

Capítulo 1

Introdução

1.1. Apresentação do tema

Os primeiros registos de aplicações de argamassas de revestimento como material de construção remontam à época da pré-história, há cerca de 11000 anos atrás. Estes registos foram encontrados no sul da Galileia em Israel, próximo de Yiftah`el em 1985, quando trabalhadores faziam escavações para abrir uma rua. Foi então encontrado um piso polido de aproximadamente 180m², feito com pedras e uma argamassa de cal e areia (citado por EMOdico, 2006).

A partir daí existem vários registos de colocação de argamassas de cal posteriores, através dos egípcios, gregos, etruscos e romanos.

As argamassas são materiais de construção com propriedades de aderência e endurecimento, que são obtidas a partir da mistura homogénea de um ou vários aglomerantes, como agregado fino e água e pode ainda conter aditivos ou adições minerais (Carasek, 2007).

As argamassas são materiais muito utilizadas na construção civil, tendo como principais usos o revestimento de paredes e o assentamento de alvenarias.

Como foi referido anteriormente, as argamassas mais antigas eram à base de cal e areia, no entanto, e com o avanço da tecnologia e com a necessidade de se melhorar as técnicas de construção, as argamassas modernas possuem na sua composição o cimento Portland e muitas das vezes, com o intuito de melhorar as propriedades e o comportamento das mesmas, aplicam-se aditivos ou fibras vegetais ou sintéticas.

As argamassas de revestimento têm como função revestir vedações verticais, e proteger os elementos estruturais dos edifícios contra a acção de agentes de deterioração, exercendo também funções de estética e de valorização do imóvel.

Para que isso aconteça, é necessário que as argamassas de revestimento tenham um desempenho funcional e que não apresente problemas patológicos.

A fissuração e o destacamento de placas de revestimento são as patologias que mais se evidenciam no revestimento de argamassas. Estas patologias devem-se ao facto de ocorrerem tensões na camada de revestimento, quer de tracção quer de corte, as quais são frequentemente originadas por esforços físicos, ou mecânicos e ou por esforços cíclicos, como por exemplo ciclos de gelo-degelo (Silva, 2006).

Desta forma, e para tentar prevenir o aparecimento destas patologias nas argamassas de revestimento, muitos investigadores e construtores têm procurado encontrar soluções para que o aparecimento dessas anomalias sejam reduzidas ao máximo.

É com esse objectivo que o estudo argamassas de revestimentos reforçadas com fibras tem vindo a aumentar.

O conhecimento sobre argamassas reforçadas com fibras, é ainda empírico, sendo que será necessário o domínio da tecnologia de produção desses revestimentos de maneira a que os requisitos e critérios de desempenho sejam identificados, bem como os métodos construtivos mais adequados para que esses requisitos sejam levados a cabo. Assim será mais fácil avaliar os benefícios das fibras no revestimento de argamassas (Silva, 2006).

1.2. Objectivos

O objectivo que foi proposto no estudo desta dissertação foi de avaliar o desempenho reológico e mecânico de argamassas reforçadas com fibras acrílicas, com vista à sua aplicação em revestimentos estruturais verticais.

1.3. Estrutura da dissertação

Para que os objectivos da dissertação fossem conseguidos, houve três passos que foram fundamentais, como a pesquisa e levantamento de informações a partir da bibliografia nacional e internacional, estudo laboratorial e a análise dos resultados obtidos.

A dissertação está estruturada em quatro capítulos sendo que este, o primeiro, é relativo à introdução e que contém uma pequena apresentação do tema que foi proposto para o estudo, os objectivos que foram propostos e que se procuraram atingir e por fim a estruturação e organização da dissertação.

No segundo capítulo é apresentado o estado da arte, os materiais e constituintes das matrizes cimentícias que são utilizadas geralmente na construção civil. É também abordada a contribuição da fibra na matriz, os tipos e propriedades de fibras que se utilizam na construção civil. Por fim é referido neste capítulo os ensaios que foram utilizados no estudo laboratorial e também é feita referência à metodologia da planificação factorial de experiencias, metodologia esta que foi baseada num trabalho de Pereira de Oliveira (1996).

O terceiro capítulo consiste na apresentação das etapas que foram realizadas ao longo do trabalho experimental considerando os materiais e misturas utilizadas na preparação das argamassas.

No quarto e último capítulo é apresentada a discussão e dos resultados do trabalho laboratorial realizado às argamassas no estado fresco e no estado endurecido, por fim é feita alusão às conclusões que foram obtidas dos resultados.

Capítulo 2

Argamassas de revestimento de alvenarias

Capítulo 2. Argamassas de revestimento de alvenaria

2.1. Introdução

As argamassas são definidas como uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e/ou adjuvantes (EMOdicó, 2006). A sua existência é conhecida há milhares de anos e são tradicionalmente utilizadas para erguer e revestir paredes e muros.

Os revestimentos, para além de conferirem o aspecto estético ao edifício, devem contribuir para a protecção da parede perante os vários agentes de degradação, acção da água, acção directa dos agentes climáticos, acção mecânica de choque, acção química da poluição e dos sais solúveis contidos nos materiais, água e no solo. Acumulam ainda a função de regularização das alvenarias e de impermeabilização no caso de revestimentos exteriores. Por se encontrarem tão expostos, a degradação dá-se com facilidade, o que normalmente conduz à necessidade de obras de reparação (Penas, 2008).

As argamassas de revestimento têm como finalidade dar um acabamento às paredes de alvenaria feitas dos mais diversos materiais, paredes de betão, tectos dos edifícios, entre outros. A argamassa deve apresentar propriedades adequadas, tais como trabalhabilidade, plasticidade e coesão, capacidade de retenção de água, durabilidade e resistência mecânica, tanto no estado fresco como no estado endurecido (Ishikawa, 2009).

Estas argamassas podem dividir-se em argamassas de estuque e argamassas de reboco. As argamassas de reboco formam uma superfície plana, protectora e regularizadora que, no caso de se querer, pode também receber um tratamento decorativo final. As argamassas de reboco variam bastante no que se refere à resistência e à porosidade (Marques, 2005). As argamassas de estuque foram usadas durante muito tempo, com o objectivo de providenciar uma camada tanto protectora como decorativa, com adequada resistência e de fácil aplicação. Os requisitos para uma argamassa deste tipo são idênticos aos dos rebocos, ainda que menos resistentes e com uma menor durabilidade (Marques, 2005).

2.2. Considerações gerais

Segundo a EMO, European Mortar Industry Organization, os tipos de argamassas habitualmente mais utilizados são as de alvenaria e as de revestimento. Relativamente às primeiras, estas dividem-se em argamassas leves, argamassas de camadas finas e argamassas de utilização geral. As segundas são normalmente usadas de modo a proteger as construções contra intempéries e também com o intuito de proporcionar um aspecto decorativo.

Hoje em dia, as argamassas são utilizadas nos mais diversos tipos de obras de construção tais como pontes, barragens, habitações, entre outras, sendo que são produzidos mais de 100 tipos de argamassas para os vários tipos de necessidades de cada obra de construção.

Além dos tipos de argamassas supracitados, existem também os seguintes [EMODico]:

- Reboco orgânico;
- Argamassa de juntas;
- Argamassa de aderência;
- Sistema de isolamento térmico (ITE);
- Argamassa base;
- Argamassa de pavimentação;
- Cimento-cola;
- Argamassa de revestimento orgânico;
- Revestimento Monomassa;
- Argamassa de isolamento térmico;
- Argamassa de drenagem;
- Argamassa de obturação;
- Argamassa de impermeabilização;
- Argamassa de assentamento de alvenaria;
- Argamassa de cobertura;
- Argamassa de restauração;
- Argamassa de moldagem;
- Argamassa de reparação de betão;
- Argamassa auto-nivelante;
- Etc.

De acordo com o local de produção, as argamassas são classificadas em três grupos (Paulo, 2006):

- Argamassas Industriais - As argamassas industriais são argamassas que são feitas em fábrica, ou seja, doseadas e misturadas na fábrica e podem ser apresentadas em pó, ao qual será apenas necessário adicionar água, ou então em pasta, argamassa esta que já vem amassada e já está pronta para ser aplicada;
- Argamassas Industriais Semi-Acabadas - Estas argamassas são argamassas pré doseadas, podendo ser modificadas em obra;
- Argamassas Tradicionais (feitas em obra) - São argamassas que são misturadas e doseadas em obra e que são compostas por constituintes primários, como por exemplo os ligantes, os agregados e a água.

Uma argamassa poderá ser considerada como uma rocha artificial, resultante da mistura de água, agregados finos e aglomerantes. A água, a areia ou os agregados são misturados com minerais naturais que permitem produzir a *rocha artificial*. A argamassa tem, por norma, uma formulação que é baseada na premissa de que os vazios existentes no volume de agregados (entre 25% a 40%) devem ser preenchidos com ligantes, o que vai também proporcionar coesão à mistura final (Paulo, 2006).

As características das argamassas mudam consoante os materiais utilizados para a sua obtenção, o que faz com que seja possível, consoante a utilização de aditivos ou adjuvantes, proporcionar características que irão facilitar a sua aplicação, como por exemplo, o retardamento ou aceleração de presa e o aumento da trabalhabilidade.

2.3. Materiais e proporções

2.3.1. Caracterização dos materiais

Os materiais utilizados nas argamassas podem ser subdivididos nos seguintes grupos: ligantes (cimento), agregados miúdos, água de amassadura, adjuvantes e aditivos. Estes materiais foram seleccionados a partir da pesquisa bibliográfica efectuada, tendo por base trabalhos já realizados na área em estudo. Outro factor que foi relevante para esta escolha prendeu-se com o facto de os citados materiais serem de fácil aquisição.

2.3.2. Traço

Chama-se traço à proporção, em volume, entre os componentes das argamassas e que usualmente são o cimento, cal aérea e areia. Os traços variam de acordo com a utilização que vai ser dada à argamassa.

Geralmente, o traço é expresso pela razão entre a quantidade de ligante e a quantidade de agregado. Por norma, esta razão é expressa em relação ao volume.

Sempre que há um aumento do traço para qualquer um dos três ligantes, a resistência mecânica da argamassa também aumenta. Já nas argamassas de cal hidráulica e cal aérea, a tendência é verificar-se o contrário, pois quanto maior for a quantidade de cal, maior será a porosidade da argamassa (Lanas et al., 2004, citados por Allen & Ball, 2010).

2.3.3. Ligantes

O ligante é um pó muito fino que, ao ser amassado com água, dá origem a uma pasta. Esta pasta endurece pela ocorrência da reacção química entre esse pó e a água e/ou ar.

Os tipos de ligantes existentes para as argamassas de construção são: gesso, (utilizado em argamassas de revestimento interior e decoração) cimento e cal aérea ou hidráulica (utilizados em argamassas de revestimento). Os ligantes podem ser utilizados de forma unitária ou podem ser combinados, sempre que sejam compatíveis entre eles. Assim, podem-se aproveitar as propriedades mais interessantes de cada constituinte e assim atingir uma argamassa final mais satisfatória.

2.3.3.1. Cal hidráulica

Segundo a NP EN 459-1, as cals hidráulicas são constituídas, essencialmente, por hidróxido, silicatose e aluminatos de cálcio e são produzidas pela cozedura de rocha calcária argilosa e/ou pela mistura de materiais apropriados. Apresentam a propriedade de fazer presa e endurecer debaixo de água, apesar de o dióxido de carbono da atmosfera contribuir para o endurecimento.

Normalmente, as argamassas de cal hidráulica apresentam características intermédias entre as argamassas de cimento e as argamassas de cal aérea (Penas, 2008).

As argamassas de cal hidráulica apresentam baixa resistência mecânica, quer à compressão, quer à flexão, não contribuindo para a degradação mecânica das alvenarias. Contudo, as resistências obtidas são suficientes, pelo menos para situações em que não se prevejam solicitações muito gravosas de choque ou atrito. Estas argamassas, por serem bastante porosas, têm uma velocidade de absorção de água muito elevada nos instantes iniciais, conduzindo a um alto coeficiente de capilaridade (Veiga & Carvalho, 1994).

2.3.3.2. Cal aérea

Pela norma NP EN 459-1, a cal aérea é constituída fundamentalmente por óxidos ou hidróxidos de cálcio que, amassados com água, endurecem lentamente ao ar por reacção com o dióxido de carbono presente na atmosfera. Em geral, não endurece na água pois não possui propriedades hidráulicas.

Faria, Henriques e Rato (2007), ao analisarem a influência do tipo de ligante e agregado nas argamassas correntes para aplicação em reabilitação de edifícios, estudaram dois tipos de argamassas: uma era de cal hidráulica e a outra era uma argamassa bastarda de cal hidráulica e cal aérea hidratada. Após vários ensaios, verificaram que a introdução de cal aérea numa argamassa de cal hidráulica provocava um aumento da retenção de água, um aumento da relação água ligante e uma diminuição do coeficiente de capilaridade.

As melhores argamassas de cal aérea são obtidas se existir um período de desenvolvimento em água (cobertas de água para evitar a carbonatação) antes da sua colocação. Este facto deve-se ao incremento da homogeneidade e trabalhabilidade do material que, por sua vez, está relacionado com a coerência do arranjo entre partículas quando estas estão em água (Costa, 2008).

2.3.3.3. Cimento

O cimento é um dos materiais mais usados na construção civil, devido à sua utilização em diversas fases de construção, o que faz com que este tipo de material, em contacto com a água, se torne num elemento sólido com grande resistência à compressão, à água e a sulfatos.

Em 1824, o químico e construtor Joseph Aspdin deu o nome de “cimento Portland” a um conjunto de pedras calcárias e argila que queimou, transformando-as num pó fino. Foi então que percebeu que tinha obtido uma mistura que, após secar, se tornava tão dura quanto as pedras empregues nas construções. A mistura não se dissolvia em água e foi patenteada pelo construtor no mesmo ano, com o nome de cimento Portland, que recebeu esse nome por apresentar cor e propriedades de durabilidade e solidez semelhantes às rochas da ilha britânica de Portland (www.ecivilnet.com).

Os silicatos de cálcio são os principais constituintes do cimento Portland. As matérias-primas para a fabricação devem possuir cálcio e sílica em proporções adequadas de dosagem (www.ecivilnet.com).

Com o passar do tempo, as propriedades físico-químicas do cimento Portland foram evoluindo constantemente, sobretudo com o emprego de aditivos que melhoram as características do cimento. Hoje o cimento Portland é normalizado e existem onze tipos no mercado (www.ecivilnet.com):

- CP I - Cimento Portland comum
- CP I-S - Cimento Portland com adição
- CP II-E - Cimento Portland composto com escória
- CP II-Z - Cimento Portland composto com pozolana
- CP II-F - Cimento Portland composto com fíler
- CP III - Cimento Portland de alto-forno
- CP IV - Cimento Portland pozolânico
- CP V-ARI - Cimento Portland de alta resistência inicial
- BC - Cimento Portland de baixo calor de hidratação
- RS - Cimento Portland resistente a sulfatos
- CPB - Cimento Portland branco

O fornecimento do cimento realiza-se geralmente a granel. O armazenamento deve ser feito em silos isentos de humidade e não deve ser muito prolongado, já que este pode sofrer alterações por meteorização. O armazenamento máximo aconselhável é de três meses, dois meses e um mês, respectivamente, para as classes de resistência 32.5, 42.5 e 52.5 (Paulo, 2006).

As características principais do cimento Portland que se relacionam com a sua composição química são (Paulo, 2006):

- Resistência a agressões químicas - Grande durabilidade, isto se a obtenção do cimento for bem elaborada (baixa porosidade, relação, relação ligante/água adequada, entre outros);
- Elevada resistência mecânica;
- Instabilidade volúmica - Devido a uma diminuição de volume das suas fases hidratadas, o cimento sofre contracção através do processo de hidratação. Posteriormente, devido à rápida evaporação da água, a chamada retracção hidráulica também acontece.
- Calor de hidratação - As reacções de hidratação dos cimentos é exotérmico. O rápido desenvolvimento de calor no sistema pode levar à evaporação rápida da água e com isso poderão surgir fissuras.

A resistência pretendida para uma argamassa depende da sua utilização. Por exemplo, numa argamassa de assentamento numa alvenaria, o comportamento mecânico é o mais importante, mas numa argamassa de reboco a impermeabilidade e a aderência são as

características mais importantes, sendo a sua resistência à compressão de uma importância menor (Mendonça, 2007).

2.3.3.4. Gesso

O gesso é usado em argamassas desde há muito tempo devido à facilidade de produção e à sua capacidade de endurecer rapidamente. Este tipo de ligante é constituído por sulfato de cálcio, CaSO_4 , que se obtém naturalmente de forma hidratada. Na utilização do gesso é necessário ter em atenção duas desvantagens: a baixa resistência e a solubilidade nas águas pluviais. Posto isto, este material é normalmente indicado para climas secos ou para interiores de edifícios, como por exemplo em rebocos interiores, ou aproveitando a sua presa rápida para revestimentos multi-camadas. O gesso tem a vantagem de expandir durante a presa, o que evita problemas relacionados com a contracção (Marques, 2005; Paulo, 2006).

De maneira a reduzir algumas das desvantagens acima descritas podem usar-se misturas de gesso e cal, obtendo-se assim rebocos altamente efectivos, de endurecimento rápido, resistentes e sem contracção na presa. Com o aparecimento de outro tipo de ligantes mais resistente e com uma maior durabilidade, a utilização do gesso acabou por diminuir drasticamente. Como o gesso em Portugal não tem grande qualidade, a sua produção em Portugal é reduzida (Marques, 2005; Paulo, 2006).

2.3.4. Agregados

Os agregados são materiais granulares que não intervêm na reacção de endurecimento da argamassa, funcionando como o seu esqueleto (Mendonça, 2007).

Os agregados classificam-se segundo a origem, as dimensões das partículas e a massa volúmica aparente (Mendonça, 2007). Desta forma, podem ter-se as seguintes classificações:

Segundo a origem:

- Naturais - os que são encontrados com a sua forma na natureza, como por exemplo a areia e o cascalho;
- Industrializados - são aqueles cuja composição específica é obtida por processos industriais;
- Reciclados - são aqueles que resultam de material inorgânico que foi usado anteriormente na construção.

Segundo as dimensões das partículas:

- Fino - quando as partículas das areias naturais ou britadas têm uma granulometria de dimensão máxima inferior a 4mm;
- Grosso - nas argamassas não se incluem agregados grossos como o rolado ou britado.

Segundo a massa volúmica:

- Os agregados são classificados em leves, normais e pesados consoante a densidade que constitui as partículas.

Os agregados são utilizados com o intuito de diminuir a retracção, aumentar a porosidade melhorando a permeabilidade ao vapor de água, diminuir a quantidade de ligante, melhorar a resistência ao gelo e aumentar a resistência à compressão. Os agregados influenciam a compactidade da argamassa pela sua granulometria e forma das partículas que, por sua vez, influenciam o volume de vazios (Cavaco, 2005 citado por Penas, 2008).

As dimensões dos agregados devem ser especificadas utilizando as aberturas dos peneiros, sendo d correspondente à abertura do peneiro inferior e D correspondente à abertura do peneiro superior, entre as quais se situa a maioria das partículas (Paulo, 2006).

A norma EN 993-2, relativa à determinação da granulometria das partículas dos agregados, estabelece como série principal de peneiros os seguintes: (0,063-0,125-0,250-0,500-1-2-4-8) mm (Paulo, 2006).

No caso dos agregados para as argamassas, os tamanhos preferencialmente utilizados (d/D) são os seguintes: (0/1 - 0/2 - 0/4 - 0/8 - 2/4 - 2/8) mm (Paulo, 2006).

Na tabela 1, são apresentadas as influências das areias nas propriedades das argamassas.

Tabela 1 - Influência das areias nas propriedades das argamassas. Fonte: Livro argamassas de revestimento para paredes de alvenaria - ABCP

| Propriedades | Características das areias | | |
|-----------------------|---------------------------------|---|--|
| | Quanto menor o módulo de finura | Quanto mais descontínua for a granulometria | Quanto maior o teor de grãos angulosos |
| Trabalhabilidade | MELHOR | PIOR | PIOR |
| Retenção de água | MELHOR | VARIAVEL | MELHOR |
| Retracção por secagem | AUMENTA | AUMENTA | VARIAVEL |
| Porosidade | VARIAVEL | AUMENTA | VARIAVEL |
| Aderência | PIOR | PIOR | MELHOR |
| Resistências | VARIAVEL | PIOR | VARIAVEL |
| Impermeabilidade | PIOR | PIOR | VARIAVEL |

2.3.5. Água de amassadura

Para a amassadura, a água a utilizar não deve conter substâncias perigosas em quantidades consideráveis, pois podem afectar as propriedades químicas, mecânicas e a própria compactidade das argamassas. Normalmente utilizam-se águas potáveis de forma a que os requisitos exigidos às argamassas não sejam alterados (Paulo, 2006).

A água de amassadura deve ser controlada para se obter uma argamassa mais consistente e, conseqüentemente, um revestimento mais compacto, com uma tendência muito menor para fissurar, uma menor permeabilidade à água e uma maior capacidade de resistência, apesar da menor trabalhabilidade (Penas, 2008).

2.3.6. Adjuvantes e Aditivos

Com o crescente desenvolvimento da construção civil, foi necessário haver um avanço tecnológico na produção das argamassas. Como tal, foi prioritário desenvolver novos produtos para que esse crescimento fosse acompanhado. Como consequência desse desenvolvimento, os adjuvantes e os aditivos são cada vez mais utilizados, com vista à modificação das propriedades das argamassas. Essas propriedades são modificadas para que se possam alcançar os seguintes efeitos (Paulo, 2006):

- Melhorar a trabalhabilidade;
- Acelerar a presa;
- Retardar a presa;
- Acelerar o endurecimento nas primeiras idades;
- Aumentar a resistência aos ciclos de gelo-degelo;
- Diminuir a permeabilidade aos líquidos;
- Impedir a segregação e a sedimentação dos seus constituintes;
- Produzir argamassas leves;
- Produzir argamassas coloridas;
- Etc.

Adjuvante é toda a substância que é utilizada numa percentagem menor que 5% da massa de ligante adicionada durante a amassadura ao resto dos componentes das argamassas com o propósito de melhorar e modificar algumas propriedades, tanto no estado fresco como no estado endurecido (Lourenço, 2010).

Existem vários tipos de adjuvantes capazes de modificar as propriedades das argamassas como os plastificantes, introdutores de ar, aceleradores e retardadores de presas, expansivos e hidrófugos.

As adições são materiais inorgânicos, finamente divididas, que podem ser adicionadas às argamassas com o intuito de as melhorar ou obter propriedades específicas (EN 13318; EN 998-2).

Segundo Paulo (2006) as adições podem ser divididas em dois tipos:

- Adições praticamente inertes:
 - Cargas (Fillers) minerais;
 - Pigmentos inorgânicos.
- Adições pozolânicas ou hidráulicas:
 - Materiais pozolânicos;
 - Cinzas volantes;
 - Sílica de fumo;
 - Escórias;
 - Etc.

2.4. Argamassas reforçadas com fibras

A utilização de fibras em materiais de construção não é uma técnica moderna. Os egípcios já utilizavam a palha com o propósito de reforçar os tijolos de barro. Outros autores referem que já existiam evidências de que as fibras de asbesto tinham sido utilizadas para reforçar postes de argila há cerca de 5000 anos (R. Silva, 2006).

Para melhorar o desempenho dos revestimentos na construção civil, investigadores e construtores têm procurado soluções que minimizem os problemas de fissuração e, para tal, o uso de fibras sintéticas nas argamassas poderá funcionar como uma solução à propagação e controlo de fissuração (R. Silva, 2006).

