volume no estado sólido. No entanto, só se verificou em algumas situações das primeiras três misturas. Com o agravamento da condição do provete, seria expectável um aumento de volume, não necessariamente a ritmo constante após cada ciclo, dado que a humidade presente no interior de cada vazão do provete oscilaria, mas de forma que pudesse obrigar este a dilatar, aumentando a variação de volume entre o valor máximo e o valor mínimo, ciclo após ciclo.

Com a introdução da fibra de coco, seria aceitável que a variação do volume fosse superior devido à capacidade de absorção de humidade da própria fibra, onde um provete que contivesse menos fibra, teria uma menor variação de volume, quando comparado com um provete que contivesse mais FC. Por outro lado, a presença da fibra de coco poderia impedir, de certa forma, a dilatação do provete, caso esta estivesse tracionada, levando a registos de volumes não tão elevados, como na situação previamente descrita.

Relativamente aos ciclos em que os volumes máximos e mínimos foram atingidos, seria de esperar que o volume máximo ocorresse no último ciclo, ou pelo menos nos ciclos finais, enquanto o volume mínimo ocorresse no início do ensaio, tanto para a situação de gelo como de degelo, tendo em conta o que foi dito anteriormente.

Uma justificação aos valores de volume registados, será que estes foram condicionados pelas medidas efetuadas na superfície do provete, que foi condicionado ao longo de 12 ciclos. Se um dos pontos de medição possuísse alguma irregularidade, seja um pequeno orifício, ou uma pequena porção de material que não se encontrava neste ponto no ciclo anterior, iria influenciar de certa forma, o valor do diâmetro registado e/ou da altura medida. Isto serve para sublinhar que a variação de volume, estando sujeita às variabilidades assinaladas, não teve uma evolução como seria expectável, mas também não disruptiva.

Relativamente ao teor em água, não existem dados claros que possam ser retirados dos ensaios efetuados, pois não foi realizado em ambiente fechado, ou seja, durante o manuseamento dos provetes, existiu libertação de água, e esta não ocorreu ao mesmo ritmo ao longo de todos os ciclos, nem de forma uniforme entre os provetes, pois caso alguma medição, seja porque motivo fosse, demorasse mais do que o normal, a libertação de água do provete iria ser maior, levando a um teor em água mais baixo no ciclo. Mesmo com a introdução da FC, e sabendo da capacidade de absorção que esta possui, não se verificou um decréscimo ou um aumento comum às três misturas com fibra de coco. O que se verificou foi um teor constante na mistura de RCD com 2% de cimento, um aumento na mistura de RCD com 3% de cimento e um decréscimo na mistura de calcário.

Hipóteses que possam justificar estes comportamentos registados, poderão surgir de uma compactação menos conseguida, ou de uma concentração anormal de fibras no provete de controlo,

que poderá, por exemplo, ter gerado uma maior absorção de humidade, no caso de possuir fibras a mais, ou de não ter sido devidamente humedecida no momento da junção dos materiais. Para que conclusões pudessem ser retiradas, teriam que ter sido efetuados registos a pelo menos três ou quatro provetes de controlo, com o intuito de apenas avaliar o teor em água, mas, relembra-se que estes ensaios são uma adaptação de uma norma americana de solo-cimento.

Sobre os ensaios relativos à escovagem dos provetes, como é demonstrado na Figura 3.19, os provetes de misturas sem fibras com 2% de cimento, são os que apresentam a maior perda de material, ambas superiores a 9% da massa inicial. No entanto, com a introdução da FC, a perda de material tem uma queda bastante acentuada, para valores inferiores a 3%. O mesmo não se verifica quando se tem uma mistura com 3% de cimento, em que a maior perda de material ocorre na mistura com FC, que é de exatamente 3% da massa inicial, enquanto na mistura de RCD com 3% de cimento sem fibra a perda de material é inferior a 2%, o que pode mostrar que o efeito das fibras é mais importante para menor percentagem de cimento, o que se pode considerar expectável atendendo a que maior quantidade de cimento implica maior consistência à escovagem.

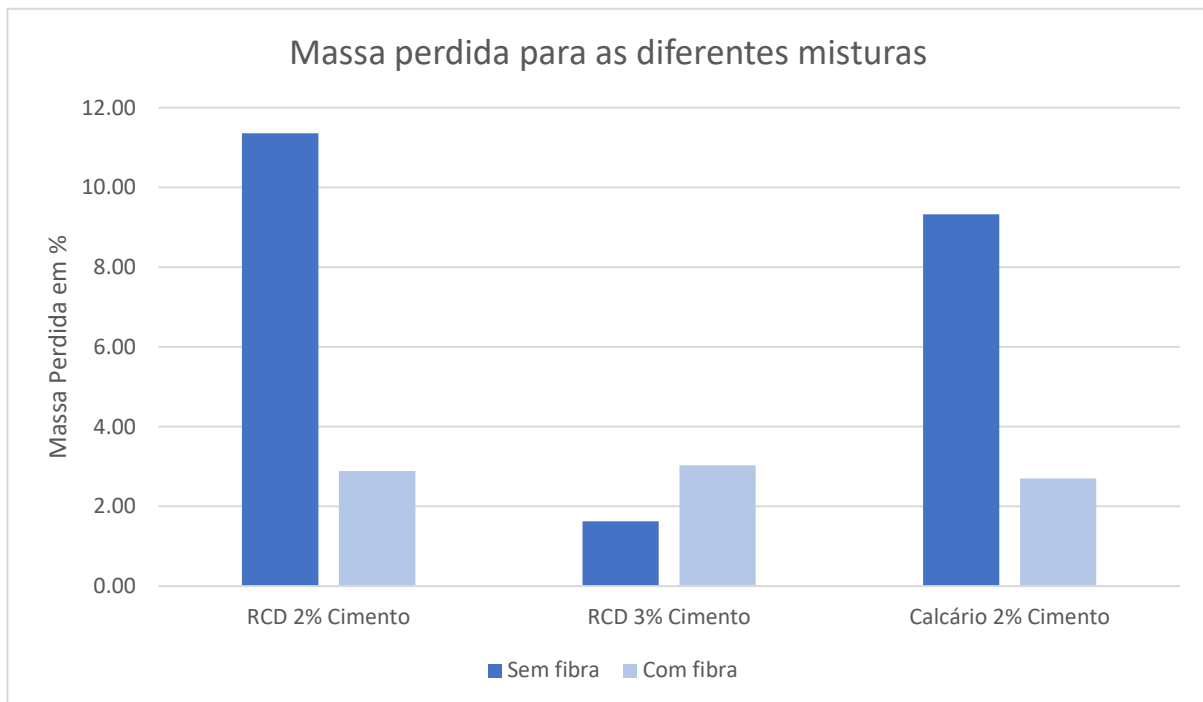


Figura 3.19 - Comparação em percentagem da massa perdida para as diferentes misturas produzidas

Nas Figuras 3.20, 3.21 e 3.22, é feita uma comparação das tensões médias de tração indireta obtidas, onde se observa maioritariamente que os provetes que estiveram os 28 dias em câmara de cura húmida, apresentam valores de resistência superiores relativamente aos provetes que estiveram 14 dias, tanto em câmara húmida como em imersão. No entanto, não é um desfecho verificado em todas as misturas produzidas, existindo ainda uma variação nos valores obtidos devido à FC.

Analisando agora de forma mais detalhada cada figura, nomeadamente a Figura 3.20, existiu um aumento de 33% na resistência à tração indireta nos provetes húmidos de RCD com 2% de cimento quando se introduziu a FC. Um aumento de 10% na resistência também foi verificado com a introdução

da FC nos provetes que estiveram 14 dias imersos. Dado que esta mistura de RCD é a que apresenta menor valor percentual de cimento, os valores obtidos vão de certa forma ao encontro da literatura, onde uma mistura com FC apresentará melhor resistência no ensaio de tração indireta. Por outro lado, este aumento de resistência não é tão significativo quando o provete esteve em imersão, possivelmente devido à presença de água que afetou de forma negativa a cura do provete.

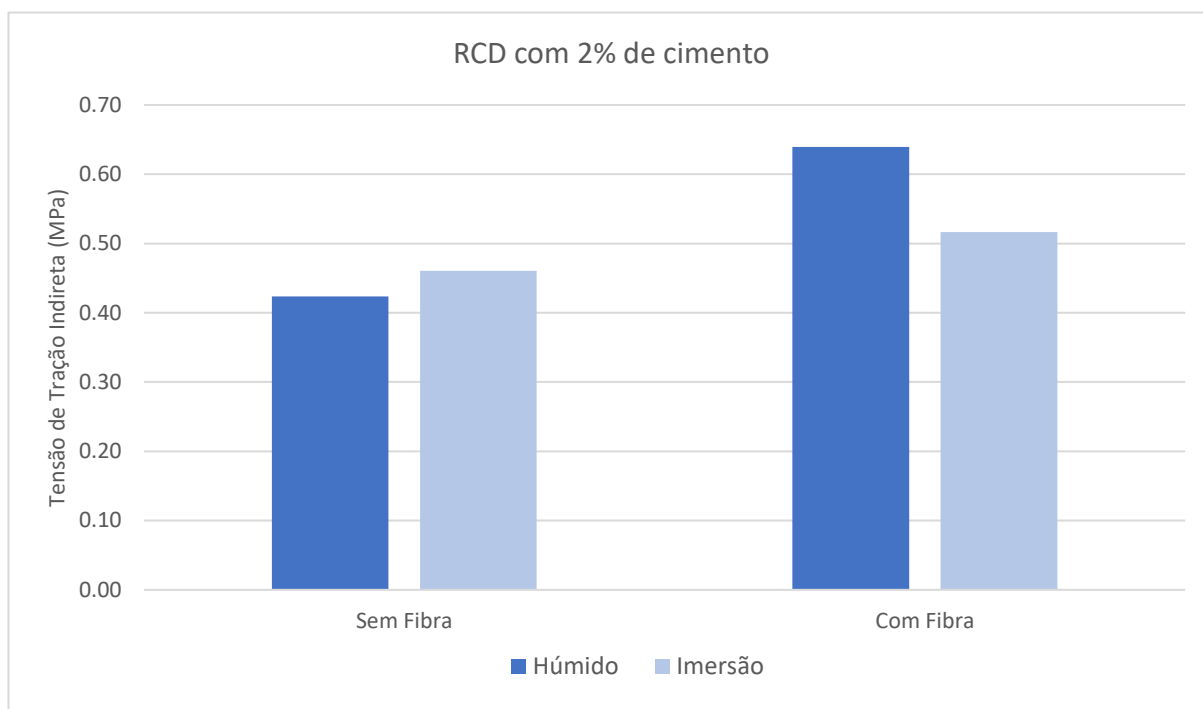


Figura 3.20 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de RCD com 2% de cimento

Os aumentos de resistência registados na mistura de RCD com 2% de cimento, não se verificam nas restantes misturas com a introdução da fibra. Na realidade, na Figura 3.21, os valores registados são consideravelmente inferiores, onde se registou um decréscimo na resistência à tensão de tração indireta em 29% nas misturas de RCD com 3% de cimento nos provetes húmidos, enquanto nos provetes em imersão foi registada exatamente a mesma média de resistência. Estes factos demonstram que a FC favorece a resistência para menores quantidades de cimento (2% versus 3%).

Na Figura 3.22, relativa à mistura de AN com 2% de cimento, os provetes de cura húmida apresentam um decréscimo pouco acentuado com a introdução da FC, mas o mesmo não acontece nos provetes em imersão, onde é registado uma queda na tensão de resistência de 21%. Os provetes com FC apresentam valores de resistência, ainda que inferiores, bastante próximos dos valores obtidos para os provetes correspondentes ao RCD com 2% de cimento com FC, sendo um ponto positivo de comparação na substituição total do AN por RCD.