O uso de fibras na indústria da construção civil destina-se essencialmente a aumentar a resistência à tracção e à compressão e a ductilidade do revestimento, melhorando a sua resistência à fendilhação. Estas fibras podem ainda influir no processo de hidratação e de carbonatação, e geralmente melhoram a coesão e a resistência à penetração de água (Marques, 2005; Oliveira, Dias & Alves, 2007).

As fibras escolhidas para o estudo e realização do presente trabalho foram fibras sintéticas, mais concretamente fibras acrílicas com diferentes diâmetros e comprimentos provenientes de FISIFE-Fibras de Portugal.

2.4.1. Tipos de fibras

As fibras utilizadas em argamassas de revestimento podem ser divididas em dois grupos distintos: fibras naturais e fibras sintéticas, como mostra a figura seguinte que apresenta um diagrama com a classificação de algumas fibras:

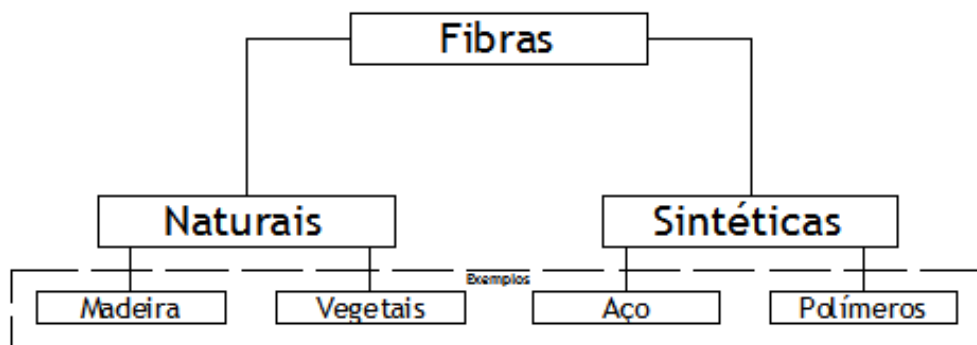


Figura 1 - Classificação de fibras

2.4.1.1. Fibras Naturais

As fibras naturais passaram a ter um menor uso devido ao grande avanço tecnológico e ao subsequente desenvolvimento de novos materiais. Com o aparecimento das fibras sintéticas, o consumo das fibras naturais teve uma queda de cerca de 40%. Devido ao baixo custo das fibras naturais, e devido à grande abundância e aos custos mais elevados das fibras sintéticas, as fibras naturais tem despertado novamente a atenção e o interesse dos investigadores de todo o mundo (Santos, 2006).

As fibras naturais são compostos naturais com uma estrutura celular, constituídas por camadas de celulose, hemicelulose e lignina. Apesar deste tipo de fibra possuir uma elevada resistência à flexão, possui também um baixo módulo de elasticidade (Torgal & Jalali, 2009).

Na tabela 2 é possível observar as propriedades de algumas fibras naturais (Torgal & Jalali, 2009).

Tabela 2 - Propriedades de algumas fibras naturais

| Propriedades | Massa Volúmica [Kg/m ³] | Absorção de água [%] | Resist. à Flexão [MPa] | Módulo de elasticidade [GPa] |
|--------------|-------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------------|
| Sisal | 1370 | 110 | 347-378 | 15,2 |
| Coco | 1177 | 93,8 | 95-118 | 2,8 |
| Bambu | 1158 | 145 | 73-505 | 10 |
| Cânhamo | 1500 | 85-105 | 900 | 34 |
| Malva | 1409 | 182 | 300-500 | 25 |
| Banana | 1031 | 407 | 384 | 20-51 |
| Piaçava | 1054 | 34-108 | 143 | 5,6 |
| Palmeira | 1300-1450 | 60-84 | 70-170 | 2,5-4 |

Para além das fibras referidas na tabela 2, existem ainda outras que são utilizadas na construção civil tais como: fibras de papel, fibras de juta, fibras de madeira, fibras de cana-de-açúcar, fibras de malva, entre outras.

As fibras vegetais são formadas basicamente por celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose, um polissacarídeo linear de alta massa molecular, é o principal constituinte estrutural, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras (Santos, 2006).

Segundo Swift e Smith (1979), citados por Sales (2006), a resistência à tracção do compósito não vai ser melhorada com a adição de fibras de baixo módulo de elasticidade, mas no que respeita à resistência à flexão, é possível obter uma melhoria bastante significativa. A actuação das fibras depende da eficácia de transferência dos esforços entre a fibra e a matriz, havendo uma forte interferência de determinadas características das fibras. São consideradas importantes as seguintes características das fibras naturais (Sales, 2006):

- Geometria: a relação de aspecto (comprimento/diâmetro) determina a quantidade de esforço transferido. Será necessário determinar o comprimento crítico da fibra, para que não escorregue dentro da matriz, e quando submetida à tracção, esta se rompa. O aspecto superficial da fibra pode contribuir para a ancoragem da fibra à matriz;
- Volume de vazios: considerável em fibras vegetais, conduzindo a uma alta absorção de água desde a sua imersão na matriz cimentícia no estado fresco, interferindo na relação água/cimento e na aderência entre a fibra e a matriz;
- Resistência à tracção: o processo de arrancamento deve ser predominante relativamente à ruptura da fibra, após a fissuração da matriz;
- Módulo de elasticidade: é considerado baixo (entre 2 a 8 GPa) face aos módulos das matrizes cimentícias (entre 20 a 30 GPa).

É de notar que os compósitos de fibras vegetais não alcançam os níveis de resistência à tracção e energia específicas referentes a compósitos com fibras sintéticas. A perda de ductilidade em meio húmido e alcalino, a elevada absorção de água e a heterogeneidade das propriedades físicas e mecânicas das fibras naturais interferem negativamente no seu desempenho (Savastano, 1994, citado por Savastano Júnior, Agopyan & Oliveira, 1997).

O módulo de elasticidade de compósitos cimentícios reforçados com uma grande percentagem de fibras é significativamente inferior a um compósito com um teor de fibras mais reduzido, segundo um estudo feito por Silva (2002) sobre a durabilidade de compósitos reforçados com fibra de celulose.

Savastano Júnior, Agopyan e Oliveira (1997), num estudo efectuado sobre a microestrutura das fibras vegetais e as implicações que estas têm sobre o desempenho de compósitos cimentícios, referem que as fibras vegetais foram fundamentais para aumentar a ductilidade das matrizes cimentícias visto serem frágeis.

Num estudo levado a cabo por Ramakrishna e Sundararajan (2005) sobre a durabilidade de fibras naturais, encontra-se que os valores da resistência à flexão e à compressão de todas as argamassas reforçadas com fibras naturais, usando fibras corroídas, são menores que os valores desses ensaios na argamassa de referência e que argamassas reforçadas com fibras, usando fibras em condição seca. Isso deve-se ao facto de quando as fibras são expostas a meios alcalinos nas argamassas as fibras acusam a alcalinidade a que ficam sujeitas e perdem força.

2.4.1.2. Fibras sintéticas

As fibras sintéticas, também denominadas de fibras sintéticas, são o resultado de muito estudos e avanços na área de engenharia de materiais, decorrentes de pesquisas sobre a cadeia do petróleo e seus derivados, assim como do desenvolvimento da tecnologia têxtil. (Caetano et al., 2004).

Existe uma grande variedade de fibras sintéticas, ou seja, que não são de origem natural, umas mais eficientes do que outras, dependendo também do campo de aplicação, como por exemplo as fibras de vidro, fibras de polímeros, fibras de aço, fibras de plástico, fibra de carbono, fibras de amianto, fibras de PVA, entre muitas outras.

As fibras sintéticas quando colocadas em argamassas de revestimento são utilizadas para garantir que o aparecimento e propagação de fissuras não aconteçam. Dentro deste grupo de fibras podemos incluir as fibras metálicas, que por não serem de origem natural, podem ser consideradas como fibras sintéticas. Este tipo de fibra possui uma resistência à tracção

bastante elevada, podendo assim substituir as armaduras tradicionais nos betões. Estas fibras podem ser aplicadas em vários tipos de construção, como em pisos e pavimentos industriais, elementos pré-fabricados, recuperação de túneis e têm como principais vantagens:

- Maior resistência em relação às variações térmicas;
- Aumenta a impermeabilidade;
- Optimiza a ductilidade;
- A espessura do piso poderá assim ser reduzida;
- Aumenta a capacidade de carga;
- Maior segurança no combate aos efeitos de retracção.

As fibras sintéticas são utilizadas para inibir o aparecimento e propagação de fissuras em argamassas. São normalmente compostas por multifilamentos de alta tenacidade e baixíssimo diâmetro para facilitar a mistura com a argamassa, criando assim um reforço secundário, mutidirecional e eficaz (www.perame.com.br).

Um das fibras sintéticas que mais se têm utilizado na construção civil são as fibras de polipropileno, polivinil e polietileno e que podem ser chamadas de fibras de polímeros. Estas fibras exibem resistências altas e estabilidade a longo prazo. A sua característica de menor qualidades neste tipo de fibras será talvez o baixo módulo de elasticidade. Isto verifica-se principalmente quando a velocidade de carga é lenta, o que se traduz em benefícios mínimos na função de inibição de fendilhação, particularmente quando o módulo da matriz é relativamente alto (Teixeira & Martins, 2003).

Algumas fibras sintéticas, são produzidas com módulos de elasticidade que variam entre os 14 Mpa e os 25MPa, o que as torna muito semelhante ao da matriz cimentícia. Estas fibras revelam no entanto uma grande estabilidade em ambientes alcalinos. Tem-se observado que com o aumento da temperatura, isto é, acima dos 50°C, o desempenho destas fibras diminui drasticamente as suas propriedades, o que poderá trazer algumas incertezas quanto ao seu desempenho a longo prazo (Woei, 1994, citado por Teixeira & Martins, 2003).

Zollo (1984), citado por Resende (2003), afirma que até uma fracção volumétrica de 0,1% a adição de fibras poliméricas não afecta qualquer propriedade física ou mecânica da matriz cimentícia. A junção de 0,5% de fibras poderá ocorrer haver uma redução de 5 a 10% na resistência à compressão, talvez devido a uma maior dificuldade de homogeneização que estas misturas apresentam. Segundo resultados obtidos por Fanella e Naaman (1985), citados por Resende (2003), em argamassas reforçadas com fibras de polipropileno, registam uma redução na resistência à compressão na ordem dos 30 a 35% quando adicionados à mistura 2 a 3% de fibras.

Na tabela 3 é possível observar propriedades de algumas fibras sintéticas (Figueiredo, 2000; Santos, 2006).

Tabela 3 - Propriedades de algumas fibras sintéticas

| Propriedades | Diâmetro [µm] | Massa Volúmica [Kg/m ³] | Resist. À Tracção [MPa] | Módulo de elasticidade [N/mm ²] |
|-------------------------------------|---------------|-------------------------------------|-------------------------|---|
| Aço | 5 a 500 | 7840 | 0,5 a 2,0 | 190 a 210 |
| Asbesto | 0,02 a 0,4 | 2600 | 3 a 3,5 | 160 a 200 |
| Polipropileno | 20 a 200 | 900 | 0,5 a 0,75 | 5,5 a 7,7 |
| Kevlar | 10 | 1450 | 3,6 | 65 a 133 |
| Vidro | 9 a 15 | 2550 | 0,5 a 2,0 | 70 a 80 |
| Carbono (padrão) | 5 a 15 | 1900 | 2,6 | 230 |
| Matriz de cimento (para comparação) | - | 2500 | 3,7x10 ⁻³ | 10 a 45 |

Na tabela 4 é possível observar algumas propriedades mecânicas e químicas das fibras acrílicas (Oliveira, Dias & Alves, 2007).

Tabela 4 - Propriedades mecânicas e químicas das fibras acrílicas

| Propriedades | Diâmetro [µm] | Comprimento [mm] | Massa Volúmica [Kg/m ³] | Módulo de elasticidade [GPa] | Resist. à Tracção [N/mm ²] | Alongamento de ruptura [%] |
|--------------|---------------|------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|----------------------------|
| Acrílicas | 14,4 | 4; 6; 12 | 1170 | 12,04 | 690 | 15 a 20 |
| | 27 | | | 8,78 | 500 | 14 a 18 |
| | 43 | | | 8,19 | 380 | 13 a 17 |

Segundo um estudo efectuado por Pereira de Oliveira, Alves e Dias (s.d.) relativo ao desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de fibras sintéticas, quando se compararam os resultados de ensaio à flexão para argamassas com fibras acrílicas, fibras de vidro e polipropileno com o volume de fibras igual a 0,5%, as fibras acrílicas apresentaram valores mais altos que as restantes fibras aos 28 dias. Concluíram também que quanto maior for o volume de fibra utilizado nas argamassas, menores serão os valores na resistência à compressão.

Banfill e seus colaboradores (2006) num estudo efectuado à reologia de argamassas cimentícias reforçadas com fibras de carbono, refere que quando se aumenta a concentração do volume de fibras e o seu comprimento, o rendimento da tensão de cedência e a viscosidade plástica aumentam também.

As fibras de polipropileno proporcionam uma melhoria da resistência à fractura em todas as argamassas estudadas por Puertas e seus colaboradores (2003) sobre o comportamento de argamassas cimentícias reforçadas com fibras de polipropileno.

2.4.2. Matriz cimentícia

As matrizes cimentícias podem ser de três tipos: as de pasta de cimento, as de argamassas e as de betão. O que as diferencia é o tamanho e o tipo de agregados que são utilizados na mistura. Em qualquer dos casos, verifica-se uma baixa resistência à tracção, o que impossibilita o seu uso como agente único que resista a solicitações de tensões de tracção. Quanto à compressão, pode-se verificar que as matrizes cimentícias chegam a apresentar valores altos de resistência (Resende, 2003).

O comportamento da matriz cimentícia em flexão fica comprometido devido à sua limitada resistência à tracção. Sempre que iniciado o processo de fissuração, esta propaga-se de forma única e contínua, levando a uma perda muito grande de resistência e consequentemente à deterioração do material. Visto que a maior parte das estruturas estão sujeitas a esforços de flexão, será necessária uma filiação com outro tipo de material que capacite a matriz de resistir a este tipo de esforços (Resende, 2003).

2.4.3. Matriz cimentícia fibrosa

Diversas fibras, como as citadas na tabela 3, podem ser utilizadas como reforço de matrizes cimentícias. Neste estudo, como se verá no capítulo a seguir, optou-se por trabalhar com as fibras acrílicas mencionadas na tabela 4, por ser um material com boas características viscoelásticas.

As matrizes cimentícias fibrosas diferem das matrizes cimentícias apenas na adição de fibras, que podem ser de vários tipos, como foi referido no subcapítulo acima.

A matriz cimentícia fibrosa irá actuar de diferentes formas, pois depende do volume de fibras adicionado à matriz. Um volume de fibras muito grande irá fazer com que a trabalhabilidade da mistura fique comprometida. Por sua vez, um volume de fibras muito baixo irá aumentar a tensão transferida da matriz para a cada fibra e levando consequentemente ao arrancamento das fibras. Logo, para que isto não seja comprometido, deve-se procurar um bom aproveitamento do material com um volume de fibras que não dificulte a trabalhabilidade da mistura e que promova o aumento da resistência à tracção (Resende, 2003).

N. Silva (2006) verificou com o seu estudo que a adição de fibras influencia a reologia da argamassa, tais como os factores relacionados com as características físicas e mecânicas das fibras, os factores relacionados à matriz e também como a presença de bolhas de ar. Esta refere ainda que as fibras influenciam o comportamento mecânico somente quando passam a alterar o comportamento reológico das argamassas.

2.5. Ensaio para caracterização de argamassas de reboco

2.5.1. Descrição Geral

Para a realização deste trabalho foi necessária a realização de vários ensaios laboratoriais para fazer a caracterização das argamassas no estado fresco e no estado endurecido.

Para a caracterização das argamassas em estudo no estado fresco procedeu-se à avaliação da:

- Consistência por espalhamento (Flow Table);
- Massa volúmica da argamassa em pasta;
- Reologia.

Para a caracterização das argamassas em estudo no estado endurecido procedeu-se à avaliação da:

Ensaio mecânicos:

- Flexão;
- Compressão;
- Massa volúmica;
- Ultra-sons;

Ensaio físicos:

- Retracção;
- Absorção de água por capilaridade.

2.5.1.1. Consistência por espalhamento (Flow Table)

Os ensaios de consistência por espalhamento (Flow Table) foram realizados segundo a Norma Europeia EN 1015-03. O resultado do ensaio de consistência pode ser expresso directamente pelo parâmetro medido, ou seja, o diâmetro médio de espalhamento (D_m). No entanto existe outra maneira de expressar o resultado deste ensaio, que consiste na determinação do índice de consistência (Oliveira, Dias & Alves, 2007):



Figura 2 - Aparelho manual para o teste de consistência por espalhamento (Flow Table)

O índice de consistência é calculado através da seguinte equação (1):

$$I_c(\%) = \frac{D_f - D_i}{D_i} \times 100 \quad (1)$$

Sendo: I_c = Índice de Consistência
 D_i = Diâmetro Inicial
 D_f = Diâmetro Final

O índice de consistência pode ser definido fisicamente, como a % de quanto aumentou o diâmetro em relação ao diâmetro inicial.

2.5.1.2. Massa volúmica da argamassa em pasta

Os ensaios de massa volúmica da argamassa em pasta foram realizados segundo a Norma Europeia EN 1015-06. Com este ensaio pode-se avaliar a influência dos agregados na massa volúmica da argamassa. Além de ser feito de uma maneira bastante rápida, é um ensaio bastante simples de se realizar e que permite determinar a massa volúmica da argamassa.



Figura 3 - Cone cilíndrico

2.5.1.3. Reologia

Os ensaios de reologia foram realizados através de um reómetro para avaliar o comportamento reológico das argamassas. Os reómetros são equipamentos que avaliam as propriedades reológicas de fluidos, suspensões, argamassas e concretos. Determinam parâmetros como a viscosidade e tensão de cedência. Colocando à argamassa velocidades angulares de corte, obtêm-se a resistência oferecida pelo material ao seu escoamento, ou seja, a tensão de corte, que está relacionada com a viscosidade da argamassa (Cardoso, 2009).

Para a realização destes ensaios foi utilizado o reómetro Viskomat NT. Por ser um reómetro de grande precisão e com uma capacidade de torque suficiente, para argamassas mais fluidas e com diâmetro de partículas máximo em torno dos 3mm.



Figura 4 - Reómetro Viskomat NT

2.5.1.4. Resistência à Flexão

Os ensaios de resistência à flexão foram realizados segundo a Norma Europeia EN 1015-11. Para a realização deste ensaio foi utilizada máquina de testes mecânicos, uma Zwick 1435. Este ensaio tem como princípio a determinação da resistência à flexão através da aplicação de uma carga a meio vão do provete. Regista-se a carga e a flexão suportada pelo provete até à ruptura. A aquisição dos dados é efectuada pelo uso do programa que é fornecido pelo próprio fabricante da máquina de ensaio. O ensaio é realizado a uma taxa de 5 mm/min. Através deste ensaio pode-se avaliar a tenacidade das argamassas.



Figura 5 - Máquina de testes de resistência à flexão

A tensão que resulta deste ensaio pode ser obtida através da seguinte equação (2):

$$\sigma = 1,5 \times \frac{F.l}{bd^2} \quad (2)$$

Sendo:

- σ = Resistência à flexão [MPa]
- F = Carga máxima aplicada de flexão [N]
- l = Distância entre vãos [mm]
- b = Comprimento do provete [mm]
- d = Altura do provete [mm]

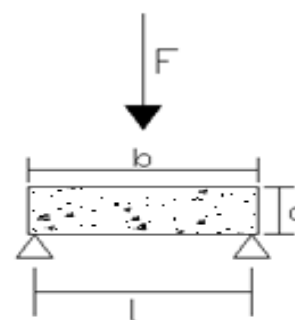


Figura 6 - Representação do funcionamento do ensaio à flexão

2.5.1.5. Resistência à Compressão

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo a Norma Europeia EN 1015-11. Para a realização destes ensaios utilizou-se uma máquina de testes à flexão e à tracção da ELE INTERNATIONAL. Este ensaio tem como princípio a determinação da resistência à compressão e é realizado logo após ao ensaio de flexão e sobre os mesmos prismas dele resultante e é registado a carga máxima suportada pelo provete. Para isso foram utilizados provetes com 4x4x4 cm.



Figura 7 - Máquina de testes à compressão

2.5.1.6. Massa Volúmica no estado endurecido

Este ensaio é obtido com base na Norma Europeia EN 1015-10. Massa volúmica no estado endurecido é a relação entre a massa e o volume aparente da argamassa. Desta forma, pode dizer-se que a massa volúmica mede o grau de concentração de massa num determinado local.

A massa volúmica aparente pode ser determinada pela seguinte expressão (3):

$$\rho = \frac{M_{SSS}}{V_i} \quad (3)$$

Sendo:

σ = Massa volúmica [g/dm³]

M_{SSS} = Massa depois de imerso [g]

V_i = Volume imerso [g]

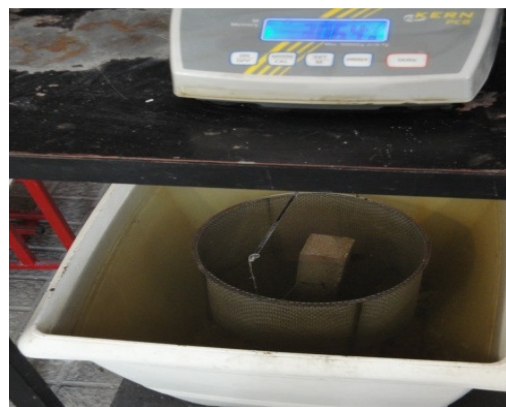


Figura 8 - Ensaio da massa volúmica no estado endurecido

2.5.1.7. Ultra-sons

Para a realização do ensaio de ultra-sons é necessário um equipamento de ultra-sons Pundit. Este equipamento determina a velocidade de propagação de um impulso ultra-sónico, entre dois pontos, com o intuito de obter a informação sobre as características mecânicas, a homogeneidade e a presença de fendas e defeitos nas argamassas produzidas. O impulso ultra-sónico é transmitido por um transdutor emissor, a partir de um sinal eléctrico. Depois de atravessar a argamassa, o sinal ultra sónico é captado por outro transdutor, que neste caso é o receptor, colocado no outro ponto do provete e que o transforma novamente em sinal eléctrico. O tempo que demora no percurso é medido electronicamente, sendo assim possível calcular a velocidade de propagação.

Com este ensaio determina-se o módulo de elasticidade dinâmico E_d e foi determinado através do método dinâmico, de acordo com a norma BS-1881 Part 203/1986 pela seguinte equação (4):

$$E_d = v^2 \times \rho \times \frac{(1+\mu) \times (1-2\mu)}{1-\mu} \quad (4)$$

Onde:

E_d = Módulo de elasticidade dinâmico (MPa)

v = Velocidade de propagação da onda ultrassónica (Km/s)

ρ = Densidade de massa aparente (Kg/m³)

μ = Coeficiente de Poisson (para o estudo =0,2)



Figura 9 - Aparelho de ultra-sons Pundit

2.5.1.8. Retracção

Os ensaios de retracção foram realizados sob condições específicas e com a ajuda de um equipamento para medir a extensão. A retracção é a diferença entre o valor do comprimento de um provete após secagem e o valor do seu comprimento logo após a sua desmoldagem.

Segundo Mendonça (2007), a retracção e a fissuração não estão relacionados de um modo simples. A retracção representa uma variação livre do comprimento da argamassa depois de sujeita a secagem, enquanto que a fissuração além de estar sujeita à retracção, é também sujeita à resistência à tracção e à relaxação da argamassa.