Pode-se afirmar com segurança, que a fibra de coco possui um comportamento de reforço claro, não só na integridade estrutural do provete após o seu fendilhamento, retardando o aumento dos mesmos, mas também na sua durabilidade, onde permite que o desgaste ocorra apenas de forma superficial,

apresentando um ótimo potencial de investigação nestes temas. Isto acontece, como assinalado, mais para provetes frágeis, de menor consistência com menor quantidade de cimento.

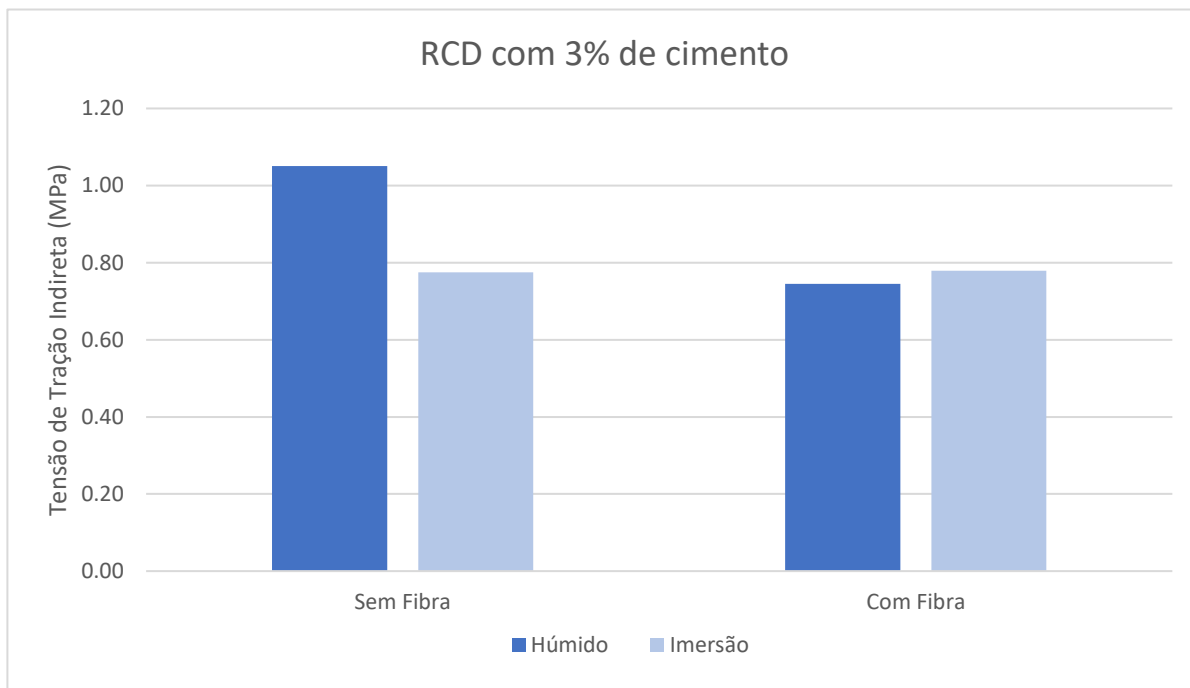


Figura 3.21 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de RCD com 3% de cimento

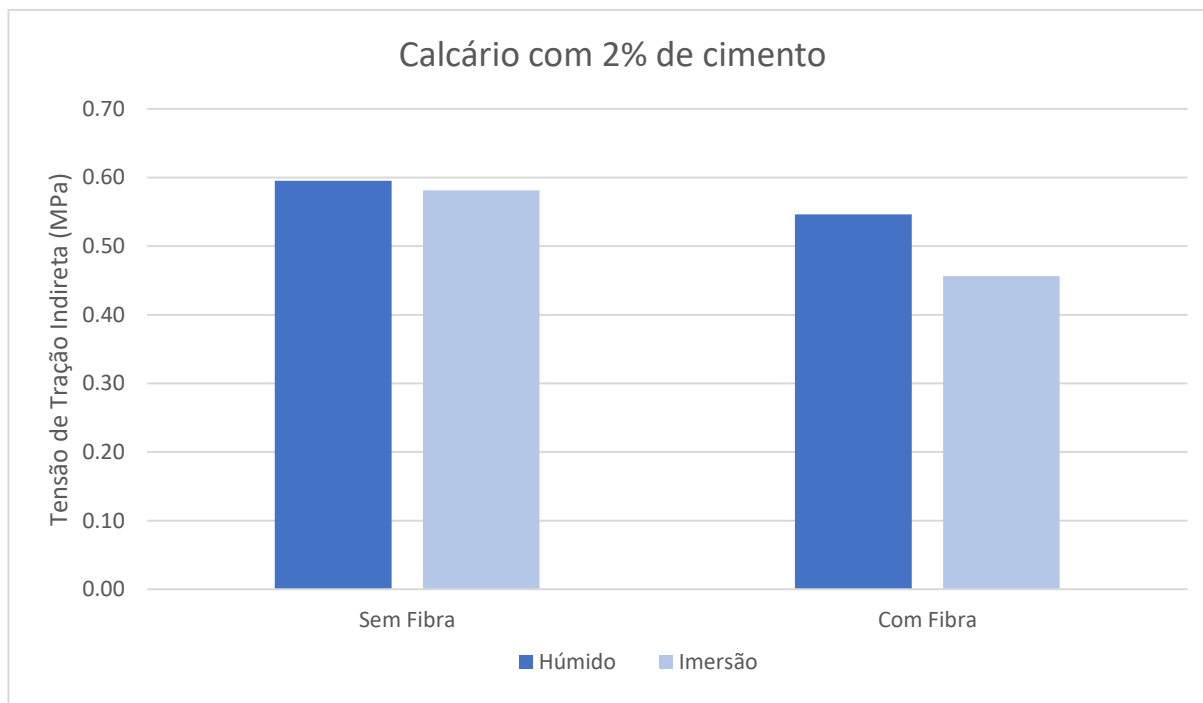


Figura 3.22 - Comparação das tensões de tração indireta obtidas com e sem fibra para provetes húmidos e imersos da mistura de calcário com 2% de cimento