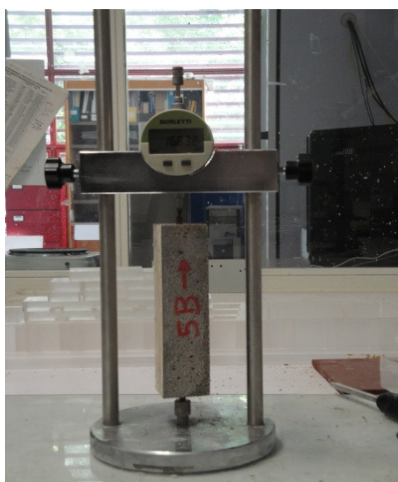


Figura 10 - Aparelho de medição da retracção livre

2.5.1.9. Absorção de água por capilaridade

Os ensaios de resistência à compressão foram realizados segundo a Norma Europeia EN 1015-18. Este ensaio tem como objectivo determinar a absorção de água por capilaridade da argamassa endurecida. A absorção de água é normalmente expressa pela diferença entre a massa do provete seco e a massa do provete em contacto com água durante 10min, 20min, 30min, 60min, 90min. A massa de água absorvida é dividida pela área da superfície de contacto com a água. Os provetes são ensaiados aos 7, 14, 21 e 28 dias.

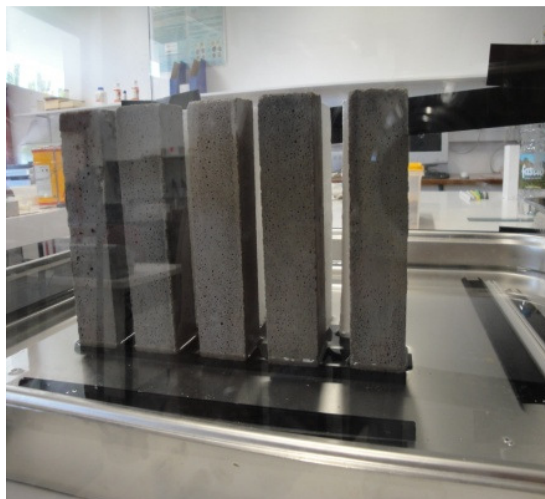


Figura 11 - Ensaio de absorção de água por capilaridade

2.6. Propriedades de argamassas com fibras

2.6.1. Reologia

Segundo Paiva e seus colaboradores (2006), a reologia é a ciência do fluxo e deformação dos materiais que estuda a relação entre a tensão, a deformação e o tempo.

Um dos autores que mais investigação faz acerca da reologia é Banfill. Ele afirma que pouca atenção é dada às propriedades frescas do cimento, não obstante os efeitos de grande alcance da inadequada performance apresentada pelo estado fresco (Banfill et al., 2006). O bombeamento, o espalhamento, a moldagem e a compactação dependem todas da reologia e graças à crescente abordagem científica está a tornar-se possível prever as propriedades do estado fresco, desenhar, escolher materiais e processos modelo para alcançar o desempenho exigido. A reologia é agora tida em consideração pelos seus utilizadores, ao invés de ser vista como um inconveniente, assumindo-se como um campo específico da ciência do cimento.

De todas as propriedades requeridas numa argamassa de revestimento, a principal prende-se com a trabalhabilidade, pois requer aplicabilidade, isto é, que seja trabalhável. De acordo com Sabbatini e Baía (2000), citados por R. Silva (2006), *“uma argamassa de revestimento é considerada trabalhável quando se deixa penetrar facilmente pela colher de pedreiro (sem ser fluida), mantém-se coesa ao ser transportada, não adere à colher ao ser lançada manualmente, distribui-se facilmente e preenche todas as reentrâncias da base, e não endurece rapidamente quando aplicada”*.

Posto isto, dominar e compreender a reologia das argamassas é indispensável, nomeadamente no que se refere aos revestimentos de argamassas, pois neste processo de execução a maior

parte das acções realizadas dependem das características das argamassas no seu estado fresco, como as descritas nos pontos a seguir (R. Silva, 2006):

- Para que haja uma homogeneização dos constituintes da argamassa, cada técnica de mistura utilizada (manual ou mecânica), exige uma reologia apropriada, em que seja vista a diferença da magnitude da tensão de corte entre as partículas internas, do tempo dispendido em cada uma das técnicas e do volume de argamassa;
- Aquando do espalhamento, aliado ao aperto da argamassa contra a base, é necessário que a argamassa tenha uma reologia que permita a tensão de corte, de modo a facilitar o seu espalhamento e conseqüente aumento do contacto com a base.
- As características de aplicação da argamassa na superfície da base requerem uma determinada reologia da argamassa e a base, de maneira que:
 - Quando estiver em contacto com a superfície, favoreça uma área contínua e de maior contacto, de modo a evitar alguns defeitos, como é o caso das bolhas de ar na interface entre a base e a camada de argamassa;
 - Possa resistir à força da gravidade, evitando assim o escorregamento da argamassa na base;
 - Possua coesão suficiente a fim de evitar a sua reflexão.

Estas características são obrigatórias para todas as argamassas de revestimento, com ou sem fibras, pois deverão ser aplicáveis e possuidoras de um potencial capaz de gerar um revestimento que acolha os requisitos de desempenho que lhes foram designados no projecto (R. Silva, 2006).

2.6.2. Parâmetros reológicos

A tensão de cedência e a viscosidade são dois parâmetros fundamentais no sentido de avaliar o comportamento reológico das argamassas.

Define-se tensão de cedência como a tensão mínima de corte necessária de modo a que a cedência da suspensão comece, sendo orientada pelo tipo e quantidade de contacto entre os grãos por causa do atrito. Por sua vez, a viscosidade define-se como a resistência por parte do fluído dirigida à cedência, estando directamente relacionada com a distância entre os sólidos presentes na matriz (De Larrad, 1999, citado por R. Silva, 2006).

As suas medidas são consequência da administração de tensões de corte na suspensão em função da magnitude da taxa de corte, geralmente expressas em modelos matemáticos apresentados no subcapítulo 2.6.4 (R. Silva, 2006).

A adição de fibras em argamassas vai contribuir para o aumento da tensão de cedência, bem como da viscosidade. O efeito da fibra, nestes dois parâmetros, está essencialmente associado a três pontos relacionados entre si:

- A forma das fibras é mais alongada do que a do agregado e, conseqüentemente, a sua área superficial, para um volume igual, é mais elevada (Grunewald, 2004);
- A concentração e aleatoriedade das fibras são factores que contribuem para distintas e grandes quantidades de contacto entre as partículas sólidas, quer com o grão de cimento, quer com o agregado, quer com a própria fibra (Servais et al., 2000, citados por R. Silva, 2006);
- As fibras rígidas possuem a capacidade de alterar o arranjo estrutural da granulometria dos grãos da matriz, constituindo-se como uma barreira à sua movimentação, enquanto que as fibras flexíveis são passíveis de se dobrar, preenchendo o espaço entre os grãos ou entrelaçando-os (Grunewald, 2004).

Importa perceber de que forma os factores reológicos das argamassas com adição de fibras podem ser alterados. Contudo, esta tarefa não é simples, uma vez que a aplicação de conceitos científicos que englobem a reologia constitui-se como algo relativamente novo no que se refere às argamassas. Cada género de matriz e de fibra manifesta um efeito particular, isto é, um factor que tem implicações no comportamento reológico pode ser marcante para um dado compósito, enquanto que para outro o mesmo já não se verifica. Assim, o que se pretende é efectuar as comparações necessárias de maneira a que se perceba o comportamento das matrizes de base cimentícia.

2.6.3. Influência da Matriz e da Fibra

O tamanho e concentração do agregado são dois factores relacionados com a matriz essenciais para a modificação do comportamento ecológico do compósito. À medida que o **tamanho do agregado** diminui, o volume de fibras aumenta à medida que o tempo aumenta, segundo um estudo efectuado por Edgington e seus colaboradores, citados por Grunewald¹ (2004).

¹ Na figura 12, quando escrevem “concreto” os autores referem-se a *betão*.

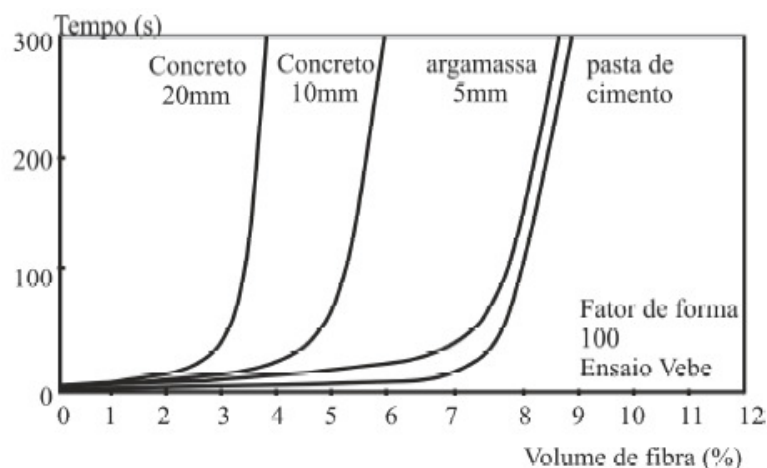


Figura 12 - Efeito do tamanho do agregado na concentração máxima de fibras (Grunewald, 2004)

No sentido de averiguar a influência da **concentração de agregado** na concentração máxima de fibras possível de se empregar, Swamy e Mangat, citados por Grunewald (2004) efectuaram um estudo cujos resultados obtidos demonstram que a percentagem de volume de agregado de maior dimensão aumenta, à medida que a percentagem de volume de fibras diminui.

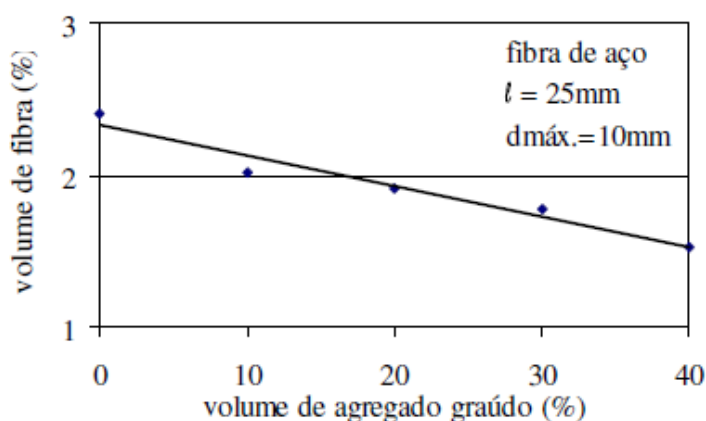


Figura 13 - Efeito da quantidade de agregado graúdo na fracção volumétrica de fibras (Swamy cit in Grunewald, 2004)

O tipo de material que constitui a fibra, o seu comprimento e a sua fracção volumétrica são factores associados à fibra que se constituem como essenciais no sentido da modificação do comportamento reológico do compósito (R. Silva, 2006).

A mesma autora afirma que o primeiro factor, **tipo de material** que constitui a fibra, é passível de governar a máxima quantidade possível de fibras no compósito devido a dois parâmetros inerentes: as propriedades mecânicas e a característica da superfície das fibras. Relativamente às propriedades mecânicas, a fibra pode apresentar-se como rígida ou como flexível, o que pode alterar as características do compósito. No que se refere à superfície da fibra, esta pode ser hidrófoba ou hidrofílica, o que altera drasticamente o seu comportamento no compósito e, conseqüentemente, modifica as características do mesmo.

Num trabalho levado a cabo por Ponikiewski e Szwabowski (2005), citados por R. Silva (2006), pretendeu-se comparar o comportamento reológico de compósitos com distintos tipos de fibras.

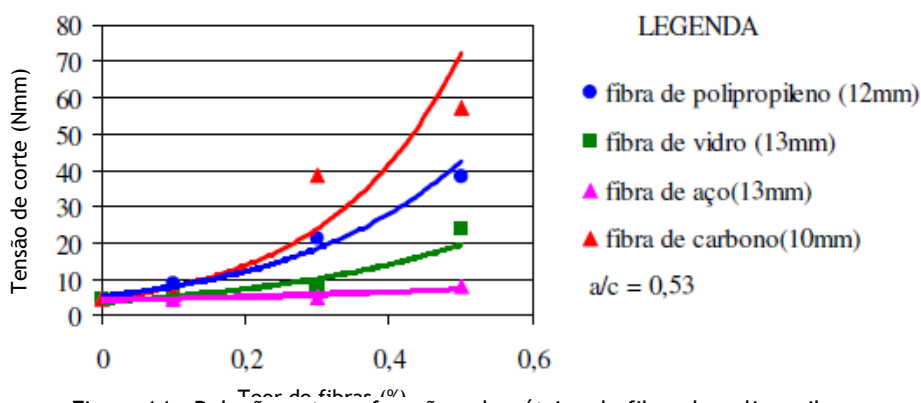


Figura 14 - Relação entre a fracção volumétrica da fibra de polipropileno e a tensão de cedência (Ponikiewski & Szwabowski, 2005)

Como se pode verificar no estudo feito por Ponikiewski e Szwabowski (2005), é possível concluir que as fibras de carácter hidrofóbicas como são os casos das fibras de carbono e polipropileno possuem valores de tensão de corte maiores que as fibras de carácter hidrofílicas, as fibras de aço e de vidro, o que pode deduzir que escorregamento das fibras hidrofílicas é melhor que nas fibras hidrofóbicas (citados por R. Silva, 2006).

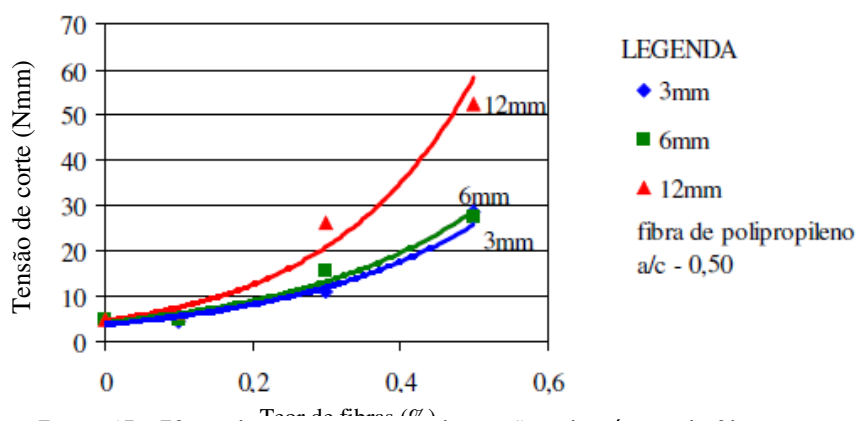


Figura 15 - Efeito do comprimento e da tensão volumétrica da fibra, na tensão de cedência de argamassas (Ponikiewski & Szwabowski, 2005))

Quanto ao **comprimento da fibra** na concentração máxima de fibras, Ponikiewski e Szwabowski (2005), citados por R. Silva (2006), apresentam os resultados da sua investigação afirmando que os valores da tensão de cedência da argamassa de cimento, areia, e superplastificante reforçada com fibras de polipropileno de comprimento de 3mm são iguais quando comparados com os valores encontrados nas argamassas com fibras de comprimento igual a 6mm. Contudo, o valor aumenta relevantemente quando se aumenta o comprimento para 12mm. (R. Silva, 2006).

Relativamente à fracção volumétrica da fibra, pode-se verificar segundo um estudo de Worner e Techen (1995), citados por N. Silva (2006), que o comportamento do compósito da matriz cimentícia é influenciado pela composição dessa matriz e pelas características e dosagem das fibras. Segundo este estudo, verifica-se que a relação água/cimento aumenta à medida que o volume de fibras aumenta à medida que o volume de fibras aumenta.

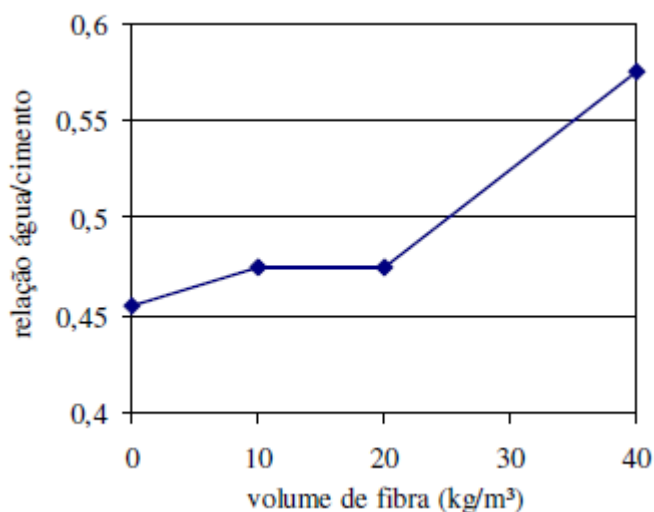


Figura 16 - Relação entre água/cimento e volume de fibra (Worner & Techen, 1995 cit in Silva, 2006)

2.6.4. Modelos de ensaios reológicos

De acordo com Kealy, T. (s.d.), os modelos reológicos são essencialmente curvas que se ajustam convenientemente aos dados gerados por viscosímetros, geralmente para ajustar a descrever a forma de diferentes tipos de curvas de fluxo. Estes modelos surgiram no sentido de serem úteis a este respeito para diversos fluidos e são equações matemáticas com parâmetros ajustáveis, representando o mais fielmente possível o comportamento experimental observado.

- Modelo Newtoniano

Um dos primeiros e mais básicos modelos é o Newtoniano. Estes modelos caracterizam-se por uma relação linear entre taxa de corte e tensões de corte e uma intercepção de 0,00Pa no eixo de tensão de corte. Matematicamente expressa-se do seguinte modo (6):

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (6)$$

Onde o coeficiente de proporcionalidade η é a viscosidade.

- Modelo de Ostwald-de-Waele

Nos casos em que a viscosidade não é constante, mas o material tem na mesma uma intercepção 0 no eixo de tensão, utiliza-se este modelo. Este possui parâmetros extra, K e n para ajudar na descrição dos materiais pseudoplásticos e dilatantes e é calculado através (7):

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (7)$$

Para líquidos pseudoplásticos, $n < 1$; para líquidos dilatantes, $n > 1$; para líquidos Newtonianos, $n = 1$.

- Modelo Bingham

Geralmente, apenas os sistemas mais diluídos são Newtonianos e por norma em pastas, suspensões e lamas existe uma tensão de cedência. Esta tensão pode observar-se na curva de fluxo por uma intercepção positiva no eixo de tensão de corte. Bingham propôs o modelo reológico (8) mais básico de forma a incluir uma tensão de cedência, τ_0 :

$$\tau = \tau_0 + \eta\dot{\gamma} \quad (8)$$

Contudo, apesar de este modelo ter a capacidade de superar uma limitação (a existência da tensão de cedência) do modelo Newtoniano, não é suficiente para afirmar que quando a tensão de cedência é superada, a relação entre a taxa de corte e a tensão de corte é linear. Na verdade isto não é o caso, regra geral, e a tensão de cedência estimada é por norma significativamente sobrestimada.

- Modelo de Herschel-Bulkley

Assim sendo, um modelo que combine pseudoplásticos e a tensão de cedência é desejável, para lamas químicas e de fabrico. O modelo mais encontrado neste caso é o Herschel-Bulkley (9):

$$\tau = \tau_0 + K\dot{\gamma}^n \quad (9)$$

Existem modelos mais complexos, com mais parâmetros para melhores modelos de curvas de fluxo. Os que são mais utilizados para descrever matematicamente curvas de fluxo na indústria química e de fabrico são os referidos no presente estudo.

Quanto maior for a quantidade de dados disponível, maior será o ajuste e o modelo escolhido irá prever com maior precisão o comportamento de fluxo para um determinado líquido.

Para todos estes modelos reológicos temos:

τ = Tensão de corte;

τ_0 = Tensão limite de escoamento;

K = constante;

η = Viscosidade;

$\dot{\gamma}$ = Gradiente de velocidade.

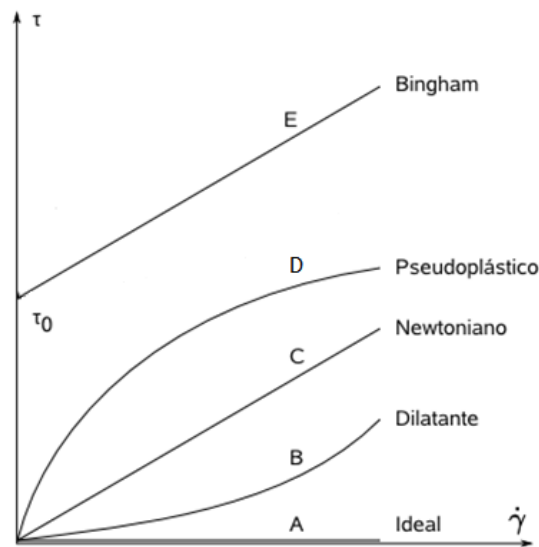


Figura 17 - Curvas ilustrativas dos tipos de fluidos de acordo com o comprimento da tensão de corte².

A: Este é o comportamento ideal de um fluido ideal. Como não existe viscosidade a tensão de corte é nula em qualquer ponto.

B: Este tipo é característico de algumas soluções de açúcar e amidos. A viscosidade aumenta com o aumento da taxa de corte.

C: Ao tipo Newtoniano pertencem a maior parte dos fluidos práticos tais como água, soluções aquosas, óleos, entre outros.

D: Neste grupo a viscosidade diminui quando a taxa de corte aumenta.

E: Este tipo tem um comportamento plástico e necessita de uma tensão inicial τ_0 para o início da cedência. Contrariamente aos plásticos sólidos, pode não apresentar elasticidade prévia. Este tipo pode ser visto como um fluido Newtoniano de tensão inicial maior que zero.

² Fonte: www.mspc.eng.br/fldetc/fluid_0910.shtml

2.7. Metodologia da planificação factorial de experiências

A metodologia apresentada neste sub-capítulo, baseada no trabalho de Pereira de Oliveira (1996), demonstra que de facto, um plano de experiências permite a um investigador que trabalhe na indústria, laboratório ou em qualquer outro sector, poupar imensas horas de trabalho, problemas e dinheiro que poderão surgir nessas horas de trabalho extraordinário.

Assim o investigador deve realizar primeiramente um inventário dos conhecimentos, seja de consultas a cálculos teóricos, seja bibliográficos ou de qualquer outra fonte, tendo como por objectivo responder sem realização de ensaios às pesquisas realizadas.

Depois da fase de pesquisa, os problemas devem ser concluídos com sucesso. Caso contrário, as questões continuam válidas ou são modificadas e, neste caso, será necessário realizar um procedimento experimental para que se obtenham as respostas requeridas.

É nesta fase que o investigador imagina quais as experiências que deverá efectuar, sendo que o grande problema será como seleccionar as experiências que devem ser feitas ou as que não devem. Para isso, existe uma estratégia a aplicar que será aquela que:

- Guie o mais rápido possível aos resultados esperados;
- Permita avançar em segurança;
- Traga uma melhor precisão aos resultados;
- Conduza à moldagem e à optimização dos fenómenos estudados.

Assim sendo, as experiências são organizadas de maneira a que a investigação dos resultados seja mais simples. As experiências serão igualmente organizadas de modo a permitir que os resultados sejam adquiridos de uma forma progressiva.

2.7.1. Método Clássico

O estudo de um fenómeno pode ser planeado da seguinte maneira: o investigador interessa-se por uma grandeza, como o preço do custo de um produto, ou a resistência de um betão. Essa grandeza, preço ou resistência, dependerá de um grande número de variáveis. O preço do produto dependerá da qualidade das matérias-primas utilizadas nesse produto e a mesma coisa acontece com a resistência do betão.

Matematicamente podemos dizer que a grandeza de interesse y , a que chamamos de resposta, é uma função de várias variáveis x_i (variáveis a que chamamos factores) (10).

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad (10)$$

Para estudar a função $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, vai ser descrito de um modo sintetizado o método clássico.

Posto isto, o método clássico consiste na fixação de todas as variáveis, salvo uma, e mede-se a resposta y em função dos vários valores da variável não fixa de x_j .

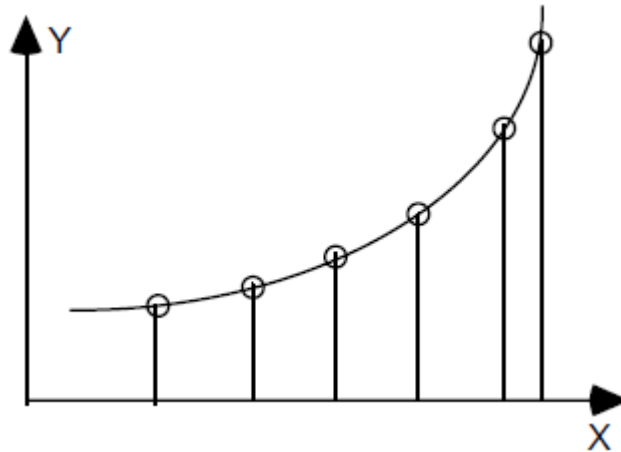


Figura 18 - Representação de como a variável x_j varia de nível, as outras são fixas

No final da experiência com essa primeira variável, pode-se traçar uma curva representativa de $y = f(x_1)$.

Se queremos estudar simplesmente 7 factores e queremos apenas 5 pontos experimentais para cada variável, será necessário executar $5^7=78125$ experiências, o que representa um enorme trabalho para quem o tiver de realizar.

Logo, o investigador deve reduzir o número de ensaios e, para isso, existem dois cenários possíveis:

- Diminuir o número de pontos experimentais;
- Diminuir o número de variáveis.

Para o primeiro temos 3 pontos no lugar de 5, por variável, teremos ainda $3^7=2187$ experiências a realizar.

Para 2 pontos será necessário $2^7=128$ experiências, o que continua a ser uma grande quantidade e que certamente, iria ultrapassar os recursos e o tempo disponível para o estudo.

Então diminui-se o número de variáveis. Para 4 variáveis, cada uma com 3 valores, será necessário $3^4=81$ experiências. Esta maneira de actuar deixa sempre um sentimento de mal-

estar ao investigador, pois o afastamento de certas variáveis deixa sempre dúvidas sobre os resultados obtidos. O investigador, nestes casos é obrigado a tomar as devidas precauções quando apresenta as suas conclusões, mas que no entanto, são manifestamente insuficientes.

Para que estes inconvenientes não aconteçam, especialmente no que se refere a experiências onde estão em jogo riscos ligados à segurança ou a montantes financeiros importantes, aplica-se o Método do Plano Factorial de Experiências, que irá ser apresentado no subcapítulo seguinte.

2.7.2. Método do Plano Factorial de Experiências

A diferença primordial entre este método e o método clássico prende-se com o facto de neste variarem todos os níveis de factores ao mesmo tempo em cada experiência, mas de uma maneira programada e racional. Pode parecer estranho à primeira vista, mas o facto de variarem todos os factores ao mesmo tempo não é um inconveniente, antes pelo contrário, pois adquirem-se vantagens, tais como:

- Diminuição do número de ensaios;
- Grande número de factores estudados;
- Detecção das interacções entre os factores;
- Melhor precisão sobre os resultados;
- Modelagem dos resultados.

Os planos de experiências possibilitam o estudo de imensos factores, no entanto com manutenção do número de ensaio em quantidades razoáveis, o que faz com que uma das principais aplicações seja ao nível da pesquisa dos factores influentes.

A pesquisa dos factores influentes consiste em fixar apenas 2 valores para cada factor, que serão chamados de níveis. Consiste também em estudar o maior número possível de factores, mesmo os que parecem ter fraca influência.

De todos os factores que serão estudados, muitos não serão influentes e só alguns terão influência na variação da resposta. Será assim mais fácil fazer a selecção dos novos pontos experimentais para definir o aspecto do estudo em função dos resultados obtidos.

Assim com todos os factores influentes escolhidos e estudados, utilizando apenas o número de experiências necessários, o estudo ficará terminado sem perda de tempo e de dinheiro.

Para uma melhor explicação deste método, será apresentado a seguir de um modo bastante simples, as equações necessárias para a realização deste método, para a uma melhor compreensão.

Para se apresentarem os ensaios, representa-se o nível baixo de cada factor por **-1** e o nível mais alto por **+1**.

Para obter as respostas (neste caso o rendimento) teremos que usar as fórmulas gerais dos efeitos, e que consiste em chamarmos y_1 à resposta do ensaio 1, y_2 à resposta do ensaio 2, etc.

Por definição, o efeito global do factor 1 é a diferença entre a média das respostas no nível alto do factor 1 e a diferença entre a média das respostas no nível alto do factor 1 e a média das respostas no nível baixo do factor 1.

- Para nível alto do factor 1 (11):

$$\bar{y}_+ = \frac{1}{2}(y_2 + y_4) \quad (11)$$

- Para nível baixo do factor 1 (12):

$$\bar{y}_- = \frac{1}{2}(y_1 + y_3) \quad (12)$$

Por definição, o efeito médio do factor 1 $E_{fac.1}$ é dada por (13):

$$E_{fac.1} = \frac{1}{4}(-y_1 + y_2 - y_3 + y_4) \quad (13)$$

E do factor 2 $E_{fac.2}$ é dada por (14):

$$E_{fac.2} = \frac{1}{4}(-y_1 - y_2 + y_3 + y_4) \quad (14)$$

É de referir ainda o facto de a média I de todas as respostas é dada por (15):

$$I = \frac{1}{4}(+y_1 + y_2 + y_3 + y_4) \quad (15)$$

2.7.2.1. Planos completos a K factores: 2^k

Sempre que os factores são muito numerosos, pode-se utilizar os planos 2^k com k na grandeza que se deseja.

A matriz das experiências e a matriz dos efeitos constroem-se segundo as regras que foram descritas anteriormente. O cálculo de k efeitos principais e dos $2^k - k - 1$ iterações efectua-se da mesma maneira. Não existe limite teórico para o número k de factores estudados, simplesmente o número de ensaios que começa a crescer rapidamente quando k aumenta.

Para calcular os efeitos a partir dos resultados das experiências será construída uma matriz de efeitos. No caso de um plano 2^2 resulta:

Tabela 5 - Matriz de efeitos de um plano 2^2

| Nº do ensaio | Média | Factor 1 | Factor 2 | Interacção 12 |
|--------------|-------|----------|----------|---------------|
| 1 | +1 | -1 | -1 | +1 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | -1 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | +1 |

Colocada na forma matricial, temos (16):

$$X = \begin{bmatrix} +1 & -1 & -1 & +1 \\ +1 & +1 & -1 & -1 \\ +1 & -1 & +1 & -1 \\ +1 & +1 & +1 & +1 \end{bmatrix} \quad (16)$$

Da qual a matriz transposta será (17):

$$X^t = \begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{bmatrix} \quad (17)$$

Os conjuntos dos resultados das experiências y_k serão colocados de forma de matriz-vector Y (18).

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad (18)$$

Da mesma maneira pode-se escrever para os efeitos (19):

$$E = \begin{bmatrix} I \\ E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (19)$$

Multiplicando a matriz X^t por Y, temos (20):

$$\begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} \quad (20)$$

O primeiro elemento da matriz produto é:

$$+y_1 + y_2 + y_3 + y_4$$

Ou seja 4 vezes a média. O segundo elemento é:

$$-y_1+y_2-y_3+y_4$$

Ou seja 4 vezes E, o efeito do factor 1. Como o resultado é semelhante para o 3º e 4º elemento da matriz produto, pode-se escrever (21):

$$\begin{bmatrix} +1 & +1 & +1 & +1 \\ -1 & +1 & -1 & +1 \\ -1 & -1 & +1 & +1 \\ +1 & -1 & -1 & +1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \end{bmatrix} = 4 \begin{bmatrix} I \\ E_1 \\ E_2 \\ E_3 \end{bmatrix} \quad (21)$$

Ou sob a forma condensada (22):

$$X^t Y = 4E \quad (22)$$

Esta relação generaliza-se a todos os planos factoriais completos a 2 níveis, com n a ser o número de ensaios (23).

$$X^t Y = nE \quad (23)$$

ou (24)

$$E = \frac{1}{n} X^t Y \quad (24)$$

Está encontrada de forma matricial, a técnica do cálculo que se emprega para planos 2^k .

De seguida terá que se calcular o desvio padrão dos resultados e posteriormente a variância média, que será igual à média dos valores do desvio padrão ao quadrado.

O desvio padrão do conjunto de respostas é a raiz quadrada da variância média (25):

$$s_y = \sqrt{s_y^2} \quad (25)$$

A variância sobre o efeito será calculada através de (26):

$$s_E^2 = \frac{1}{n^2} (n s_y^2) \quad (26)$$

O erro tipo (experimental) sobre o efeito será então a raiz quadrada da variância de um efeito.

Posto isto compara-se com os valores dos efeitos, dividindo o valor do efeito pelo erro tipo, sendo que:

- Se o efeito for 3 vezes os erros tipo, ele não será influente em 0,1% dos casos e será ligeiramente influente nos 99,9% dos casos;
- Se o efeito for 2, ele não será influente em 5% dos casos;
- Se o efeito for 1, não será influente em 32% dos casos.

A metodologia de estudo experimental acima citada é uma boa forma de otimizar tempo, trabalho e material quando se realizam trabalhos laboratoriais em que se tem que efectuar muitos ensaios. Os resultados da metodologia referentes ao presente estudo serão apresentados no capítulo 4.

Capítulo 3

Programa Experimental

Capítulo 3. Programa Experimental

3.1. Introdução

Com o intuito de analisar o comportamento de argamassas de revestimento com adição de fibras sintéticas, foi realizado um estudo experimental no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade da Beira Interior.

Na descrição do programa experimental será efectuada uma referência à metodologia adoptada de maneira a que os objectivos propostos sejam atingidos e cujos procedimentos descritos serão seguidos na realização dos ensaios.

No presente trabalho experimental foram preparadas duas argamassas distintas: uma apresenta um traço volumétrico de 1:3 (cimento/areia) com uma relação água/cimento de 0,5, com a qual se realizou os ensaios programados excepto o estudo reológico. Em analogia ao trabalho de Banfill e seus colaboradores (2006), utilizou-se o traço volumétrico é de 1:0,5 (cimento /areia) com relação água/cimento de 0,40, para a determinação dos parâmetros reológicos das argamassas com fibras. A cada um dos dois tipos de argamassas preparadas (uma de traço 1:3 e outra 1:0,5) foram adicionadas fibras acrílicas com diferentes características (diâmetro e comprimento) e volumes. Para além deste facto foi ainda ensaiada uma argamassa sem fibras, que serviu de referência para o procedimento experimental. Assim sendo, segundo o plano factorial de experiencias detalhado no capítulo a seguir, foram estudadas no total nove misturas para cada uma das proporções anteriormente referidas.

Inicialmente, para cada argamassa, foram realizados ensaios no estado fresco: consistência por espalhamento (Flow Table) e reologia. Para a caracterização da argamassa no estado endurecido foram realizados os seguintes ensaios: resistência à flexão e tracção, determinação da velocidade de ultra-sons, absorção de água por capilaridade, retracção e massa volúmica. Para a realização do plano de ensaio estabelecido, foram fabricados provetes prismáticos (16x4x4 cm) que foram colocados numa câmara de cura a uma temperatura de $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ e a uma humidade relativa de $90\pm 5\%$, de modo a garantir condições de cura para todas as situações em análise. Os provetes prismáticos foram desmoldados ao fim de 2/3 dias e conservados depois na mesma câmara de cura, até à realização dos ensaios de caracterização no estado endurecido, consoante as várias idades (7, 14, 21 e 28 dias) dos provetes prismáticos seleccionados para o estudo do seu desempenho. De realçar que para a realização do ensaio de retracção, os provetes estiveram na câmara de cura até à desmoldagem dos mesmos, sendo que nos dias seguintes foram colocados numa sala em que a temperatura era de $16\pm 2^{\circ}\text{C}$ e a humidade relativa era de $50\pm 5\%$. Foram utilizados 12 provetes prismáticos de cada argamassa, sendo que para a determinação da massa volúmica foram necessários três

provetes, outros três para a determinação da absorção de água por capilaridade mais três para a retracção. Para o ensaio de determinação da velocidade de ultra-sons resistência à flexão e à tracção utilizaram-se os mesmos três provetes pois como o ensaio de determinação da velocidade de ultra-sons não é um ensaio destrutivo, podem-se utilizar os mesmos provetes para a realização dos outros dois ensaios, sendo que o ensaio de resistência à flexão se realiza primeiramente ao ensaio de resistência à compressão.

3.2. Selecção e caracterização dos materiais utilizados

3.2.1. Generalidades

A selecção dos materiais que foram utilizados neste trabalho foi efectuada mediante pesquisa bibliográfica e tendo em conta os materiais existentes no Laboratório de Engenharias da Universidade da Beira Interior.

Nos subcapítulos seguintes, serão descritos os materiais e equipamentos na realização do trabalho experimental.

3.2.2. Ligantes

De entre os diversos tipos de ligantes existentes, o cimento Portland Normal (CEM I 42,5R) foi o seleccionado para o presente estudo.

3.2.3. Agregados

Quanto aos agregados a escolha recaiu sobre a areia do Tejo (Areia Grossa) que possui uma dimensão máxima de 2mm, um módulo de finura 2,82 e massa volúmica de 2590Kg/m³, enquanto que a areia da Figueira da Foz (Areia Fina) apresenta um modulo de finura de 1,96. A figura 19 apresenta a curva granulométrica das areais utilizadas na realização do trabalho.

A tabela 6 mostra a percentagem das areias passadas nos peneiros e o módulo de finura para a realização da análise granulométrica das areias que foram utilizadas nos ensaios das argamassas estudadas.

Tabela 6 - Análise granulométrica das areias utilizadas

| Peneiro | Malha (mm) | Percentagens acumuladas | | | |
|------------------|---------------|-------------------------|----------------|-----------------|----------------|
| | | Areia Fina | | Areia Grossa | |
| | | Passados (%) | Retidos (%) | Passados (%) | Retidos (%) |
| 3" | 76,20 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| 2" | 50,80 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| 1" ½ | 38,10 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| 1" | 25,40 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| ¾" | 19,10 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| ½" | 12,70 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| 3/8" | 9,52 | 100 | 0,00 | 100 | 0,00 |
| nº 4 | 4,76 | 100 | 0,00 | 98,48 | 1,52 |
| nº 8 | 2,38 | 99,9 | 0,10 | 94,23 | 5,77 |
| nº 16 | 1,190 | 99,5 | 0,50 | 78,40 | 21,60 |
| nº 30 | 0,590 | 82,8 | 17,50 | 40,43 | 59,57 |
| nº 50 | 0,297 | 20,5 | 79,50 | 5,91 | 94,09 |
| nº 100 | 0,149 | 1,2 | 98,80 | 0,44 | 99,56 |
| nº 200 | 0,074 | 0,2 | 99,8 | 0,15 | 99,85 |
| Módulo de Finura | | 1,96 | | 2,82 | |

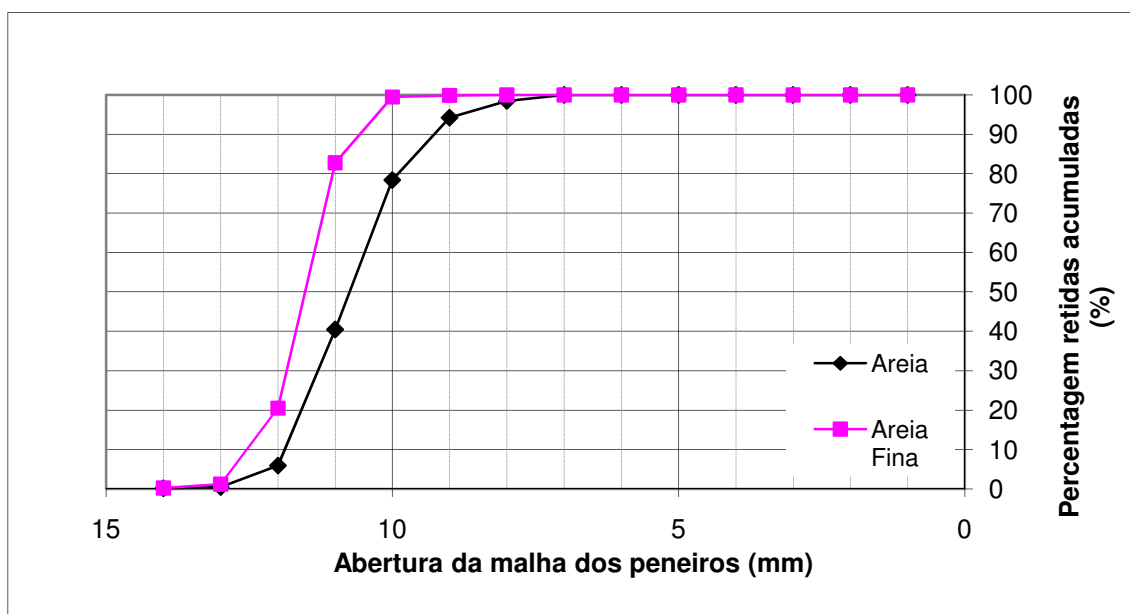


Figura 19 - Curva granulométrica das areias

3.2.4. Água de amassadura

No que refere à água utilizada no trabalho, pode-se afirmar que não houve especial preocupação relativamente às características da mesma. Foi por isso utilizada água potável da rede pública de abastecimento.

3.2.5. Superplastificante

O superplastificante seleccionado para a concretização deste trabalho é produzido pela SIKA e designa-se por Sika ViscoCrete-3002 HE e trata-se de um redutor de água.

3.2.6. Fibras Sintéticas

De forma a concretizar o estudo pretendido, as fibras são indispensáveis. Neste caso, utilizaram-se fibras acrílicas produzidas pela FISIFE - Fibras Sintéticas de Portugal. As características essenciais das fibras acrílicas usadas na preparação das argamassas estão apresentadas na tabela 4.

3.2.7. Equipamentos utilizados na preparação das argamassas

Na preparação das argamassas foi necessária a utilização de equipamentos que são essenciais como a misturadora, balança, moldes prismáticos e compactador.

A misturadora utilizada é composta por um recipiente em aço inoxidável com uma capacidade máxima de 1,6 litros. Possui uma pá misturada em aço inoxidável que é accionada com um motor eléctrico com velocidade ajustável.



Figura 20 - Misturadora



Figura 21 - Recipiente em aço inoxidável

O molde utilizado para execução dos provetes tem três compartimentos horizontais o que possibilita a preparação de três provetes prismáticos em simultâneo, com uma secção transversal de 160mm de comprimento e 40x40mm de altura e largura.



Figura 22 - Moldes prismáticos

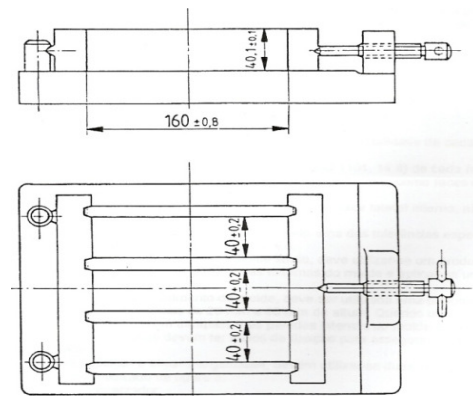


Figura 23 - Dimensões dos moldes prismáticos

O compactador utilizado é composto por uma base quadrada onde se colocam os moldes. A compactação da argamassa faz-se quando em funcionamento, a mesa é levantada a uma altura de aproximadamente 20mm, caindo depois em queda livre. Este movimento repete-se a uma velocidade constante durante 60 vezes.



Figura 24 - Compactadora

A balança que foi usada para efectuar todas as medições necessárias foi uma balança de precisão KERN PCB com uma capacidade máxima de pesagem de 10Kg.



Figura 25 - Balança de precisão

3.3. Preparação das argamassas

Para a realização das argamassas é necessário conhecer o traço volumétrico e o volume desejado, sendo que no caso deste trabalho experimental esses dados foram adaptados de idênticos trabalhos realizados. Assim sendo, para maior precisão, foi possível determinar as quantidades em massa dos vários constituintes das argamassas, apresentando-se estes valores na tabela 7.

Tabela 7 - Quantidades dos constituintes das argamassas produzidas

| Argamassa | Traço Volumétrico | Quantidades dos constituintes (g) | | | | | |
|-----------|-------------------|-----------------------------------|-------|--------------------|------|--------|-------------|
| | | Cimento | Areia | Superplastificante | Água | Fibras | Relação A/C |
| 1 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | - | 0,66 |
| 2 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 2,9 | 0,66 |
| 3 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 7,3 | 0,66 |
| 4 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 2,9 | 0,66 |
| 5 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 7,3 | 0,66 |
| 6 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 7,3 | 0,66 |
| 7 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 2,9 | 0,66 |
| 8 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 2,9 | 0,66 |
| 9 | 1/3 | 600 | 400 | 30 | 400 | 7,3 | 0,66 |
| 1A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | - | 0,35 |
| 2A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 1,84 | 0,35 |
| 3A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 4,6 | 0,35 |
| 4A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 1,84 | 0,35 |
| 5A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 4,6 | 0,35 |
| 6A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 4,6 | 0,35 |
| 7A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 1,84 | 0,35 |
| 8A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 1,84 | 0,35 |
| 9A | 1/0,5 | 900 | 450 | 5,4 | 320 | 4,6 | 0,35 |

Com as quantidades dos constituintes determinadas, passou-se à preparação das argamassas, seguindo os seguintes passos:

- I. Pesagem de cada um dos constituintes da argamassa na balança de precisão;



Figura 26 - Pesagem da areia

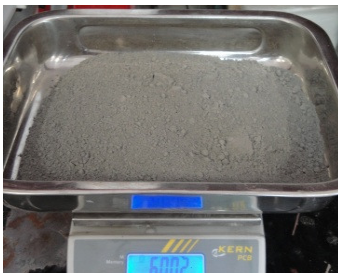


Figura 27 - Pesagem do cimento



Figura 28 - Pesagem das fibras

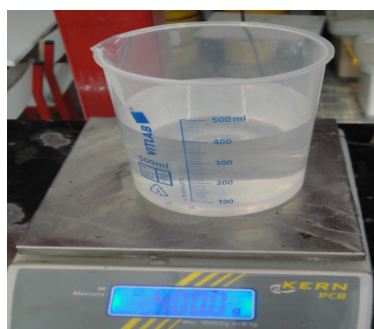


Figura 29 - Pesagem da água

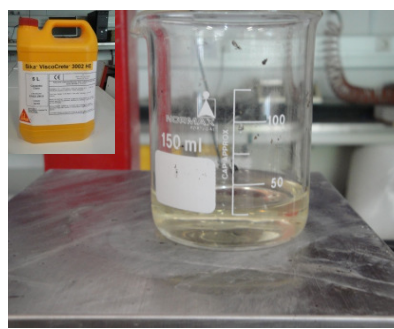


Figura 30 - Pesagem do Superplastificante

- III. Seguidamente introduzem-se no recipiente em aço inoxidável e coloca-se o recipiente na misturadora. Liga-se a misturadora durante 30 segundos e desliga-se para colocação do superplastificante. De seguida liga-se novamente durante 1 minuto. De notar que este procedimento é para o caso das argamassas tradicionais, pois para as argamassas com fibras o procedimento é ligeiramente diferente.