4 Conclusão e trabalhos futuros

Esta dissertação procura avaliar que efeitos poderiam surgir da substituição total do AN por agregado reciclado, nomeadamente no que diz respeito ao comportamento mecânico, e que possíveis contribuições poderia oferecer a FC introduzida como reforço nas misturas produzidas. Ora, realizando uma relação entre a quantidade e tipo de material utilizado, tendo em conta os critérios de sustentabilidade e comportamento mecânico, e olhando também para o aspeto financeiro de criar uma camada granular de pavimento recorrendo às misturas elaboradas, a que apresentou resultados mais promissores será a mistura de RCD com 2% de cimento com FC. Não se fez uma comparação de custos, não tendo sido esse o objetivo e também porque a FC foi especialmente fornecida para o trabalho, pelo que a determinação do custo a granel (tal como para o cimento) para utilizações do tipo das tratadas não foi possível. No entanto, pode-se afirmar que a redução de 1% na quantidade de cimento corresponde a sensivelmente mais de 10% de custo do que a utilização da FC em Portugal, tendo em conta a avaliação de custo que foi possível fazer. Evidentemente, esta parte teria de ser confirmada perante a obra em concreto. Quando comparada com a mistura de AN com a presença de fibra de coco, o RCD apresentou valores aproximadamente similares de perda de material, sem o risco de segregação que se verificou na mistura de comparação.

No entanto, as misturas de RCD estudadas em laboratório não serão totalmente representativas das situações em obra, não só pela dimensão do agregado usado (máximo de 31,5 mm em laboratório) mas porque poderão existir outros materiais no interior do RCD em quantidades que não se verificaram nos ensaios, mas importa referir que a utilização de agregado reciclado em substituição total do agregado natural não comprometeu o comportamento mecânico dos provetes.

A presença da FC nos provetes provou contribuir consideravelmente para uma melhor integridade estrutural, que por sua vez, preveniu que a perda de material fosse superior à registada nos ensaios de gelo e degelo com escovagem. A presença da FC contribuiu também para que o desgaste ocorresse apenas de uma forma superficial.

Relativamente aos ensaios de tração indireta, a presença da FC não impediu um claro fendilhamento dos provetes como seria de esperar. No entanto, permitiu que estes se mantivessem unidos e consistentes quando comparados com os provetes sem FC. De um ponto de vista rodoviário, caso esta solução fosse aplicada numa camada de pavimento de baixo a médio tráfego, a presença da fibra poderá contribuir para uma melhor integridade estrutural da camada, retardando potencialmente uma abertura de dimensão incomportável para o fendilhamento.

Com a presença de FC numa camada de agregado estabilizada com cimento, esperava-se verificar uma melhor distribuição da carga aplicada, originando um comportamento mecânico melhorado e uma resposta mais adequada aos mecanismos de degradação, descritos na literatura existente. No entanto, os valores obtidos não permitem verificar na totalidade a veracidade deste conceito. O uso de maiores quantidades de cimento nas misturas mostrou ser essencial para o aumento da resistência à tração indireta.

Num futuro próximo e no âmbito do referido projeto de investigação ADVAMCE, realizar-se-ão estudos sobre trechos experimentais com os materiais aqui apresentados, permitindo uma melhor caracterização dos comportamentos e uma melhor definição sobre o potencial da utilização da FC em materiais reciclados para camadas de sub-base e base de pavimentos rodoviários e no sentido de melhorar o seu comportamento a custos controlados, contribuindo para uma economia mais baseada na reutilização de subprodutos, em geral depositados sem aproveitamento.

5 Referências Bibliográficas

AASHTO (2015). "Freezing-and-Thawing Tests of Compacted Soil-Cement Mixtures". Test Procedure T 136-13, American Association of State Highway and Transportation Officials, EUA.

Ali, M., Liu, A., Sou, H., and Chouw, N., 2012. Mechanical and dynamic properties of coconut fiber reinforced concrete. *Construction and Building Materials*, 30, 814–825.

Ali, M., Li, X., and Chouw, N., 2013. Experimental investigations on bond strength between coconut fiber and concrete. *Materials and Design*, 44, 596–605.

Ali, M., 2014. Seismic performance of coconut-fibre-reinforced-concrete columns with different reinforcement configurations of coconut-fiber ropes. *Construction and Building Materials*, 70, 226–230.

Bogas, J. A., De Brito, J., and Ramos, D. (2016). "Freeze-thaw resistance of concrete produced with fine recycled concrete aggregates." *Journal of Cleaner Production*, Elsevier Ltd, 115, 294–306.

Bravo, M., De Brito, J., Pontes, J., and Evangelista, L. (2015). "Durability performance of concrete with recycled aggregates from construction and demolition waste plants." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 77, 357–369.

Chai, L., Monismith, C. L., and Harvey, J. (2009). Re-cementation of Crushed Material in Pavement Bases. Technical Memorandum: UCPRC-TM-2009-04, California.

Chen, J. and Chouw, N., 2016b. Nonlinear flexural behavior of flax FRP double tube confined coconut fiber reinforced concrete. *Materials and Design*, 93, 247–254.

Crucho, J., Picado-Santos, L., and Neves, J. (2021). "Assessment of a Cement Bound Granular Mixture Using Recycled Concrete Aggregate and Coconut Fiber". *Proceedings of Airfield and Highway Pavements Conference 2021*, pp. 246-257. Edited by Ozer, H., Rushing, J., e Leng, Z. ASCE.

Dittenber, D. B., and Gangarao, H. V. S. (2012). "Critical review of recent publications on use of natural composites in infrastructure." *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Elsevier Ltd, 43(8), 1419–1429.

EN 933-1 (2012). "Tests for geometrical properties of aggregates - Part 1: Determination of particle size distribution - Sieving method". EN933-1:2012, CEN.

EN 933-3 (2012). "Tests for geometrical properties of aggregates - Part 3: Determination of particle shape - Flakiness index". EN 933-3:2012, CEN.

EN 933-4 (2008). "Tests for geometrical properties of aggregates - Part 4: Determination of particle shape - Shape index". EN 933-4:2008, CEN.