Figura 31 - Amassadura da argamassa



Figura 32 - Argamassa produzida

- II.1. Para o caso das argamassas que contêm fibras, o procedimento é ligeiramente diferente. As fibras são colocadas num garrafão antes de irem para o recipiente juntamente com areia e o cimento com o intuito de que as fibras tenham uma adequada dispersão, evitando a criação de módulos na altura da amassadura. De seguida o garrafão é agitado na vertical e na horizontal cerca de 1 minuto e só é depois despejado todo o material do garrafão no recipiente. Posteriormente o processo decorre de igual forma que nas argamassas tradicionais (ponto II.).



Figura 33 - Adição das fibras acrílicas à matriz cimentícia



Figura 34 - Colocação da matriz cimentícia fibrosa no garrafão

- IV. Depois da amassadura da argamassa realizam-se os ensaios das argamassas no estado fresco.
- V. Colocou-se a argamassa proveniente do recipiente e dos ensaios no estado fresco nos moldes prismáticos untados previamente com óleo hidráulico, para que na descofragem das argamassas não fiquem colados aos moldes.

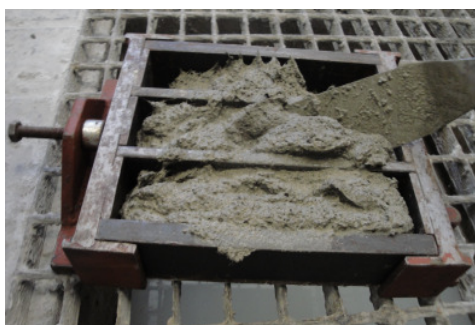


Figura 35 - Colocação da argamassa no molde prismático



Figura 36 - Extração dos excessos de argamassa nos moldes

- VI. Depois da argamassa colocada nos moldes, utiliza-se o compactador para homogeneizar e “arranjar” os constituintes da argamassa.



Figura 37 - Compactação da argamassa

- VII. Procede-se depois à desmoldagem das argamassas no dia seguinte e conservam-se os provetes prismáticos com a respectiva identificação na câmara de cura a uma temperatura de aproximadamente $18\pm 2^{\circ}\text{C}$ e uma humidade relativa de $90\pm 5\%$.



Figura 38 - Câmara de cura



Figura 39 - Provetes na câmara de cura

3.4. Ensaios realizados

3.4.1. Ensaios da argamassa no estado fresco

Os ensaios que foram realizados para caracterizar as argamassas no estado fresco foram: consistência por espalhamento (Flow Table), massa volúmica da argamassa em pasta e o ensaio reológico.

O ensaio de consistência por espalhamento (Flow Table) é aplicado como uma medida da trabalhabilidade e uniformidade da argamassa. O ensaio da massa volúmica da argamassa em

pasta permite encontrar o contributo de cada constituinte na argamassa. O ensaio reológico permite determinar parâmetros como a viscosidade e a tensão de cedência.

3.4.1.1. Ensaio da consistência por espalhamento (Flow Table)

Este ensaio tem por base a Norma Europeia EN 1015-3. Depois da amassadura da argamassa, esta é introduzida num molde cónico, devidamente centrado no disco em aço inoxidável até meia altura. Com a ajuda de um pilão, compacta-se a argamassa com 10 pancadas. Acaba-se de encher o molde cónico com argamassa e retira-se o excedente com a espátula. Com ajuda de um manípulo, através de rotação manual, empregam-se 15 pancadas sempre com a mesma frequência de aproximadamente 1 segundo. Com o auxílio de uma régua mede-se o diâmetro da pasta em milímetros nas duas direcções perpendiculares. Este ensaio é realizado para todas as amassaduras.



Figura 40 - Colocação da argamassa no molde cónico



Figura 41 - Argamassa sem o molde cónico



Figura 42 - Medição do espalhamento da argamassa

3.4.1.2. Ensaio da massa volúmica da argamassa no estado fresco

Este ensaio é obtido com base na Norma Europeia EN 1015-6. Pesa-se o molde cilíndrico de capacidade igual a 1 litro e de seguida é colocada a argamassa até meia altura. Compacta-se a argamassa com 10 pequenas pancadas através da oscilação do recipiente em lados alternados. Enche-se o recipiente e com a espátula retira-se a argamassa excedente, ao nível da aresta superior do recipiente e dá-se nova compactação. No final pesa-se novamente o recipiente cheio. A massa volúmica é o quociente entre a massa e o volume do corpo.



Figura 43 - Argamassa no recipiente de ensaio da massa volúmica



Figura 44 - Argamassa depois do ensaio da massa volúmica em pasta

3.4.1.3. Ensaio reológico

O ensaio reológico foi realizado através de um reómetro VISKOMAT NT. A argamassa é colocada num recipiente e de seguida, coloca-se o mesmo no reómetro. Elege-se o perfil desejado que neste caso foi o perfil de “STEPS” para a argamassa com traço volumétrico 1:3 e para a argamassa com o traço volumétrico 1:0,5 foi escolhido o perfil de “RAMPS”. Existe uma pá que desce até ao fundo do recipiente que entra em contacto com a argamassa. Seguidamente, a base onde o recipiente é colocado entra em rotação com uma velocidade que foi escolhida para variar com o tempo.

Para o perfil denominado “STEP”, a velocidade varia de 20 em 20rpm, passando de um valor inicial de zero a 160rpm, passando depois para zero como mostra a figura 3. Para o perfil denominado de “RAMP”, foi adaptado de Banfill e seus colaboradores (2006), que estudou a reologia de argamassas reforçadas com fibras de carbono. Neste perfil, a velocidade passa do zero para as 160rpm logo no primeiro minuto, mantendo-se neste valor até aos 2 minutos. A partir daí, a velocidade decresce até zero durante os cinco minutos restantes, como mostra a figura 4



Figura 45 - Argamassa pronta para o ensaio reológico



Figura 46 - Reómetro onde se ensaiam as argamassas



Figura 47 - Viskomat NT

Estes perfis possibilitam chegar a valores de equilíbrio de torque para cada velocidade e construir assim curvas de equilíbrio de escoamento para determinar os coeficientes relativos de viscosidade plástica e de tensão de cedência

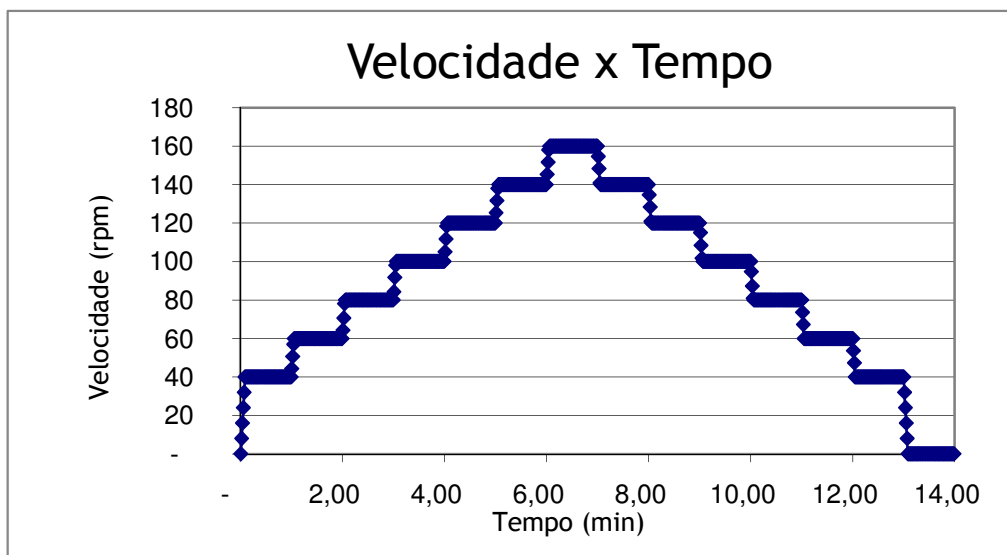


Figura 48 - Perfil em Degraus ("STEPS") do ensaio reológico

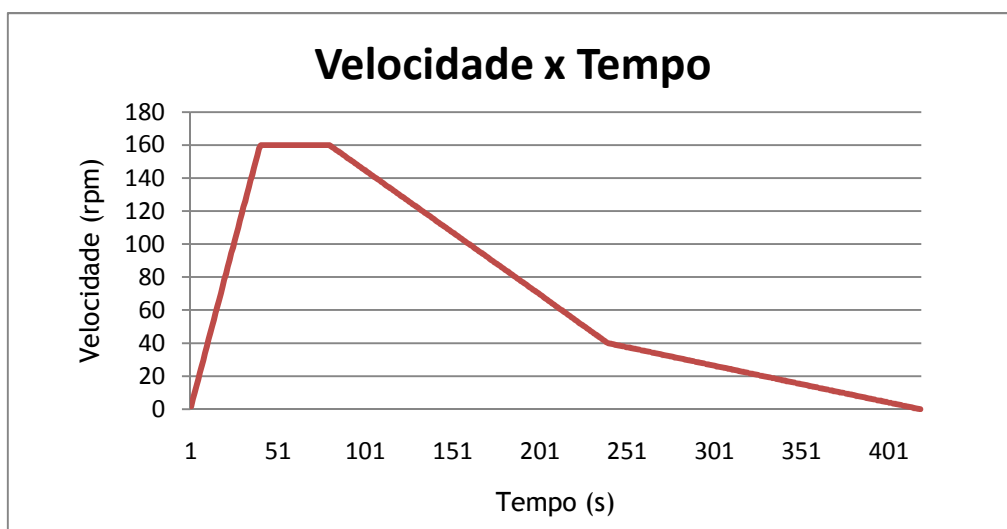


Figura 49 - Perfil em Rampa ("RAMP") do ensaio reológico

3.4.2. Ensaio das argamassas no estado endurecido

Os ensaios que foram realizados de modo a caracterizar as argamassas no estado endurecido foram: resistência à flexão e à compressão, massa volúmica no estado endurecido, ultra-sons, absorção de água por capilaridade e retracção.

3.4.2.1. Ensaio de resistência à flexão

Este ensaio é realizado com base na Norma Europeia EN 1015-11. Neste ensaio, o provete de 160x40x40mm é colocado sobre os apoios que distam 15cm entre si. São introduzidos os dados necessários no programa que a máquina de testes (ZWICK 1435). É aplicada uma carga sem choque, a uma velocidade de 5N/s no centro do provete. A face de ruptura de flexão corresponde à força máxima registada pela máquina até que a ruptura do provete aconteça. Este ensaio é realizado aos 7 e aos 28 dias de idade.



Figura 50 - Ensaio à flexão



Figura 51 - Máquina (ZWICK 1435) de flexão

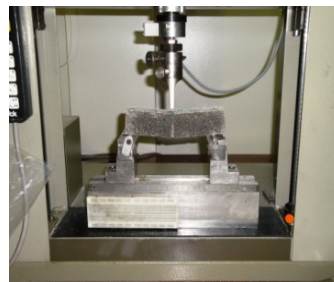


Figura 52 - Ruptura do provete no ensaio à flexão

3.4.2.2. Ensaio de resistência à compressão

Este ensaio é obtido com base na mesma norma que no ensaio da resistência à flexão. Neste ensaio são utilizadas as metades dos provetes resultantes do ensaio à flexão. Os provetes são colocados de encontro aos marcadores de aço, nos quais é aplicada uma carga sem choque até que a ruptura dos provetes de 40x40x40mm aconteça. O valor da resistência à compressão é obtido através da média dos valores individuais. Este ensaio é realizado aos 7 e aos 28 dias de idade.



Figura 53 - Máquina de ensaio à compressão



Figura 54 - Ruptura do provete

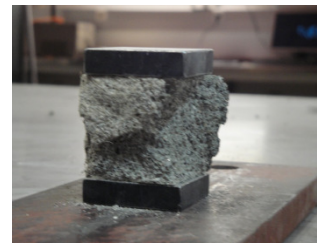


Figura 55 - Provede depois do ensaio à compressão

3.4.2.3. Ensaio da massa volúmica no estado endurecido

Este ensaio é obtido com base na Norma Europeia EN 1015-10. Ao fim de 28 dias, os provetes provenientes da câmara de cura, são colocados numa estufa a uma temperatura de aproximadamente 70±5°C durante duas horas. Depois de retirada do forno, pesa-se o provete e imerge-se em água durante um dia. Pesa-se novamente o provete e de maneira a calcular o

volume, é colocado dentro de um cesto imerso em água. A massa volúmica da argamassa é calculada através do quociente entre a massa do provete depois de imerso em água e o volume calculado do mesmo.

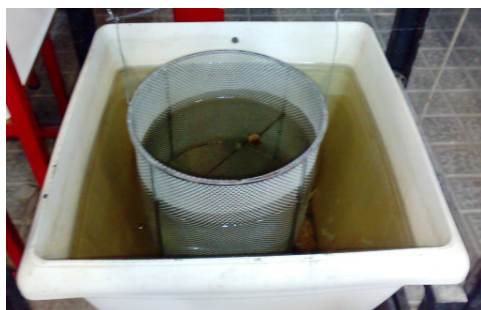


Figura 56 - Cilindro onde se ensaiam os provetes



Figura 57 - Ensaio da massa volúmica

3.4.2.4. Ensaio de ultra-sons

Este ensaio consiste na determinação da velocidade de propagação de um impulso ultra-sónico, entre dois pontos, para que assim se obtenha informação acerca da homogeneidade da argamassa, da presença de fendas e defeitos da argamassa e das características mecânicas. O tempo que é gasto no percurso de um ponto ao outro é medido em μseg , sendo assim possível calcular a velocidade de propagação numa argamassa. O ensaio consiste na colocação de um transmissor e de um receptor nas extremidades dos provetes. Considera-se a média de três valores para os resultados dos ensaios. Este ensaio foi efectuado para todos os provetes prismáticos submetidos à determinação da resistência à flexão e à compressão. Foi realizado aos provetes com 28 dias de idade.



Figura 58 - Colocação do transmissor e do receptor nas extremidades do provete

3.4.2.5. Ensaio de absorção de água por capilaridade

Este ensaio foi obtido com base na Norma Europeia EN1015-18. As amostras são cortadas ao meio antes de serem secas numa estufa ventilada a uma temperatura de aproximadamente $60\pm 5^{\circ}\text{C}$ durante 48 horas. Os provetes depois de retirados da estufa são colocados num tabuleiro com água, com uma das faces para baixo. Os provetes devem estar imerso em água, a uma profundidade de 5mm a 10mm, durante o teste. Depois de colocados no tabuleiro, este deve ser coberto para evitar a evaporação da água. A medição é realizada antes de se colocarem os provetes no tabuleiro, aos 10, 20, 30, 60, 90 minutos, e os valores obtidos através da pesagem dos provetes expressos em gramas.



Figura 59 - Secagem dos provetes na estufa

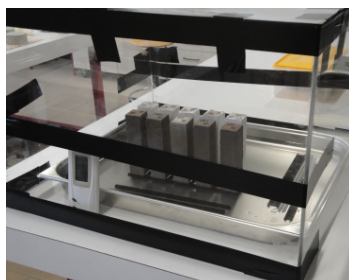


Figura 60 - Provetes cobertos para evitar a evaporação da água

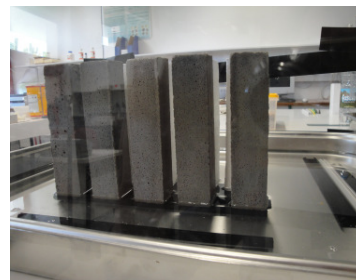


Figura 61 - Provetes imersos em água

3.4.2.6. Ensaio de retracção

O ensaio de retracção tem como objectivo verificar a diferença entre o valor do comprimento de um provete após secagem e o valor do comprimento logo após a desmoldagem.

Para a realização deste ensaio foi necessário colocar os provetes desmoldados numa sala de cura, a uma temperatura de aproximadamente $16\pm 2^{\circ}\text{C}$ e humidade relativa de $50\pm 5\%$ medidas numa estação meteorológica durante os 28 dias que a realização do ensaio dura. Antes da colocação da argamassa nos moldes, são colocados dois parafusos em cada uma das extremidades dos provetes. Foram medidas as distâncias entre as extremidades dos provetes imediatamente após a desmoldagem, aos 7, 14, 21 e 28 dias de idade. Colocam-se os provetes no aparelho e retira-se o valor apresentado no visor. Considera-se a média de três valores para os resultados obtidos.



Figura 62 - Provetes na sala de cura



Figura 63 - Estação meteorológica



Figura 64 - Aparelho de medição do ensaio à retracção

Após uma descrição mais aprofundada relativa aos constituintes da matriz cimentícia, à preparação das argamassas e dos ensaios realizados no presente trabalho, serão apresentados no capítulo seguinte os resultados e as conclusões que foram obtidas.

Capítulo 4

Resultados e discussão

4.1. Introdução

Neste capítulo são apresentados todos os resultados obtidos através da realização dos ensaios de caracterização das argamassas estudadas. Os resultados serão apresentados pela mesma sequência da descrição dos ensaios efectuados no capítulo anterior.

4.2. Ensaio e resultados

4.2.1. Respostas do Método dos Planos Experimentais

Antes de se analisarem os resultados dos ensaios feitos às argamassas, vai ser mostrado o resultado do método dos planos experimental, plano este falado no subcapítulo 2.7.

A tabela 8 mostra a previsão dos resultados ou respostas segundo o método dos planos experimentais de todos os ensaios realizados.

Tabela 8 - Quadro de resposta pelo Método dos Planos Experimentais

| Arg. | Factor 1 (Comp. L) [mm] | Factor 2 (Diâm.D) [µm] | Factor 3 (Volume) [%] | Resposta (Flexão) [N/mm ²] | Resposta (Compressão) [N/mm ²] | Resposta (Ultrasom) [MPa] | Resposta (Retracção) [mm/mm] | Resposta (Capilaridade) [Kg/(m ² *min ^{0,5})] |
|------|-------------------------|------------------------|-----------------------|--|--|---------------------------|------------------------------|--|
| 2 | - | - | - | 3,54 | 16,36 | 13613,6 | -0,000053 | 0,5 |
| 3 | + | - | - | 2,92 | 11,64 | 11844,1 | -0,000112 | 0,7 |
| 4 | - | + | - | 3,41 | 19,75 | 12516,2 | -0,000172 | 0,4 |
| 5 | + | + | - | 3,67 | 14,53 | 12288,0 | -0,000051 | 0,2 |
| 6 | - | - | + | 3,09 | 13,92 | 10469,5 | -0,000074 | 0,8 |
| 7 | + | - | + | 3,18 | 13,03 | 11123,5 | -0,000093 | 0,7 |
| 8 | - | + | + | 3,16 | 16,14 | 11686,7 | -0,000073 | 0,4 |
| 9 | + | + | + | 2,76 | 12,81 | 10081,2 | -0,000087 | 0,6 |

Tabela 9 - Matriz de Efeitos para a Flexão

| Matriz de Efeitos (Flexão) | | | | | | | | | | | |
|----------------------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------------|---------------|---------------------|
| Arg. | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Flexão) | Desvio Padrão | (D.P.) ² |
| 1 | | | | | | | | | | | |
| 2 | + | - | - | - | + | + | + | - | 3,54 | 0,20 | 0,040 |
| 3 | + | + | - | - | - | - | + | + | 2,92 | 0,08 | 0,006 |
| 4 | + | - | + | - | - | + | - | + | 3,41 | 0,23 | 0,053 |
| 5 | + | + | + | - | + | - | - | - | 3,67 | 0,12 | 0,014 |
| 6 | + | - | - | + | + | - | - | + | 3,09 | 0,28 | 0,078 |
| 7 | + | + | - | + | - | + | - | - | 3,18 | 0,10 | 0,010 |
| 8 | + | - | + | + | - | - | + | - | 3,16 | 0,10 | 0,010 |
| 9 | + | + | + | + | + | + | + | + | 2,76 | 0,27 | 0,073 |
| | | | | | | | | | | | 0,036 |

Tabela 10 - Média dos Efeitos

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| Divisor | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Efeitos | 3,216 | -0,084 | 0,034 | -0,169 | 0,049 | 0,006 | -0,121 | -0,171 |

Tabela 11 - Variâncias e Erro Tipo

| | |
|-------------------------------|--------|
| Variância média das respostas | 0,0356 |
| Variância sobre um efeito | 0,0015 |
| Erro tipo sobre um efeito | 0,0385 |

Tabela 12 - Relação entre o valor do Efeito e o Erro Tipo

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | |
|---|-------|--------|-------|-------|--------|--------|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
| -2,173 | 0,875 | -4,379 | 1,265 | 0,162 | -3,147 | -4,445 |

Da previsão dos resultados obtidos na tabela 12 podemos dizer, com 95% de confiança que para o ensaio à flexão os efeitos mais influentes são os E1, E3, E23, E123. Logo, podemos dizer que o comprimento (L), o volume (V_f), a interação entre o diâmetro (D) e o volume e a interação entre o comprimento, diâmetro e volume das fibras acrílicas são as características que mais irão influenciar os resultados à flexão.

O modelo de previsão de resistência à flexão (R_{fle}) é representado por:

$$R_{fle}=3,216-0,84L-0,169V_f-0,121D \times V_f-0,121L \times D \times V_f$$

Da matriz de efeitos, apresentado no anexo 27, a resistência à compressão é significativamente influente para no comprimento e no diâmetro. A interação entre o comprimento, diâmetro e volume de fibras também irá ter o seu peso na resistência à compressão.

O modelo de previsão de resistência à compressão (R_{comp}) é representado por:

$$R_{comp}=14,77-1,77L+1,04D$$

Da previsão dos resultados obtido na tabela apresentada no anexo 29, podemos dizer que o diâmetro, a interação entre comprimento e o diâmetro, a interação entre o diâmetro e o volume e a interação entre o comprimento, o diâmetro e o volume de fibras, são os factores que mais irão influenciar a retracção livre das fibras.

O modelo de previsão de retracção livre (R_{ret}) é representado por:

$$R_{ret}=-7,613-1,963D+364L \times D+2,14D \times V_f-3,51L \times D \times V_f$$

O diâmetro, o volume e a interação entre o comprimento, o diâmetro e o volume de fibras serão as características mais influentes no ensaio à capilaridade, como pode ser observado na tabela do anexo 30.

O modelo de previsão da absorção de água por capilaridade (R_{cap}) é representado por:

$$R_{cap}=0,538-0,138D-0,088V_f-0,088LxDxV_f$$

A interação entre os três factores (diâmetro, comprimento e volume) irá influenciar significativamente o modulo de elasticidade dinâmico das argamassas. Porem, o factor de maior peso neste caso é volume de fibras, como se verifica na tabela do anexo 28.

O modelo de previsão da modulo de elasticidade dinâmico (R_{mod}) é representado por:

$$R_{mod}=11702,85-368,65L-862,63V_f-475,1LxDxV_f$$

4.2.2. Propriedades das argamassas no estado fresco

Os resultados das propriedades das argamassas no estado fresco derivam dos ensaios de massa volúmica em pasta e do ensaio da consistência por espalhamento (Flow Table).

Na tabela 13 são apresentados os resultados da consistência por espalhamento, o desvio padrão, coeficiente de variação e a massa volúmica das argamassas no estado fresco.