EN 933-8 (2015). "Tests for geometrical properties of aggregates - Part 8: Assessment of fines - Sand equivalent test". EN933-8:2012+A1:2015, CEN.

EN 933-9 (2009). "Tests for geometrical properties of aggregates - Part 9: Assessment of fines - Methylene blue test". EN 933-9:2009, CEN.

EN 1097-2 (2020). "Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 2: Methods for the determination of resistance to fragmentation". EN 1097-2:2020, CEN.

EN 1097-6 (2013). "Tests for mechanical and physical properties of aggregates - Part 6: Determination of particle density and water absorption". EN 1097-6:2013, CEN.

EN 13286-42 (2003). "Unbound and hydraulically bound mixtures - Part 42: Test method for the determination of the indirect tensile strength of hydraulically bound mixtures". EN 13286-42:2003 (E), CEN.

Gonzalez-Burón, J., and Nogués, A. (2019). "Study of granular base course with incorporation of recycled concrete aggregates - Argentinas' experience." PIARC - 26th World Road Congress, 6-10 October of 2019, Abu Dhabi, United Arab Emirates.

Hwang, C.L., Tran, V.A., Hong, J.W., and Hsieh, Y.C., 2016. Effects of short coconut fiber on the mechanical properties, plastic cracking behavior, and impact resistance of cementitious composites. *Construction and Building Materials*, 127, 984–992.

Khan, M., and Ali, M. (2018). "Effect of superplasticizer on the properties of medium strength concrete prepared with coconut fiber." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 182, 703–715.

Leite, F. D. C., Motta, R. D. S., Vasconcelos, K. L., and Bernucci, L. (2011). "Laboratory evaluation of recycled construction and demolition waste for pavements." *Construction and Building Materials*, 25(6), 2972–2979.

Martinho, F.C.G., Picado-Santos, L.G., and Capitão, S.D., 2018. Feasibility assessment of the use of recycled aggregates for asphalt mixtures. *Sustainability (Switzerland)*, 10 (1737), 23.

Martinho, F.C.G., Picado-Santos, L.G., and Capitão, S.D., 2020. Assessment of warm-mix asphalt concrete containing sub-products as part of aggregate blend. *International Journal of Pavement Engineering*, 21 (10), 1213–1222.

Munawar, S. S., Umemura, K., and Kawai, S. (2007). "Characterization of the morphological, physical, and mechanical properties of seven nonwood plant fiber bundles." *Journal of Wood Science*, 53(2), 108–113.

Prakash Chandar, S., Gunasekaran, K., Prasanth, K., and Senthil Kumar, G. (2018). "An experimental investigation and durability property on recycled concrete with partial replacement to fine aggregate in coconut shell concrete." *Rasayan Journal of Chemistry*, 11(2), 702–708.

Ramli, M., Kwan, W. H., and Abas, N. F. (2013). "Strength and durability of coconut-fiber-reinforced concrete in aggressive environments." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 38, 554–566.

- Sadati, S., and Khayat, K. H. (2016). "Field performance of concrete pavement incorporating recycled concrete aggregate." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 126, 691–700.
- Sathiparan, N., Rupasinghe, M. N., and H.M. Pavithra, B. (2017). "Performance of coconut coir reinforced hydraulic cement mortar for surface plastering application." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 142, 23–30.
- SANS 3001 GR55 (2012). "Civil engineering test methods Part GR55: Determination of wet-dry durability of compacted and cured specimens of cementitiously stabilized materials by hand brushing". The South African Bureau of Standards.
- Sekar, A., and Kandasamy, G. (2018). "Optimization of coconut fiber in coconut shell concrete and its mechanical and bond properties." *Materials*, 11(9), 14.
- Tavakoli, D., Hashempour, M., and Heidari, A. (2018). "Use of waste materials in concrete: A review." *Pertanika Journal of Science and Technology*, 26(2).
- Wang, W., and Chouw, N. (2017a). "Behaviour of CFRC beams strengthened by FFRP laminates under static and impact loadings." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 155, 956–964.
- Wang, W., and Chouw, N. (2017b). "The behavior of coconut fiber reinforced concrete (CFRC) under impact loading." *Construction and Building Materials*, Elsevier Ltd, 134, 452–461.
- Wang, W., and Chouw, N. (2018). "Flexural behavior of FFRP wrapped CFRC beams under static and impact loadings." *International Journal of Impact Engineering*, Elsevier Ltd, 111, 46–54.

Anexos

Anexo A – Quantidades a utilizar em cada mistura

RCD c/ 2% cimento s/fibra			Unidades
Massa de mistura total:	45375		g
Água (em % mistura seca)	8.5%	3555	g
Cimento (em % massa agregados)	2%	820	g
fibras (em % sólidos):	0.0%	0	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg

RCD c/ 2% cimento c/ 0.1% fibras			Unidades
Massa de mistura total:	45417		g
Água (em % mistura seca)	8.5%	3555	g
Cimento (em % massa agregados)	2%	820	g
fibras (em % sólidos):	0.1%	42	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg


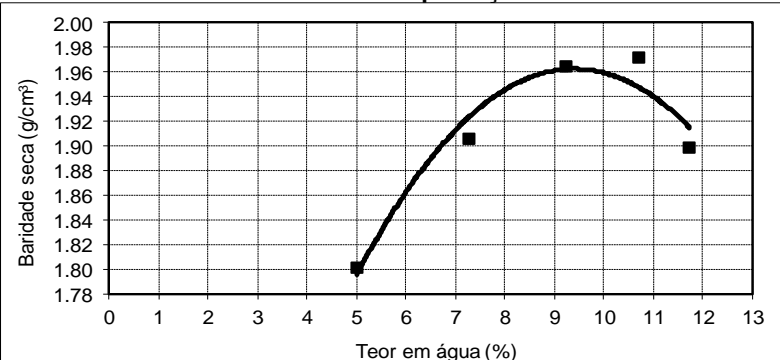
RCD c/ 3% cimento s/ fibra			Unidades
Massa de mistura total:	45830		g
Água (em % mistura seca)	8.5%	3600	g
Cimento (em % massa agregados)	3%	1230	g
fibras (em % sólidos):	0.0%	0	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg

RCD c/ 3% cimento c/ 0.1% fibras			Unidades
Massa de mistura total:	46073		g
Água (em % mistura seca)	9.0%	3801	g
Cimento (em % massa agregados)	3%	1230	g
fibras (em % sólidos):	0.1%	42	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg

Calcário c/ 2% cimento s/ fibra			Unidades
Massa de mistura total:	43326		g
Água (em % mistura seca)	3.6%	1506	g
Cimento (em % massa agregados)	2%	820	g
fibras (em % sólidos):	0.0%	0	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg

Calcário c/ 2% cimento c/ 0.1% fibras			Unidades
Massa de mistura total:	43367		g
Água (em % mistura seca)	3.6%	1506	g
Cimento (em % massa agregados)	2%	820	g
fibras (em % sólidos):	0.1%	42	g
Agregados	-	41000	g
Massa por provete:	5.122		kg

Anexo B – Boletim do Teor em Água Ótimo e Baridade Ótima - RCD

	Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes	Página 1 de 1				
BOLETIM DE ENSAIO N.º 100/20						
SOLOS - Ensaio de compactação LNEC E 197 - 1966						
Cliente Nome: Projeto ADVAMCE Morada: Contacto:	Amostra Identificação: RCD BEJA Data de recepção: 12/12/2019 Descrição: RCD Ambigroup Dez.19 Data de ensaio: 13/11/2020					
Tipo de molde: Grande Método de compactação: EN 13286-51 (kango)	Número de camadas: 3 Tempo de compactação por camada: 60 segundos					
Número do provete	1	2	3	4	5	6
Massa do molde vazio (p_1)	g	10717.7	10718.1	10717.6	10717.4	10718
Volume do provete (V)	cm ³	2652.7	2629.9	2536.8	2453.3	2621.6
Massa do molde e do provete húmido (p)	g	15735.0	16095.4	16161.8	16073.3	16280
Massa do provete húmido ($p_2 = p - p_1$)	g	5017.3	5377.3	5444.2	5355.9	5562
Baridade húmida ($\gamma_h = p_2/V$)	(100) g/cm ³	189	2.04	2.15	2.18	2.12
Teor em água						
Número do recipiente	1	2	3	4	5	6
Massa do recipiente (m_1)	g	726.3	269.5	727.1	727.6	265.7
Massa de recipiente + solo húmido (m_2)	g	6019.1	5640.1	6149.5	6068.4	5785.6
Massa de recipiente + solo seco (m_3)	g	5767.0	5276.4	5691.7	5552.2	5205.4
Teor em água ($(m_2 - m_3)/(m_3 - m_1) \times 100$)	(10) %	5.0	7.3	9.2	10.7	11.7
Baridade seca						
Baridade seca ($\gamma_s = 100 \times \gamma_d / (100 + w)$)	(100) g/cm ³	180	191	196	197	190
Curva de compactação				Resultados		
				<p style="text-align: center;">Baridade seca máxima (100) g/cm³</p> <p style="text-align: center;">1,96</p> <p style="text-align: center;">Teor em água óptimo (10) %</p> <p style="text-align: center;">9,2</p>		
Observações:						
Execução Rui Garcia			Validação Luís Picado Santos			
Data: _____			Direto r do LVCT Data: _____			
O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal						

Anexo C – Boletim do Teor em Água Ótimo e Baridade Ótima – Calcário



Página 1 de 1

Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos
Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes

BOLETIM DE ENSAIO N.º 098/20

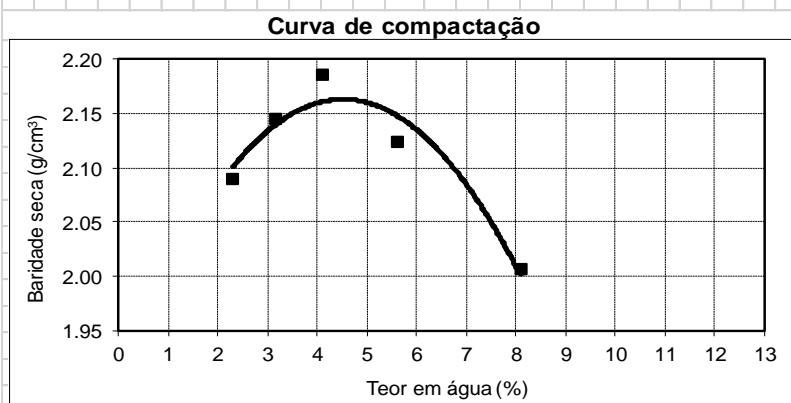
SOLOS - Ensaio de compactação LNEC E 197 - 1966

Ciente		Amostra	
Nome:	Projeto ADVAMCE	Identificação:	CAL_SECIL
Morada:		Data de recepção:	
Contacto:		Descrição:	Tout-venant calcário
		Data de ensaio:	13/11/2020
Tipo de molde:	Grande	Número de camadas:	3
Método de compactação:	EN 13286-51 (kango)	Tempo de compactação por camada:	60 segundos

Número do provete		1	2	3	4	5	6
Massa do molde vazio (p_1)	g	10722.8	10722.8	10722.8	10722.8	10723	
Volume do provete (V)	cm ³	2242.9	2137.1	2173.1	2244.7	2173.4	
Massa do molde e do provete húmido (p)	g	15519.5	15587.2	15597.3	15591.3	15533	
Massa do provete húmido ($p_s = p_2 - p_1$)	g	4796.7	4864.4	4874.5	4868.5	4810.6	
Baridade húmida ($\gamma_h = p_s/V$)	(100) g/cm ³	2.14	2.28	2.24	2.17	2.21	

Teor em água							
Número do recipiente		1	2	3	4	5	6
Massa do recipiente (m_1)	g	728	269.3	267.4	727.3	727.1	
Massa de recipiente + solo húmido (m_2)	g	5520.2	5111.2	5096.4	5578.2	4782.8	
Massa de recipiente + solo seco (m_3)	g	5412.2	4919.4	4839.7	5215.2	4657.9	
Teor em água ($(m_2 - m_3)/(m_3 - m_1) \times 100$)	(10) %	2.3	4.1	5.6	8.1	3.2	