Tabela 13 - Propriedades das argamassas no estado fresco

| Argamassa | Distância | Consistência por espalhamento Flow-Table(mm) | | | Massa Volúmica Kg/m ³ | |
|-----------|-----------|--|-------|-----------|-------------------------------------|--------------|
| | | Flow (mm) | Média | Desv.Pad. | | Coef.Var.(%) |
| 1 | Medida 1 | 220 | 225 | 7,1 | 3,1 | 2391,6 |
| | Medida 2 | 230 | | | | |
| 2 | Medida 1 | 160 | 157,5 | 3,5 | 2,2 | 2281,1 |
| | Medida 2 | 155 | | | | |
| 3 | Medida 1 | 155 | 154,5 | 0,7 | 0,5 | 2291,3 |
| | Medida 2 | 154 | | | | |
| 4 | Medida 1 | 200 | 199 | 1,4 | 0,7 | 2401,7 |
| | Medida 2 | 198 | | | | |
| 5 | Medida 1 | 165 | 167,5 | 3,5 | 2,1 | 2352,2 |
| | Medida 2 | 170 | | | | |
| 6 | Medida 1 | 145 | 141,5 | 4,9 | 3,5 | 2262 |
| | Medida 2 | 138 | | | | |
| 7 | Medida 1 | 175 | 176,5 | 2,1 | 1,2 | 2214,2 |

| | | | | | | |
|---|----------|-----|-------|-----|-----|--------|
| | Medida 2 | 178 | | | | |
| 8 | Medida 1 | 215 | 214 | 1,4 | 0,7 | 2198 |
| | Medida 2 | 213 | | | | |
| 9 | Medida 1 | 189 | 187,5 | 2,1 | 1,1 | 2183,4 |
| | Medida 2 | 186 | | | | |

No presente estudo, a relação água/cimento foi objecto de diversas experiências que tinham por objectivo a obtenção de uma argamassa plástica. Assim, para que uma argamassa seja considerada plástica, o valor do diâmetro no ensaio de consistência por espalhamento terá que ser superior a 170mm. Como se pode verificar na tabela 13, a argamassa que pior resultado apresentou no ensaio de espalhamento foi a argamassa 6, situando-se muito longe do valor aceitável e desejável de maneira a ser considerada uma argamassa plástica. As argamassas 2 e 3 também apresentam valores um pouco baixos para serem consideradas plásticas. Contudo, estas últimas deixam-se “trabalhar” no reómetro, contrariamente ao que aconteceu com a argamassa 6, com a qual foi impossível efectuar o ensaio reológico, como será referido no subcapítulo 4.1.3.

Podemos verificar que as argamassas que apresentam uma maior relação l/d são as que exibem menor valor de espalhamento.

De seguida apresenta-se a figura 65 com os valores da massa volúmica em pasta das argamassas estudadas.

Como se pode verificar através da leitura da figura 65, a massa volúmica das argamassas 4 e 5 são as que maior semelhança tem com a argamassa 1 (argamassa de referência). Este facto poderá indicar que as fibras utilizadas, com 43µm de diâmetro e 4mm de comprimento, conseguem rearranjar os agregados finos que constituem a argamassa e assim ocupar melhor o volume de vazios existente.

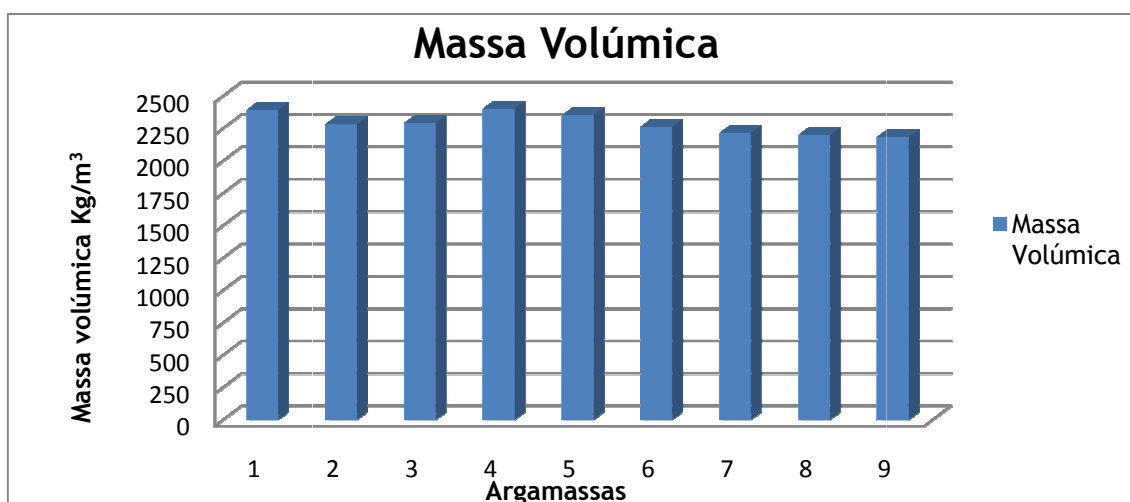


Figura 65 - Massa volúmica no estado fresco das argamassas estudadas

4.2.3. Ensaio reológico

O ensaio reológico foi realizado para as argamassas com traço volumétrico 1:3, através do método de Bingham e foi utilizada a seguinte equação para descrever este modelo reológico:

$$T = g + hN.$$

Tabela 14 - Equações do modelo reológico de Bingham (argamassas com traço volumétrico 1:3)

| Argamassas | Modelo de Bingham | R ² |
|------------|-----------------------|----------------|
| | T=g+hN | |
| 1 | T= 31,584 - 0,00384 N | 0,2733 |
| 2 | T= 76,292 - 0,1773 N | 0,7341 |
| 3 | T= 64,394 - 0,0937 N | 0,2338 |
| 4 | T= 56,294 - 0,1203 N | 0,2338 |
| 5 | T= 78,25 + 0,0211 N | 0,0233 |
| 6 | (IMPOSSÍVEL) | - |
| 7 | T= 71,503 + 0,1215 N | 0,1551 |
| 8 | T= 155,55 - 0,918 N | 0,1204 |
| 9 | T= 102,45 + 0,1213 N | 0,1262 |

A tabela 14 apresenta os valores dos parâmetros reológicos através do modelo de Bingham. O parâmetro **g** representa o valor da tensão de cedência das argamassas estudadas e o parâmetro **h** representa a viscosidade plástica relativa. Quanto mais baixo for o valor do parâmetro **g**, mais baixa é a tensão de cedência da argamassa.

Como se pode verificar na tabela 14, as misturas cujas tensões de cedência são menores referem-se às argamassas 1, 3 e 4.

As figuras 66, 67, 68 e 69 apresentam as curvas de Torque X Velocidade resultantes do ensaio de reologia das argamassas com adição de fibras acrílicas.

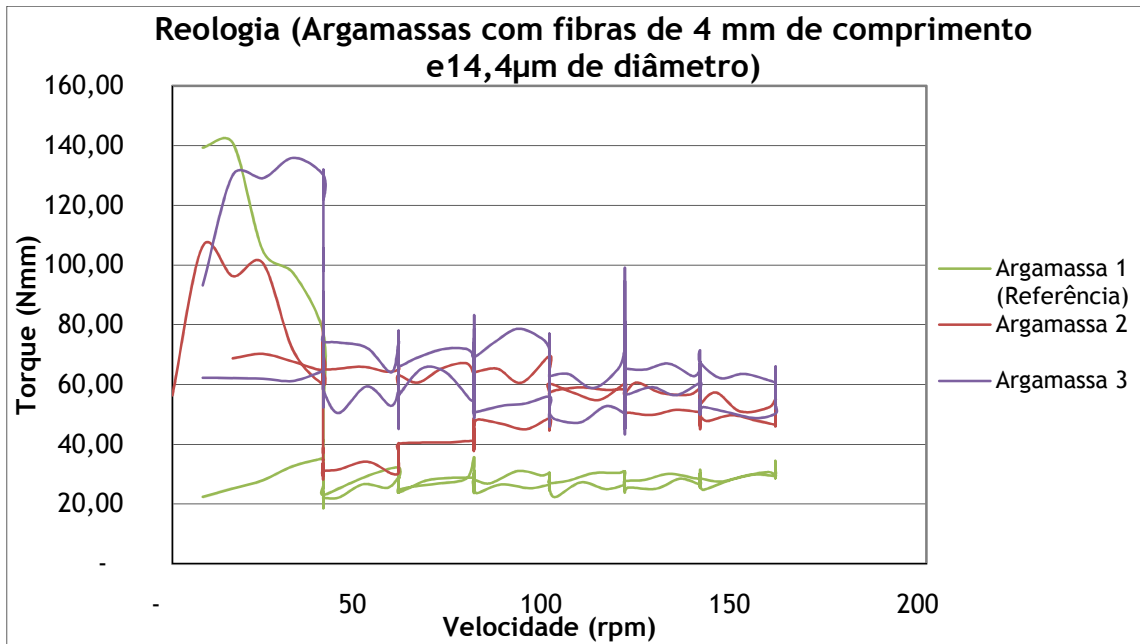


Figura 66 - Curvas de cedência Torque x Velocidade (argamassas com fibras de 4 mm de comprimento e 14,4µm de diâmetro com traço volumétrico 1:3)

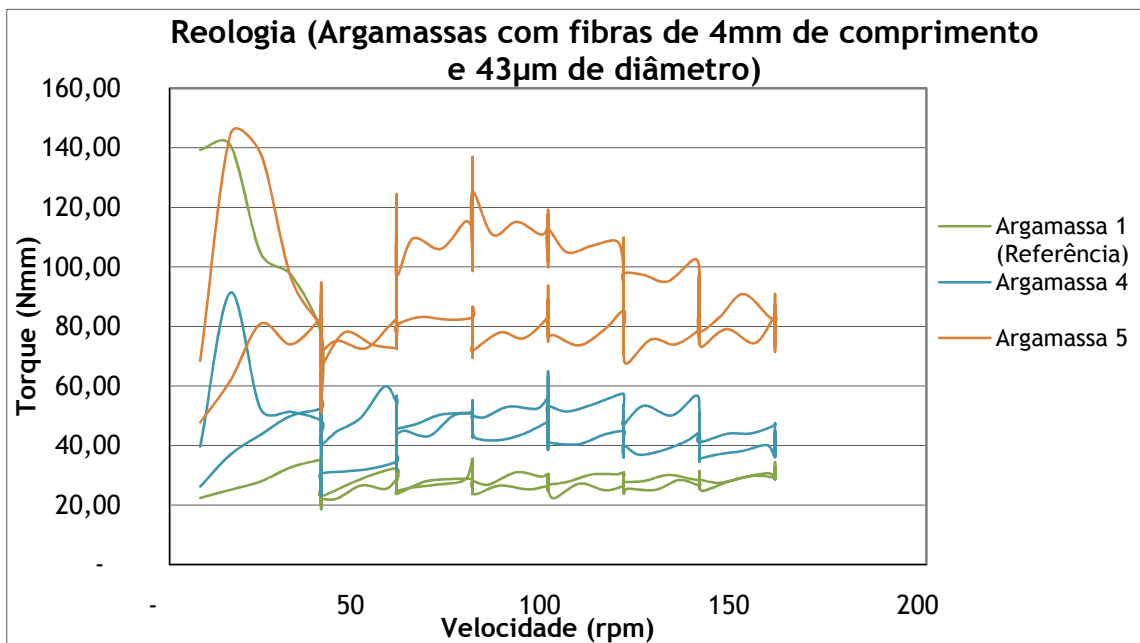


Figura 67 - Curvas de cedência Torque x Velocidade (argamassas com fibras de 4mm de comprimento e 43µm de diâmetro com traço volumétrico 1:3)

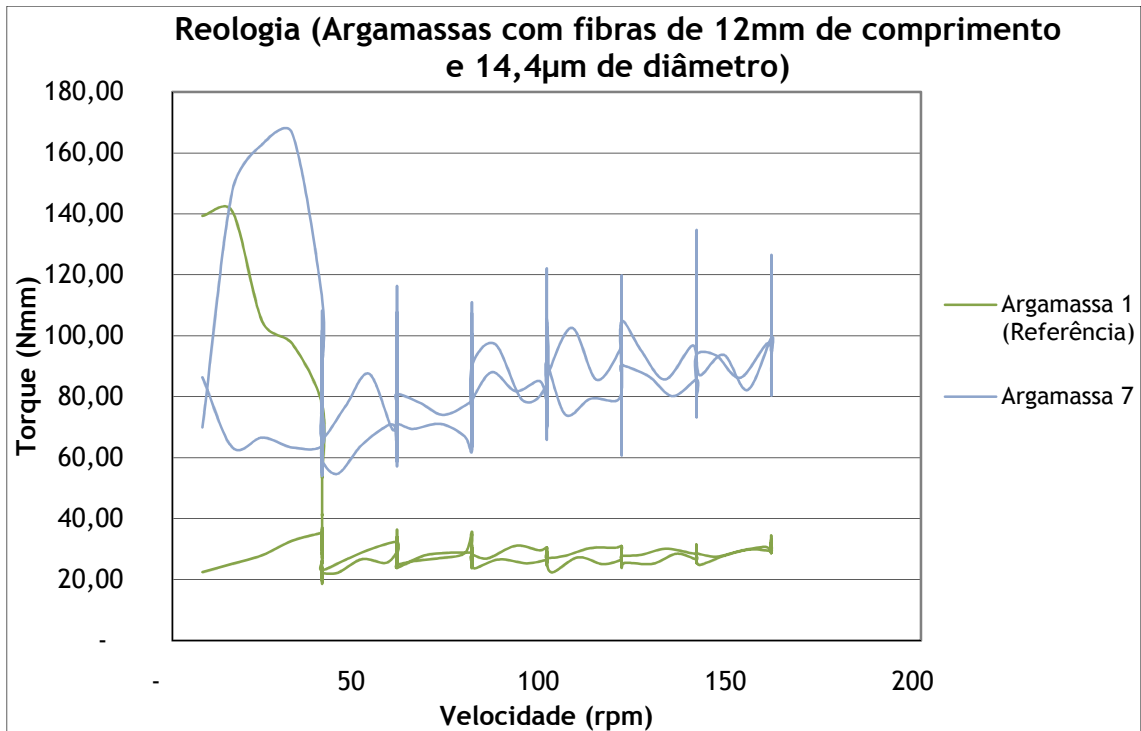


Figura 68 - Curvas de cedência Torque x Velocidade (argamassas com fibras de 12mm de comprimento e 43µm de diâmetro com traço volumétrico 1:3)

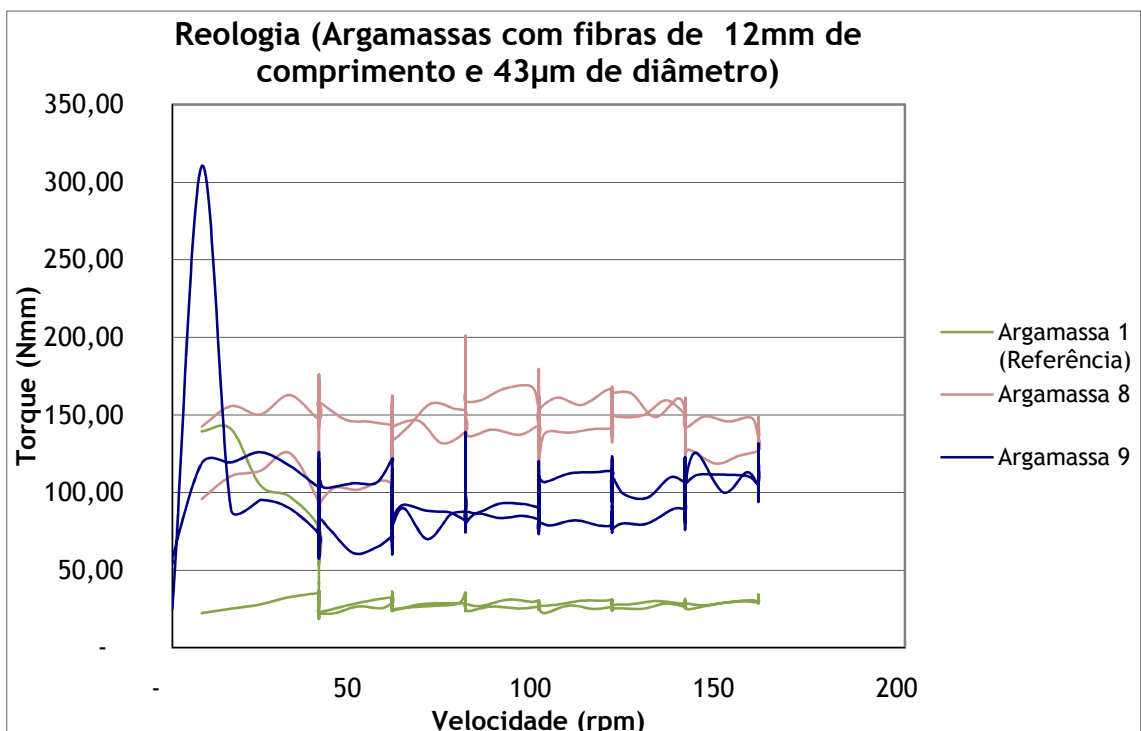


Figura 69 - Curvas de cedência Torque x Velocidade (argamassas com fibras de 12mm de comprimento e 43µm de diâmetro com traço volumétrico 1:3)

Pode-se observar nas figuras 66, 67, 68 e 69 o comportamento tixotrópico de algumas misturas, sendo mais evidentes nas argamassas 2, 4, 5, 7 e 8, pois apresentam uma maior área de curvas de histereses.

Pela análise das figuras 66, 67, 68 e 69 podemos verificar que a argamassa 9 é a que apresenta maior torque inicial, isto porque é a que contém fibras com maior comprimento, volume e diâmetro, o que faz com que as fibras absorvam uma maior quantidade de água quando em repouso. Depois de se misturar a argamassa, as fibras expõem a água e a trabalhabilidade da argamassa volta a ter valores normais de torque. As argamassas com menor tensão de cedência são as argamassas 1, 2, 3 e 4, o que pode indicar que as argamassas que contêm fibras com menor comprimento podem ser consideradas as mais trabalháveis.

Como foi referido anteriormente, foram realizados ensaios reológicos com outra matriz cimentícia no traço em volume 1:0,5 com o intuito de se poder melhor observar a influência das características das fibras na reologia das argamassas.

Tabela 15 - Equações do modelo reológico de Herschel-Bulkley (argamassas com traço volumétrico 1:0,5)

| Argamassas | Modelo de Herschel-Bulkley | R ² |
|------------|----------------------------|----------------|
| | $T=g+hN^b$ | |
| 1A | $T= 2,36-0,001+N^{2,077}$ | 0,99 |
| 2A | $T= 5,012-0,014N^{1,685}$ | 0,99 |
| 3A | $T= 17,995-0,092N^{1,371}$ | 0,99 |
| 4A | $T= 4,155-0,007N^{1,807}$ | 0,99 |
| 5A | $T= 2,854-0,010N^{1,696}$ | 0,99 |
| 6A | (IMPOSSIVEL) | - |
| 7A | $T= 4,339-0,0005N^{2,332}$ | 0,91 |
| 8A | $T= 3,648-0,0049N^{1,830}$ | 0,99 |
| 9A | $T= 4,377+0,0299N^{1,449}$ | 0,98 |

A tabela 15 apresenta os valores dos parâmetros reológicos através do método de Herschel-Bulkley. Este método apresenta curvas não lineares, ao contrário do que acontece no modelo de Bingham, que apresenta curvas lineares.

O valor de *b* neste modelo é uma constante e indica o grau de comportamento não Newtoniano. Sempre que os valores de *b* são maiores que 1 significa que a argamassa apresenta um comportamento reoespesante. Quando são menores que 1 significa que a argamassa apresenta um comportamento reofluidificante (Pereira de Oliveira, 2009).

Pode-se verificar na tabela 15 que todas as argamassas estudadas apresentam um comportamento reofluidificante. As argamassas 1A e 5A são as que apresentam menor *tensão de cedência*³, enquanto que a argamassa 3A é a que apresenta maior valor.

A figura 70 apresenta as curvas não lineares de Torque X Velocidade resultantes do ensaio de reologia das argamassas com adição de fibras acrílicas estudadas segundo o modelo de Herschel-Bulkley.

Através da análise das figuras de Torque x Velocidade, podemos verificar que a argamassa 1 é a que apresenta menor tensão de cedência, como já era de esperar, visto ser a argamassa que não contem qualquer adição de fibras acrílicas.

Já a argamassa 3 é a que apresenta maior tensão de cedência. Isto pode dever-se ao facto de a relação l/d ser muito elevada, fazendo com que a trabalhabilidade das argamassas seja afectada, assim como a sua reologia.

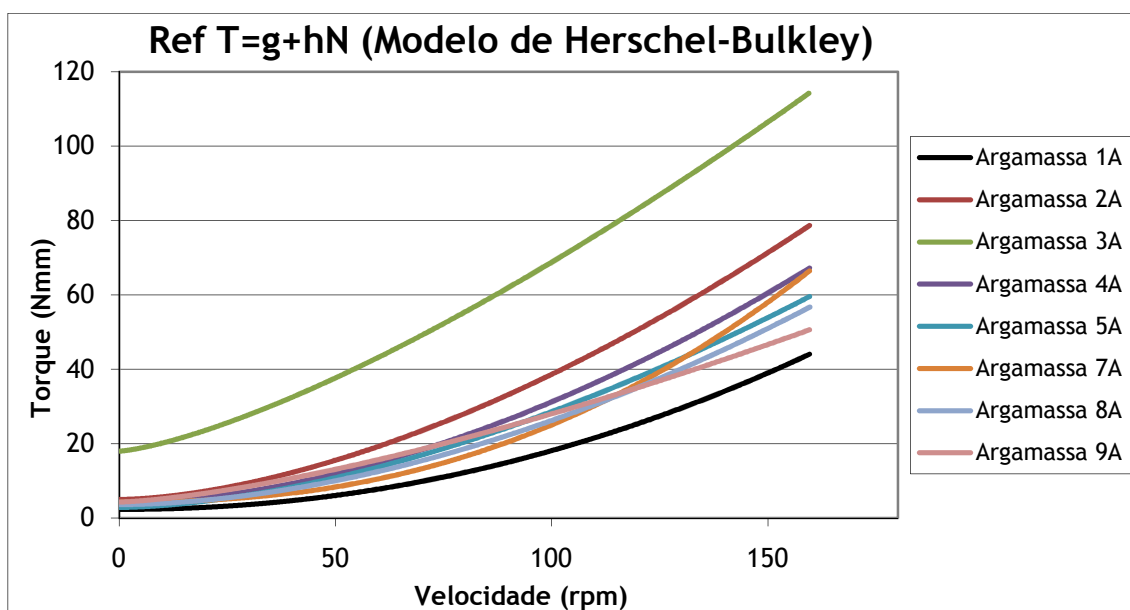


Figura 70 - Curvas de cedência Torque x Velocidade (argamassas com traço volumétrico 1:0,5)

Como se pode verificar, a argamassa 6 não está representada visto ter sido impossível de realizar o ensaio no reómetro, uma vez que este não possui em limite de torque um valor máximo de $\pm 250\text{Nmm}$).

³ *Tensão de cedência* é a força que é necessária utilizar para quebrar a tensão de certos fluidos.

Segundo o que nos indica a figura 70, a argamassa que apresenta maior valor de tensão de cedência é a argamassa 3A.

Através do Método de Planos Experimentais, onde se obteve as respostas à tensão de cedência (g) e viscosidade plástica (h), não foi possível conhecer o erro experimental do ensaio, pois só foi realizada uma medida por argamassa.