Baridade seca							
Baridade seca ($\gamma_s = 100 \times \gamma_h / (100 + w)$)	(100) g/cm ³	2.09	2.19	2.12	2.01	2.15	



Resultados	
Baridade seca máxima (100) g/cm ³	2,19
Teor em água óptimo (10) %	4,1

Observações:

Execução
Rui Garcia

Validação
Luís Picado Santos


Data:

Data:

Diretor do LVCT

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra
 Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

Anexo E – Boletins do ensaio de Tração-Indireta para as diferentes misturas

Página 1 de 1																																				
	TÉCNICO LISBOA Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos Laboratório de Vias de Comunicação e Transportes																																			
BOLETIM DE ENSAIO N.º 026/21																																				
Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta para misturas tratadas com ligantes hidráulicos NP EN 13286-42:2011																																				
Ciente																																				
Nome:	Projeto ADVAMCE																																			
Morada:																																				
Contacto:																																				
Provetes																																				
Identificação:	RCD, 2 % cimento 42,5																																			
Data de Fabrico:	23/03/2021																																			
Descrição:	provetes com 28 dias de cura																																			
Forma do Provette:	Cilíndrica																																			
Tipo de Provette:	Moldado																																			
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)																																			
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Provette</th> <th>Núm.</th> <th>211</th> <th>214</th> <th>217</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Massa</td> <td>g</td> <td>5085.40</td> <td>5094.50</td> <td>5117.60</td> </tr> <tr> <td>Altura</td> <td>mm</td> <td>130.99</td> <td>131.16</td> <td>137.03</td> </tr> <tr> <td>Diâmetro</td> <td>mm</td> <td>152.47</td> <td>152.17</td> <td>150.16</td> </tr> <tr> <td>Densidade geométrica</td> <td>Kg/m³</td> <td>2126.25</td> <td>2135.98</td> <td>2108.95</td> </tr> <tr> <td>Carga máxima</td> <td>KN</td> <td></td> <td>16.66</td> <td>10.23</td> </tr> <tr> <td>Resistência à Tração Indirecta</td> <td>MPa</td> <td></td> <td>0.53</td> <td>0.32</td> </tr> </tbody> </table>		Provette	Núm.	211	214	217	Massa	g	5085.40	5094.50	5117.60	Altura	mm	130.99	131.16	137.03	Diâmetro	mm	152.47	152.17	150.16	Densidade geométrica	Kg/m ³	2126.25	2135.98	2108.95	Carga máxima	KN		16.66	10.23	Resistência à Tração Indirecta	MPa		0.53	0.32
Provette	Núm.	211	214	217																																
Massa	g	5085.40	5094.50	5117.60																																
Altura	mm	130.99	131.16	137.03																																
Diâmetro	mm	152.47	152.17	150.16																																
Densidade geométrica	Kg/m ³	2126.25	2135.98	2108.95																																
Carga máxima	KN		16.66	10.23																																
Resistência à Tração Indirecta	MPa		0.53	0.32																																
Observações:																																				
Execução	Validação																																			
Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia	Luis Picado Santos																																			
Diretor do LVCT																																				
Data	20/04/2021																																			
Data																																				
O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal																																				

BOLETIM DE ENSAIO N.º 027/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	RCD, 2 % cimento 42,5	Tipo de cura:	Câmara humida + imersão
Data de Fabrico:	23/03/2021	Data de ensaio:	20/04/2021
Descrição:	prov. c/ 14 dias de cura + 14 imersão	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	213	215	218	
Massa	g	5163.90	5212.20	5234.00	
Altura	mm	131.90	135.55	135.08	
Diâmetro	mm	152.43	150.48	150.33	
Densidade geométrica (hum)	Kg/m ³	2145.44	2162.17	2183.04	
Carga máxima	KN	16.67	13.50	13.80	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.53	0.42	0.43	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data

20/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 028/21

Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
para misturas tratadas com ligantes hidráulicos

NP EN 13286-42:2011

Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	RCD, 2 % cimento 42,5 c fibras	Tipo de cura:	Câmara humida
Data de Fabrico:	24/03/2021	Data de ensaio:	21/04/2021
Descrição:	prov. c/ 28 dias de cura	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	221	222	223	
Massa	g	5092.80	5105.10	5108.60	
Altura	mm	129.65	127.86	132.09	
Diâmetro	mm	152.30	152.52	150.16	
Densidade geométrica (hum)	Kg/m ³	2156.24	2185.46	2183.99	
Carga máxima	KN	20.95	21.39	16.98	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.68	0.70	0.54	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data

21/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 029/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	RCD, 2 % cimento 42,5 com fibras	Tipo de cura:	Câmara húmida + imersão
Data de Fabrico:	24/03/2021	Data de ensaio:	21/04/2021
Descrição:	prov. c 14 dias de cura + 14 imersão	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	224	225	226	
Massa	g	5214.40	5212.50	5222.80	
Altura	mm	135.10	133.30	133.88	
Dímetro	mm	149.98	150.18	150.47	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2184.78	2207.59	2193.91	
Carga máxima	KN	16.44	16.43	16.17	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.52	0.52	0.51	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 21/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 030/21

Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
para misturas tratadas com ligantes hidráulicos

NP EN 13286-42:2011

Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação: RCD, 3 % cimento 42,5

Tipo de cura: Câmara humida

Data de Fabrico: 25/03/2021

Data de ensaio: 22/04/2021

Descrição: provetes com 28 dias de cura

Idade: 28 dias

Forma do Provede: Cilíndrica

Tipo de Provede: Moldado

Compactação: Martelo vib. (EN 13286-51)

Provede	Núm.	227	228	229	
Massa	g	5084.90	5070.40	5096.10	
Altura	mm	127.40	125.79	126.12	
Dímetro	mm	152.45	152.55	152.66	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2186.59	2205.37	2207.57	
Carga máxima	KN	30.74	32.95	31.77	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	1.01	1.09	1.05	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 22/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 031/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	RCD, 3 % cimento 42,5	Tipo de cura:	Câmara húmida + imersão
Data de Fabrico:	25/03/2021	Data de ensaio:	22/04/2021
Descrição:	prov. c/ 14 dias de cura + 14 imersão	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	231	232	234	
Massa	g	5162.00	5167.00	5182.90	
Altura	mm	131.82	131.25	130.77	
Dímetro	mm	150.02	150.18	150.26	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2215.38	2222.41	2235.05	
Carga máxima	KN	23.97	21.49	23.73	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.77	0.69	0.77	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data

22/04/2021

Data

Diretor do LVCT

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 032/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação: RCD, 3 % cimento 42,5 com fibras

Tipo de cura: Câmara humida

Data de Fabrico: 29/03/2021

Data de ensaio: 26/04/2021

Descrição: provetes com 28 dias de cura

Idade: 28 dias

Forma do Provede: Cilíndrica

Tipo de Provede: Moldado

Compactação: Martelo vib. (EN 13286-51)

Provede	Núm.	235	238	242	
Massa	g	5087.10	5086.10	5097.30	
Altura	mm	126.72	126.73	131.97	
Dímetro	mm	152.49	152.77	150.46	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2198.13	2189.47	2172.37	
Carga máxima	KN	28.41	23.51	19.23	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.94	0.77	0.62	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 26/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 033/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	RCD, 3 % cimento 42,5 com fibras	Tipo de cura:	Câmara humida + imersão
Data de Fabrico:	29/03/2021	Data de ensaio:	26/04/2021
Descrição:	prov. c/ 14 dias de cura + 14 imersão	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	236	239	240	
Massa	g	5151.80	5184.30	5201.70	
Altura	mm	128.69	131.69	133.90	
Dímetro	mm	152.45	150.12	150.09	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2193.16	2224.18	2195.69	
Carga máxima	KN	28.32	21.62	22.82	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.92	0.70	0.72	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data

26/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 034/21

Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
para misturas tratadas com ligantes hidráulicos

NP EN 13286-42:2011

Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação: Calcário, 2 % cimento 42,5

Tipo de cura: Câmara humida

Data de Fabrico: 30/03/2021

Data de ensaio: 27/04/2021

Descrição: provetes com 28 dias de cura

Idade: 28 dias

Forma do Provede: Cilíndrica

Tipo de Provede: Moldado

Compactação: Martelo vib. (EN 13286-51)

Provede	Núm.	245	249	250	
Massa	g	5075.00	5160.10	5171.20	
Altura	mm	133.17	132.66	134.14	
Dímetro	mm	152.37	150.22	150.07	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2089.97	2194.69	2179.49	
Carga máxima	KN	9.40	21.06	16.36	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.29	0.67	0.52	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 27/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 035/21
**Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
 Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
 para misturas tratadas com ligantes hidráulicos**
NP EN 13286-42:2011
Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação:	Calcário, 2 % cimento 42,5	Tipo de cura:	Câmara húmida + imersão
Data de Fabrico:	30/03/2021	Data de ensaio:	27/04/2021
Descrição:	prov. c/ 14 dias de cura + 14 imersão	Idade:	28 dias
Forma do Provette:	Cilíndrica		
Tipo de Provette:	Moldado		
Compactação:	Martelo vib. (EN 13286-51)		

Provette	Núm.	246	247	248	
Massa	g	5247.90	5160.10	5171.20	
Altura	mm	130.26	134.88	134.21	
Dímetro	mm	152.43	149.98	149.91	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2207.72	2165.48	2183.01	
Carga máxima	KN	20.45	16.65	17.81	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.66	0.52	0.56	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 27/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 036/21

Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
para misturas tratadas com ligantes hidráulicos

NP EN 13286-42:2011

Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação: Calcário, 2 % cimento 42,5 com fibras

Tipo de cura: Câmara humida

Data de Fabrico: 31/03/2021

Data de ensaio: 28/04/2021

Descrição: provetes com 28 dias de cura

Idade: 28 dias

Forma do Provede: Cilíndrica

Tipo de Provede: Moldado

Compactação: Martelo vib. (EN 13286-51)

Provede	Núm.	251	252	255	
Massa	g	5129.30	5101.80	5138.80	
Altura	mm	129.00	129.16	133.88	
Dímetro	mm	152.45	152.22	149.95	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2178.33	2170.51	2173.52	
Carga máxima	KN	15.28	18.89	16.79	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.49	0.61	0.53	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 28/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

BOLETIM DE ENSAIO N.º 037/21

Misturas não ligadas e misturas tratadas com ligantes hidráulicos
Método de ensaio para a determinação da resistência à tracção indirecta
para misturas tratadas com ligantes hidráulicos

NP EN 13286-42:2011

Cliente

Nome: Projeto ADVAMCE

Morada:

Contacto:

Provetes

Identificação: Calcário, 2 % cimento 42,5 com fibras

Tipo de cura: Câmara húmida + imersão

Data de Fabrico: 31/03/2021

Data de ensaio: 28/04/2021

Descrição: prov. c/ 14 dias de cura + 14 imersão

Idade: 28 dias

Forma do Provette: Cilíndrica

Tipo de Provette: Moldado

Compactação: Martelo vib. (EN 13286-51)

Provette	Núm.	256	257	258	
Massa	g	5271.40	5248.60	5247.00	
Altura	mm	133.18	133.75	136.83	
Díâmetro	mm	149.98	150.46	150.26	
Densidade geométrica	Kg/m ³	2240.42	2207.08	2162.48	
Carga máxima	KN	15.37	13.39	14.71	
Resistência à Tracção Indirecta	MPa	0.49	0.42	0.46	

Observações:

Execução

Miguel Marques, João Crucho, Rui Garcia

Validação

Luis Picado Santos

Data 28/04/2021

Diretor do LVCT

Data

O presente relatório de ensaio diz respeito exclusivamente aos itens ensaiados e só pode ser reproduzido na íntegra

Instituto Superior Técnico - DECivil - Avenida Rovisco Pais - 1049-001 Lisboa - Portugal

Anexo F – Imagem do Procedimento Laboratorial