Porem, há uma hipótese de avaliação do erro, na qual se supõe que as interacções de ordem elevada sejam nulas e que as diferenças em relação a zero sejam as medidas do erro experimental. Deste modo, para a tensão de cedência (g), o erro tipo sobre os efeitos é o próprio valor do efeito E123, ou seja 1,334. Apesar de se tratar de uma estimativa de erro pode-se aqui verificar que os efeitos mais influentes são definidos pelo valor equivalente em erro tipo que mais se aproximam de duas vezes o erro tipo.

Os factores que mais influenciam o valor da tensão de cedência são, portanto, as interacções E1, E3, E12 e E23 (Ver Anexo 32). Já para a viscosidade plástica (h), os factores que mais influenciam são os factores E2 (comprimento), E3 (Volume de fibras), as interacções E12 (comprimento e diâmetro) e E23 (diâmetro e volume de fibras). (Ver Anexo 33)

4.2.4. Propriedades das argamassas no estado endurecido

Para caracterizar as propriedades mecânicas das argamassas no estado endurecido é necessário realizar diversos ensaios. De entre todos eles, os de maior importância, no sentido de se verificar a durabilidade das argamassas, são os de resistência mecânica.

4.2.4.1. Resistência à flexão

As figuras 71 e 72 apresentam os valores conseguidos das argamassas estudadas nos ensaios de resistência à flexão aos 7 e 28 dias de idade.

Como se pode verificar nas figuras 70 e 71, o valor da resistência à flexão obtido nas diversas argamassas estudadas varia consoante a adição dos diferentes tipos de fibras acrílicas.

Como já era de esperar, a resistência das argamassas aos 28 dias de idade é superior à verificada nas argamassas ensaiadas aos 7 dias.

Através da análise efectuada às figuras 70 e 71, verifica-se que a argamassa 5 é a que melhor comportamento apresenta à flexão tanto aos 7 como aos 28 dias de idade.

De notar um aumento significativo da resistência na argamassa 2, no espaço de tempo entre os dois ensaios realizados. A argamassa 3, por seu lado, foi a que menor aumento de resistência obteve.

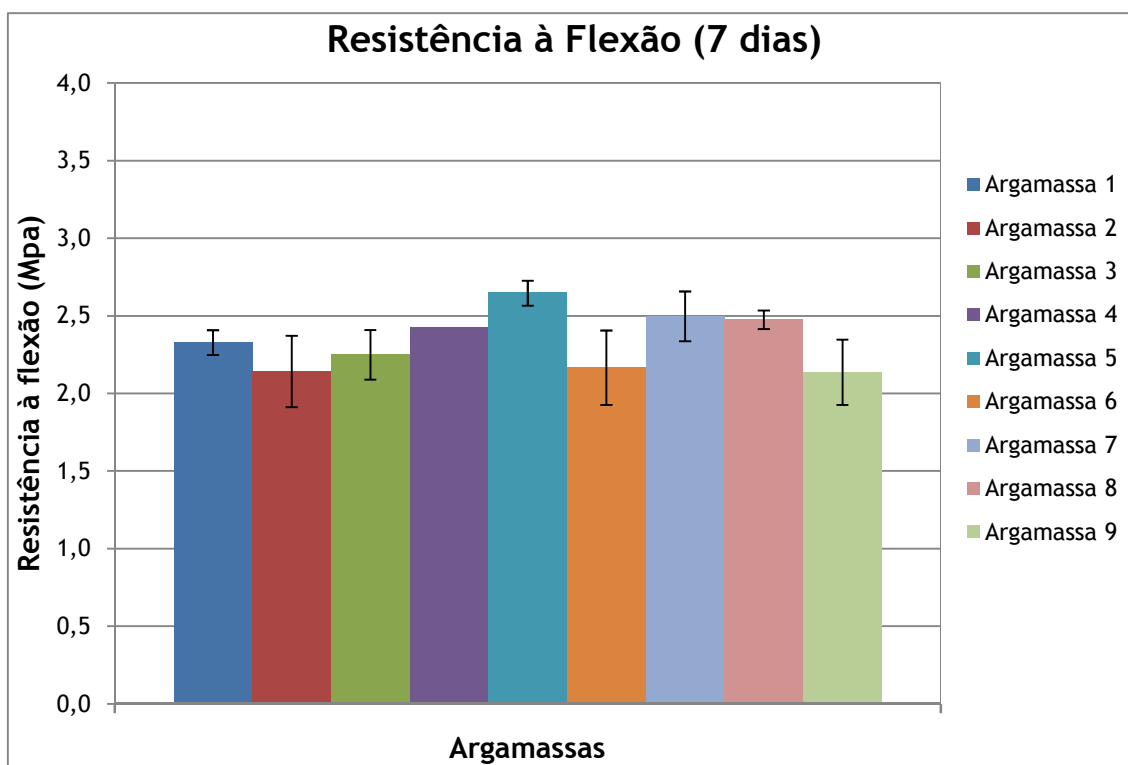


Figura 71 - Resistência à flexão das argamassas aos 7 dias de idade

Os cálculos para obtenção dos valores da resistência à flexão são apresentados nos anexos 1 e 2

Com o ensaio à flexão feito a todas as argamassas foi possível obter o diagrama de tensões-extensões com o intuito de potenciar todas as funcionalidades da máquina de testes mecânicos ZWICK 1435. Estes diagramas são apenas uma maneira diferente de apresentar os valores obtidos no ensaio à flexão. Os diagramas são representados desde o anexo 5 até ao anexo 22.

Através dos diagramas Tensão-Extensão apresentados em anexo, podemos verificar que as argamassas estudadas apresentam uma baixa tenacidade. Isto talvez aconteça porque as fibras acrílicas possuem um módulo de elasticidade muito baixo em relação à matriz cimentícia.

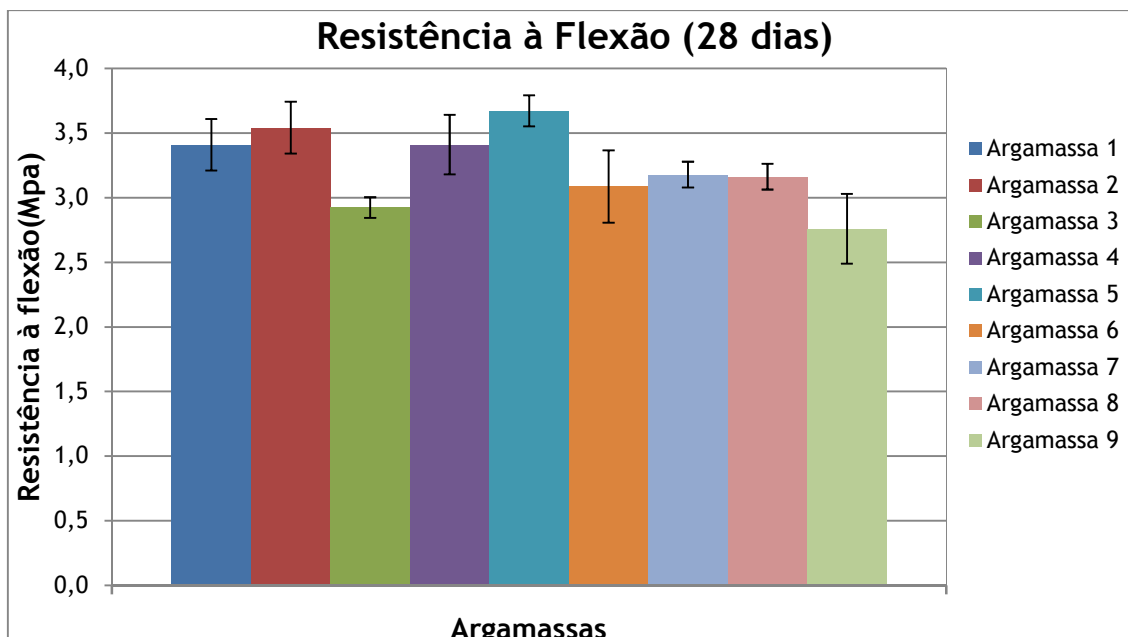


Figura 72 - Resistência à flexão das argamassas aos 28 dias de idade

Através da análise dos desvios-padrão apresentados na figura 72, pode-se verificar que as argamassas não se diferenciam muito umas das outras. Apenas as argamassas 3 e 9 apresentam diferenças significativas em relação à argamassa 1 de referência.

4.2.4.2. Resistência à compressão

As figuras 73 e 74 apresentam os valores obtidos das argamassas estudadas nos ensaios de resistência à compressão aos 7 e 28 dias de idade respectivamente.

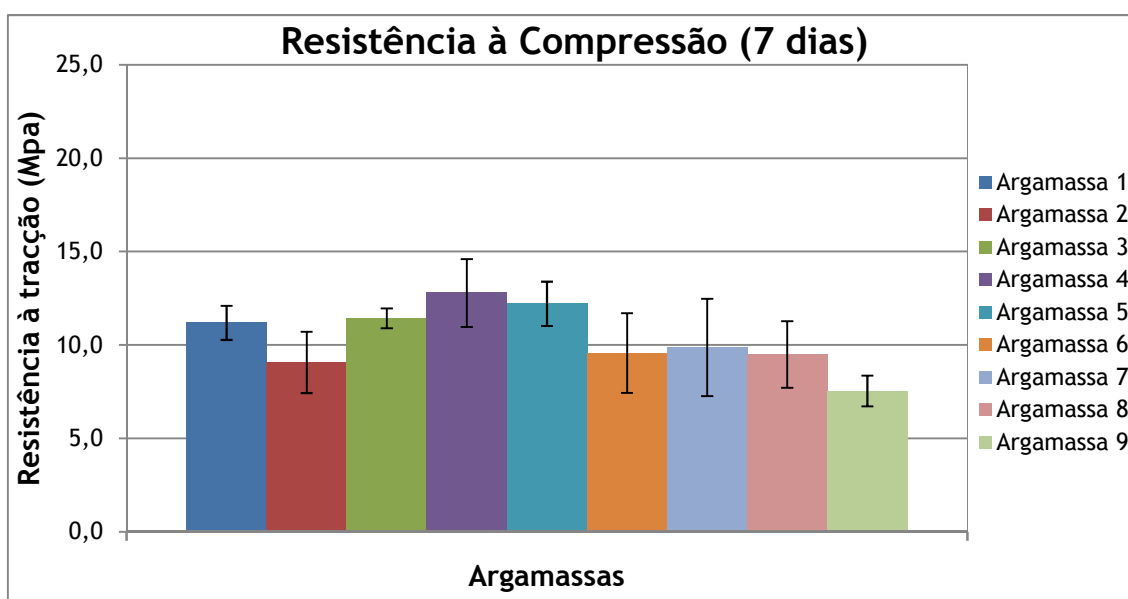


Figura 73 - Resistência à compressão das argamassas aos 7 dias de idade

Mediante a leitura da figura 73 pode-se verificar que as argamassas 1, 3, 4 e 5 são as que melhores resultados apresentam à tracção no ensaio aos 7 dias. Todas elas apresentam valores superiores a 10Mpa, enquanto que as restantes não conseguem atingir esse valor.

Com a análise da figura 74 podemos perceber que as argamassas que melhores resultados apresentam no ensaio à compressão são as argamassas 1 e 4. Podemos então deduzir que a adição das fibras irá influenciar negativamente a resistência à compressão das argamassas.

De salientar que aos 28 dias de idade as argamassas 3 e 5, que contêm maior volume de fibras (0,5%) apresentam valores mais baixos de resistência à compressão quando comparadas com as argamassas 2 e 4, respectivamente, que contêm menor volume de fibras (0,2%).

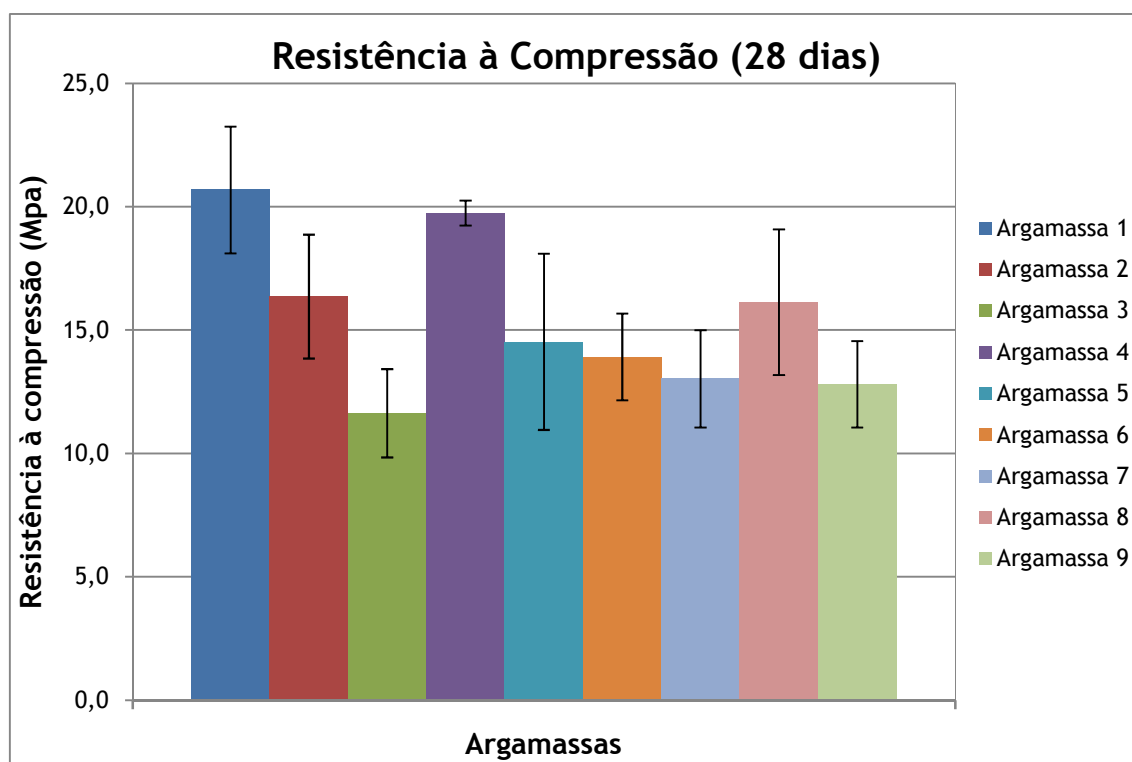


Figura 74 - Resistência à compressão das argamassas aos 28 dias de idade

Através da análise dos desvios-padrão apresentados na figura 74, pode-se verificar que as argamassas 2, 4 e 8 são as que mais se assemelham da argamassa 1 de referência.

Os cálculos para obtenção dos valores da resistência à compressão são apresentados nos anexos 3 e 4

Com uma relação Rt/Rc é possível obter um valor da *ductilidade*⁴ das argamassas. Quanto mais próximo o valor da razão Rt/Rc estiver de 1, mais dúctil é o material. Esta razão é um indicador da ductilidade do material, pois a variação entre a ruptura por tracção e compressão deve-se, sobretudo, à fragilidade do mesmo (Veiga, 1998, citado por Cruz, 2008).

Tabela 16 - Coeficiente de ductilidade das argamassas estudadas

| Argamassa | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Ductilidade | 0,16 | 0,22 | 0,25 | 0,17 | 0,25 | 0,22 | 0,29 | 0,20 | 0,22 |

A tabela 16 apresenta os valores do coeficiente de ductilidade das argamassas estudadas, sendo perceptível que os valores obtidos se encontram todos muito próximos, o que sugere uma fraca ductilidade das argamassas em geral, sendo a argamassa 7 a mais dúctil.

4.2.4.3. Massa volúmica no estado endurecido

A tabela 17 apresenta os valores das massas em gramas para o cálculo da massa volúmica no estado endurecido em Kg/m^3 .

Tabela 17 - Valores da massa volúmica

| Determinação da massa volúmica da argamassa endurecida | | | | |
|--|------------|----------------|--------------|---------------------|
| Argamassa | M.seca (g) | M.saturada (g) | M.imersa (g) | ρ (Kg/m^3) |
| 1 | 561,5 | 620,3 | 322,8 | 1887,39 |
| 2 | 503,4 | 578,7 | 290,6 | 1747,31 |
| 3 | 518,9 | 566,5 | 278,1 | 1799,24 |
| 4 | 525,2 | 581,1 | 298,6 | 1859,12 |
| 5 | 527,9 | 586,9 | 297,4 | 1823,49 |
| 6 | 497,3 | 558,1 | 263,4 | 1687,48 |
| 7 | 503,3 | 568,6 | 272,5 | 1699,76 |
| 8 | 520,1 | 580,4 | 290,4 | 1793,45 |
| 9 | 472,6 | 538,6 | 255,4 | 1668,79 |

⁴ *Ductilidade* é a capacidade de determinadas substâncias sólidas sofrerem permanentes deformações plásticas sem que haja ruptura ou fissuração. Fonte: www.infopedia.pt

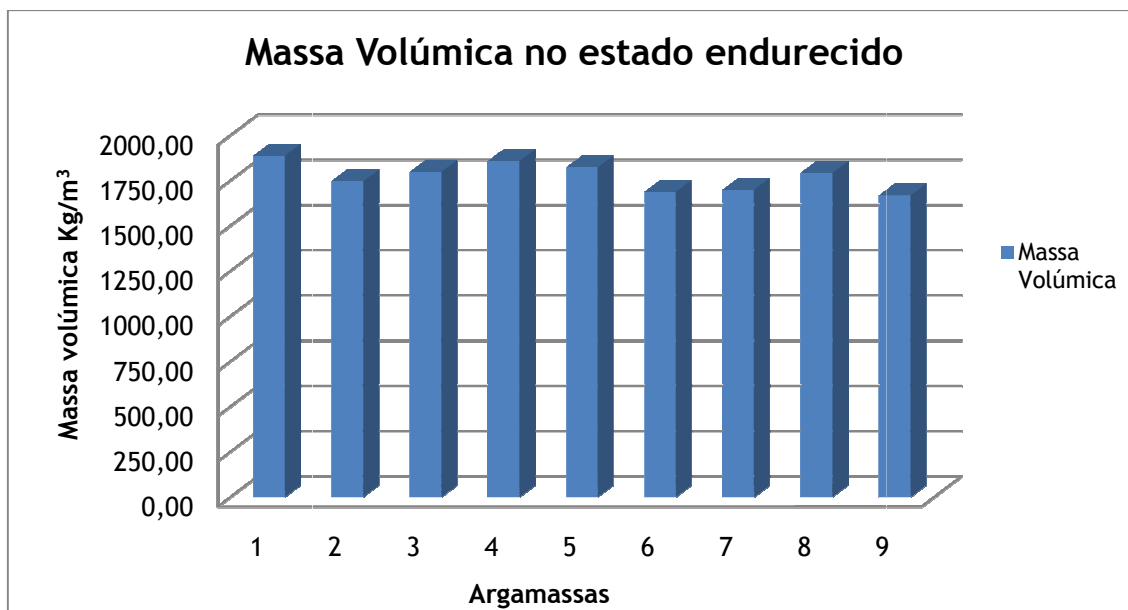


Figura 75 - Massa volúmica no estado endurecido das argamassas estudadas

Através dos resultados obtidos na figura 75 podemos verificar que as argamassas 4 e 5 são as que maior massa volúmica apresentam e as que mais perto se chegam do valor da argamassa 1 (argamassa de referência).

Estes valores já se tinham registado no ensaio da massa volúmica no estado fresco, sendo que no estado endurecido, os valores registados são ligeiramente mais baixos.

4.2.4.4. Ensaio do ultra-som

A figura 76 apresenta os valores do módulo de elasticidade dinâmico obtidos através do ensaio de ultra-som.

Tal como se pode observar através da leitura do gráfico 16, a argamassa 2 é a que apresenta maior módulo de elasticidade dinâmico, sendo o valor obtido muito semelhante ao da argamassa 1 (argamassa de referência). Por outro lado, os valores mais baixos do módulo de elasticidade dinâmico estão associados às argamassas 6 e 9, que são aquelas às quais foram acrescentadas fibras de maior comprimento e volume.

Podemos então deduzir que a incorporação de fibras adicionou ar às argamassas 6 e 9, o que levou à redução da densidade endurecida, contribuindo para a diminuição do módulo de elasticidade dinâmico, contrariamente ao que se pode verificar para a argamassa 2.

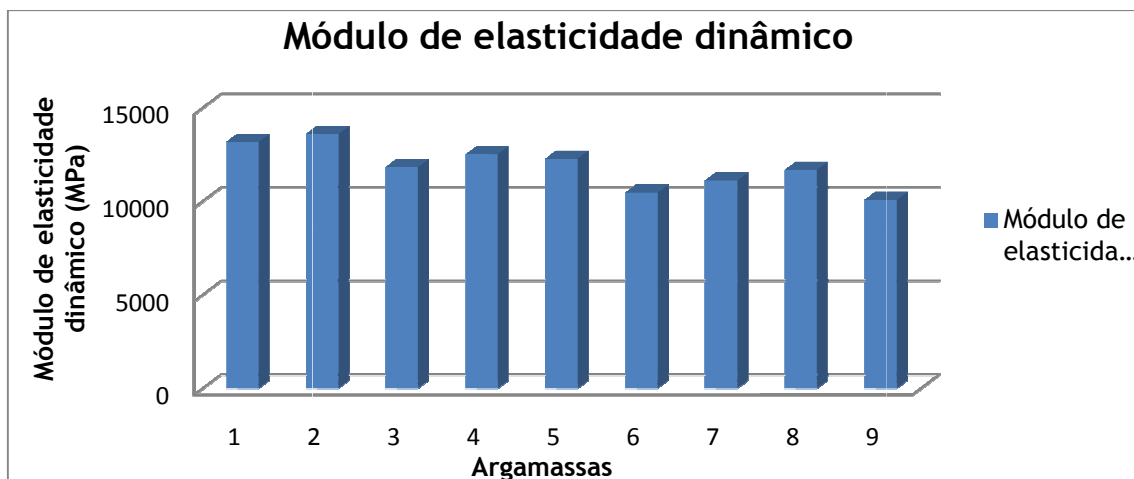


Figura 76 - Módulo de elasticidade dinâmico

Os cálculos para obtenção dos valores do módulo de elasticidade dinâmico são apresentados no anexo 23

4.2.4.5. Absorção de água por capilaridade

Os resultados registados no ensaio de absorção de água por capilaridade foram obtidos através do valor médio em três provetes ensaiados por cada argamassa aos 28 dias de idade.

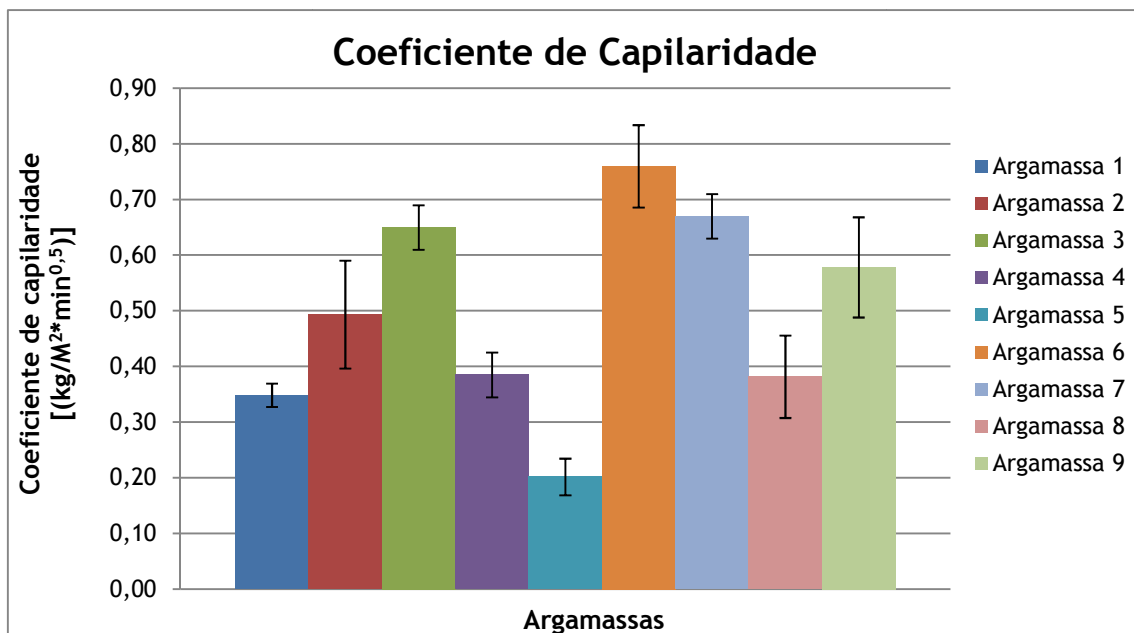


Figura 77- Coeficientes de capilaridade das argamassas aos 28 dias

Mediante a análise dos resultados da figura 77 podemos verificar que, na generalidade, a adição de fibras acrílicas nas argamassas aumenta o coeficiente de capilaridade.

As misturas que manifestam maior absorção de água são a argamassa 6 e 7. Este resultado já era de esperar, visto terem sido as matrizes que mais dificuldades trouxeram ao ensaio reológico. Isto dever-se-á às próprias características das fibras utilizadas nessas misturas, pois são as que apresentam maior comprimento (12mm) e maior diâmetro (43 μ m) e, por consequência, uma maior densidade de fibras a absorver água.

Através do desvio padrão dos resultados médios, podemos verificar que apenas as argamassas 4 e 7 são semelhantes com a argamassa de referência. Todas as outras são significativamente diferentes da argamassa de referência.

A argamassa 5, possivelmente por algum erro cometido na altura da mistura dos constituintes da argamassa, obteve resultados que não se estava à espera, pois esperava-se que fosse obtido um coeficiente de capilaridade superior ao da argamassa 4. Isto porque em todas as argamassas com um teor de fibras maior (0,5%), apresentam um maior coeficiente de capilaridade em relação às mesmas argamassas com um teor de fibras inferior (0,2%).

Os cálculos para obtenção dos valores do coeficiente de capilaridade são apresentados no anexo 26

4.2.4.6. Ensaio de retracção

A figura 78 apresenta os valores de retracção livre das argamassas aos 7, 14, 21 e 28 dias de idade. Este ensaio tem como objectivo verificar a retracção livre obtidas durante os 28 dias que o ensaio foi realizado.

Por análise da figura 78 verifica-se que a argamassa 3 foi a que maior retracção obteve ao fim de 28 dias de idade. Já a argamassa 5, obteve o resultado contrário e obteve o menor valor de retracção.

Como se verifica na figura 78, e como já era de esperar, podemos deduzir que as argamassas com adição de fibras apresentam uma maior retracção em comparação com a argamassa que sem fibras, que apresenta um menor valor no ensaio de retracção (argamassa 1).

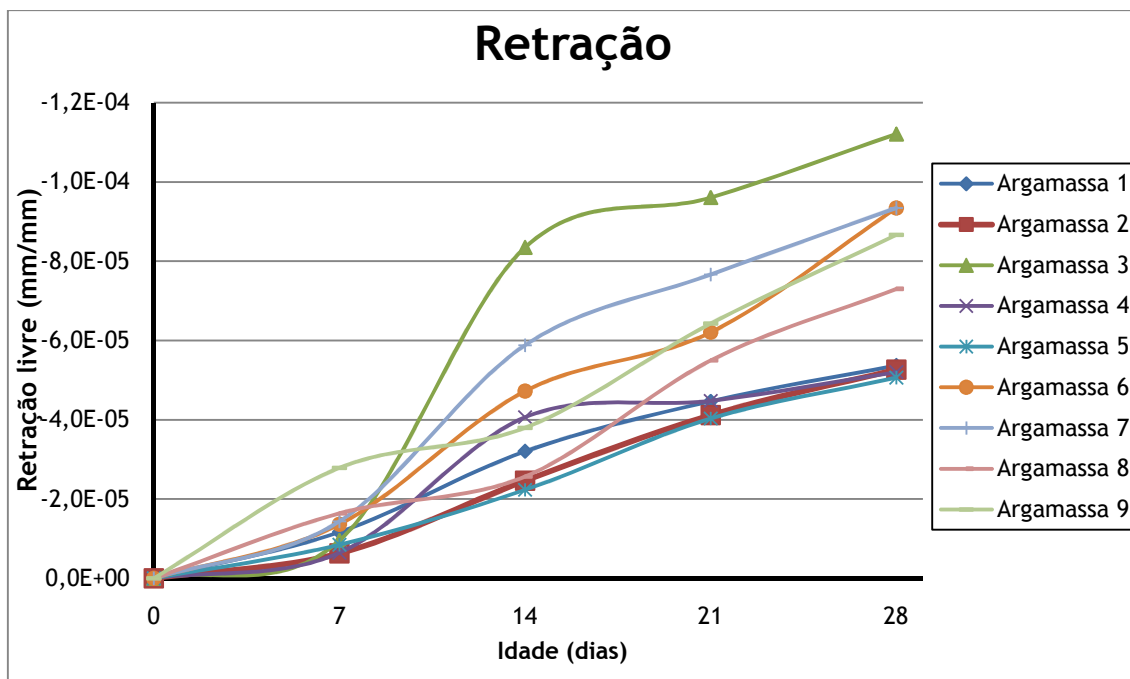


Figura 78 - Retracção livre das argamassas estudadas

A figura 78 mostra a retracção livre das argamassas aos 28 dias de idade e o respectivo desvio padrão.

Como se pode verificar através do desvio padrão dos resultados médios, as argamassas não apresentam diferenças muito significativas, sendo que apenas as argamassas 6 e 9 se diferenciam da argamassa 1 de referência.

Os cálculos para obtenção dos valores da retracção livre são apresentados nos anexos 24 e 25.

Através da análise dos desvios-padrão pode-se verificar que apenas as argamassas 6 e 9 são diferentes. Todas as outras são semelhantes à argamassa de referência.

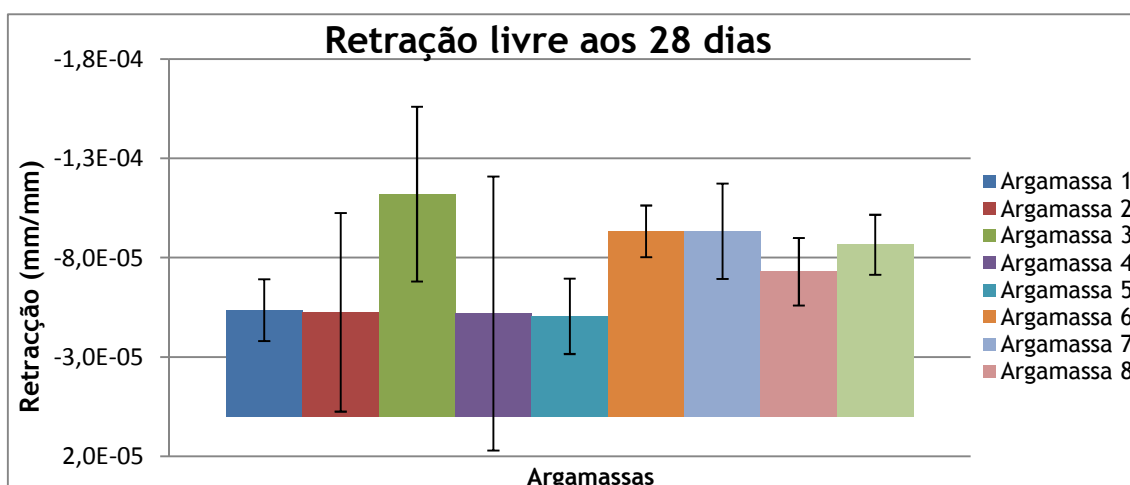


Figura 79 - Retracção livre aos 28 dias de idade

Capítulo 5

Conclusões

O trabalho experimental desenvolvido nesta dissertação e a análise dos seus resultados permite estabelecer as seguintes conclusões:

- Após a realização dos ensaios das argamassas em estudo, mais especificamente do ensaio de consistência por espalhamento, as argamassas 1, 4, 7, 8 e 9 apresentaram os resultados que se esperavam (o diâmetro ser superior a 170mm). São por isso classificadas de argamassas plásticas, visto a média dos resultados ser superior a 170mm. As restantes argamassas são classificadas de argamassas secas pois a média dos resultados é inferior a 170mm, tal observação corrobora a influência da fibra na trabalhabilidade das argamassas.

- O efeito da esbelteza l/d da fibra afecta fortemente a trabalhabilidade das argamassas. À medida que o valor de l/d aumenta, a argamassa torna-se mais rígida complicando o seu manuseio.

- No que se refere a massa volúmica no estado fresco e no estado endurecido, a inserção das fibras acrílicas na matriz cimentícia diminui a massa volúmica, visto que as fibras apresentam uma densidade menor que a densidade da matriz. Pode-se então concluir que a adição de fibras acrílicas modifica ligeiramente a massa volúmica da argamassa endurecida.

- As argamassas estudadas apresentam valores muito baixos na relação Rt/Rc , o que indica uma baixa ductilidade por partes destas argamassas e logo uma baixa capacidade de suportarem grandes deformações plásticas.

- A adição de fibras acrílicas na matriz cimentícia favorece a queda da resistência à compressão, o que se pode dizer que o uso de fibras causa um acréscimo de teor de ar incorporado nas argamassas e como tal propicia uma eventual fragilidade das mesmas.

- Para os valores obtidos de resistência à flexão, podemos concluir que as fibras que contêm um l/d menor, a resistência diminui quando comparadas com as argamassas que apresentam uma relação l/d maior.

Em termos de comportamento tixotrópico, as argamassas que contêm um menor volume de fibras (0,2%), apresentam maiores áreas de curvas de histereses, o que indica que estas argamassas se reconstroem quando em repouso.

Que o comportamento reológico das argamassas ensaiadas é melhor explicado pelo modelo de Herschel-Bulkley e que segundo este modelo as argamassas apresentam um comportamento reoespesante.

- As argamassas com fibras que exibem uma relação l/d mais elevada são as que maior tensão de cedência apresenta, pois necessitam de um maior torque para quebrar a resistência exercida pelas fibras à matriz cimentícia.

- O efeito da interação entre o comprimento e o diâmetro das fibras é responsável pelo aumento da retracção das argamassas. Este efeito pode ser atribuído ao facto de que com a adição das fibras pode haver o incremento da porosidade das argamassas, o que leva as mesmas a serem mais deformáveis. Porém, se levarmos em conta os desvios padrão dos resultados médios ao 28 dias de idade conclui-se as diferenças entre as argamassas são pouco significativas.

- O coeficiente de capilaridade das argamassas é tem o volume de fibras como o principal factor de influência. As argamassas que contêm um volume de fibras igual a 0,5% são as que apresentam maior valor de coeficiente de capilaridade.

Bibliografia

Allen, G. C. & Ball, R. J. (2010). Mechanical properties of hydraulic lime mortars. Consult. 6 Feb 2011, disponível em http://www.apfac.pt/congresso2010/comunicacoes/Paper%20101_2010.pdf

Banfill, P. F. G.; Starrs, G.; Derruau, G.; McCarter, W. J. & Chrisp, T. M. (2006). Rheology of low carbon fibre content reinforced cement mortar. *Cement & Concrete Composites*, 28, 773-780.

British Standard, BS 1881: Part 203: 1983: Testing concrete. Recommendations for measurement of velocity of ultrasonic pulses in concrete.

Caetano, L. F.; Graeff, A. G.; Garcez, E. O.; Bernardi, S. T. & Silva Filho, L. C. P. (Ed.). (2004). *Compósito de matriz cimentícia reforçada com fibras*. Rio Grande do Sul: Universidade Federal do Rio Grande do Sul. II Seminário de Patologia das Edificações - Novos Materiais e Tecnologias Emergentes, Porto Alegre, 2004.

Carasek, H. (2007). Argamassas. In G. C. Isaia (Ed.), *Materiais de Construção Civil* (pp. 863-904). São Paulo : Ibracon, cap.26, v.2.

Cardoso, F. A. (2009). *Método de formulação de argamassas de revestimento baseado em distribuição granulométrica e comportamento reológico*. São Paulo. Tese de Doutorado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Costa, L. L. (2008). *O uso de argamassas tradicionais e pré-doseadas para impermeabilização em revestimentos exteriores*. Vila Real. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

Cruz, T. (2008). *Estudo da influência da granulometria das areias no desempenho de rebocos de ligante hidráulico*. Lisboa. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

EMOdico (2006). Consult. 13 Mar 2011, disponível em http://www.euromortar.com/P_dico.pdf

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Floor screeds and in-situ floorings in buildings: Screed material and floor screeds - Definitions. Brussels: CEN; 2000. EN 13318.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry - Part 3: *Determination of consistence of fresh mortar (by flow table)*. Brussels: CEN; February

1999. EN 1015-3.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry -

Part 6: *Determination of bulk density of fresh mortar*. Brussels: CEN; October 1998. EN 1015-

6.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry -

Part 10: *Determination of dry bulk density of hardened mortar*. Brussels: CEN; 1999. EN 1015-10.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry -

Part 11: *Determination of flexural and compressive strength of hardened mortar*. Brussels: CEN; November 1999. EN 1015-11.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for mortar for masonry -

Part 18: *Determination of water absorption coefficient due to capillary action of hardened mortar*. Brussels: CEN; December 2002. EN 1015-18.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Methods of test for dense shaped refractory products - Part 2: *Determination of true density*. Brussels: CEN; 1995. EN 993-2.

EUROPEAN COMMITTEE OF STANDARDIZATION (CEN) - Specification for mortar for masonry - Part 2: *Masonry mortar*. Brussels: CEN; December 2010. EN 998-2.

Faria, P.; Henriques, F. M. A. & Rato, V. M. (2007). *Argamassas concorrentes: influência do tipo de ligante e do agregado*. 2º Congresso Nacional de Argamassas de Construção. Lisboa, 2007.

Fibras sintéticas. Consult. 13 Mar 2011, disponível em <http://www.perame.com.br/construcao-civil-div-fibras-sinteticas.htm>

Figueiredo, A. D. (2000). *Concreto com fibras de aço*. Boletim Técnico da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia de Construção Civil.

Grunewald, S. (2004). *Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete*. Duitland. Tese de Doutorado apresentada à Technische Universiteit Darmstadt.

Ishikawa, P. H. (2009). *Argamassa para revestimento de alvenaria com areia artificial*. Boletim Técnico da FATEC-SP-BT, 26, 22-27.

Kealy, T. (s.d.). How to measure flow and viscosity curves for building and construction industries. Consult. 5 Mar 2011, disponível em <http://www.rheologysolutions.com/downloads/resources/rheo348-349%20-%20Contstruction%20-%20Thixotropy.pdf>

Lourenço, R. G. M. (2010). *Desempenho de argamassas para reabilitação de revestimentos de fachadas desagregadas sob acções gelo/degelo*. Covilhã. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade da Beira Interior.

Marques, S. M. F. (2005). *Estudo de argamassas de reabilitação de edifícios antigos*. Aveiro. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro.

Mendonça, B. V. (2007). *Estudo do desempenho das argamassas hidráulicas - Influência do ligante*. Lisboa. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Norma Portuguesa NP 2064: Cimentos. Definições, Composição, Especificações e Critérios de conformidade, IPQ, 1991.

Norma Portuguesa NP EN 459-1: Cal de construção. Parte 1: *Definições, especificações e critérios de conformidade*, 2002.

O cimento Portland. Consult. 13 Mar 2011, disponível em http://www.ecivilnet.com/artigos/cimento_portland.htm

Oliveira, L. A. P.; Alves, P. C. P. & Dias, S. M. M. (s.d.). Desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de fibras de plásticos reciclados. Consult. 4 Mai 2011, disponível em <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2025.pdf>

Oliveira, L. A. P.; Dias, S. M. M. & Alves, P. C. P. (2007). *Desempenho de argamassas de revestimentos com incorporação de fibras acrílicas*. Relatório Técnico - Laboratórios de Construção, Universidade da Beira Interior, DECA.

Paiva, H.; Silva, L. M.; Labrincha, J. A. & Ferreira, V. M. (2006). Caracterização reológica de argamassas. Consult. 20 Fev 2011, disponível em <http://www.apfac.pt/congresso2005/comunicacoes/Paper%2006.pdf>

Paulo, R. S. V. M. N. (2006). *Caracterização de argamassas industriais*. Aveiro. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de Aveiro.

Penas, F. E. (2008). *Argamassas de cal hidráulica para revestimentos de paredes*. Lisboa. Dissertação de Mestrado apresentada ao Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa.

Pereira de Oliveira, L. A. & Castro-Gomes, J. P. (2011). Physical and mechanical behaviour of recycled PET fibre reinforced mortar. *Construction and Building Materials*, 25, 1712-1717.

Pereira de Oliveira, L. A. (1996). *Metodologia da Pesquisa científica e tecnológica*. Fundação de Apoio à Tecnologia, São Paulo, Brasil, 90 p.

Pereira de Oliveira, L. A. (2009). *Reologia de argamassas e betões auto compactáveis: modelos de representação*. 5ª Conferência de Engenharia'2009 Inovação & Desenvolvimento. Universidade da Beira Interior, Artigo 242, 5 p.

Puertas, F.; Amat, T.; Fernández-Jiménez, A. & Vázquez, T. (2003). Mechanical and durable behavior of alkaline cement mortars reinforced with polypropylene fibres. *Cement and Concrete Research*, 33, 2031-2036.

Ramakrishna, G. & Sundararajan, T. (2005). Studies on the durability of natural fibres and the effect of corroded fibres on the strength of mortar. *Cement & Concrete Composites*, 27, 575-582.

Resende, F. M. (2003). *Influência das fibras de aço, polipropileno e sisal no amortecimento de concretos de resistência normal e de alto desempenho*. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Sales, A. T. C. (2006). *Retração, fluência e fratura em compósitos cimentícios reforçados com polpa de bambu*. Rio de Janeiro. Tese de Doutorado apresentada à Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro.

Santos, A. M. (2006). *Estudo de compósitos híbridos polipropileno/fibras de vidro e coco para aplicações em engenharia*. Curitiba. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Panamá.

Savastano Júnior, H.; Agopyan, V. & Oliveira, L. (1997). Estudo da microestrutura das fibras vegetais e de suas implicações sobre o desempenho de compósitos cimentícios. *Engenharia Agrícola, Jaboticabal*, 17(1), 113-124.

Silva, A. C. (2002). *Estudo da durabilidade com compósitos reforçados com fibras de celulose*. São Paulo. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade de São Paulo.

Silva, N. G. (2006). *Argamassas de revestimento de cimento, cal e areia britada de rocha calcária*. Curitiba. Dissertação de Mestrado apresentada à Universidade Federal do Paraná.

Silva, R. P. & Barros, M. M. S. B. (s.d.). Revestimentos de argamassa com fibras de polipropileno. *Revista Técnica*, 127. Consult. 20 Fev 2011, disponível em <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/127/imprime64515.asp>

Silva, R. P. (2006). *Argamassas com adição de fibras de polipropileno - estudo do comportamento reológico e mecânico*. São Paulo. Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.

Teixeira, A. C. & Martins, J. G. (2003). *Materiais de Construção - Betões de Elevado Desempenho* - Série Materiais. 1ª Edição.

Torgal, F. & Jalali, S. (2009). Betões armados com fibras vegetais. Uma ilusão ou uma opção a explorar? *Betão*, 22, 24-29.

Veiga, M. R. & Carvalho, F. R. (1994). *Argamassas de revestimento na reabilitação do património urbano*. Em 2º ENCORE, Encontro sobre Conservação e reabilitação de Edifícios, Comunicações. Lisboa, LNEC, Junho/Julho de 1994. Vol. I, pp. 195-206.

Veiga, M. R. S. & De Souza, R. H. F. (2004). Metodologia de avaliação da retracção livre das argamassas desde a sua moldagem. *Engenharia Civil*, 20, 45-56.

ANEXOS

Anexo 1

| | | Resistência à FLEXÃO (7 DIAS) | | | | | | |
|---------|---------|-------------------------------|--------|--------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|------|
| Mistura | Provete | F (N) | b (mm) | d (mm) | f (7 dias) (N/mm ²) | f média (N/mm ²) | DP (N/mm ²) | CV% |
| 1 | 1A | 958,7 | 40 | 40 | 2,247 | 2,329 | 0,1 | 3,6 |
| | 1B | 1031 | 40 | 40 | 2,416 | | | |
| | 1C | 991,4 | 40 | 40 | 2,324 | | | |
| 2 | 2A | 886,4 | 40 | 40 | 2,078 | 2,143 | 0,2 | 10,8 |
| | 2B | 1023,4 | 40 | 40 | 2,399 | | | |
| | 2C | 832,6 | 40 | 40 | 1,951 | | | |
| 3 | 3A | 937,6 | 40 | 40 | 2,198 | 2,250 | 0,2 | 7,3 |
| | 3B | 904,3 | 40 | 40 | 2,119 | | | |
| | 3C | 1038,7 | 40 | 40 | 2,434 | | | |
| 4 | 4A | 211,4 | 40 | 40 | 0,495 | 2,427 | 1,7 | 69,2 |
| | 4B | 1516,8 | 40 | 40 | 3,555 | | | |
| | 4C | 1378,6 | 40 | 40 | 3,231 | | | |
| 5 | 5A | 1093,8 | 40 | 40 | 2,564 | 2,647 | 0,1 | 3,0 |
| | 5B | 1132,2 | 40 | 40 | 2,654 | | | |
| | 5C | 1162,2 | 40 | 40 | 2,724 | | | |
| 6 | 6A | 1021,4 | 40 | 40 | 2,394 | 2,167 | 0,2 | 11,1 |
| | 6B | 935 | 40 | 40 | 2,191 | | | |
| | 6C | 817,3 | 40 | 40 | 1,916 | | | |
| 7 | 7A | 1141,1 | 40 | 40 | 2,674 | 2,499 | 0,2 | 6,4 |
| | 7B | 1047,7 | 40 | 40 | 2,456 | | | |
| | 7C | 1009,3 | 40 | 40 | 2,366 | | | |
| 8 | 8A | 1028,5 | 40 | 40 | 2,411 | 2,476 | 0,1 | 2,5 |
| | 8B | 1081 | 40 | 40 | 2,534 | | | |
| | 8C | 1059,8 | 40 | 40 | 2,484 | | | |
| 9 | 9A | 986,2 | 40 | 40 | 2,311 | 2,138 | 0,2 | 9,8 |
| | 9B | 812,2 | 40 | 40 | 1,904 | | | |
| | 9C | 937,6 | 40 | 40 | 2,198 | | | |

Anexo 2

| | | Resistência à FLEXÃO (28 DIAS) | | | | | | |
|---------|---------|--------------------------------|--------|--------|------------------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----|
| Mistura | Provete | F (N) | b (mm) | d (mm) | f (7 dias) (N/mm ²) | f média (N/mm ²) | DP (N/mm ²) | CV% |
| 1 | 1A | 1457,9 | 40 | 40 | 3,417 | 3,411 | 0,2 | 5,9 |
| | 1B | 1539,8 | 40 | 40 | 3,609 | | | |
| | 1C | 1368,3 | 40 | 40 | 3,207 | | | |
| 2 | 2A | 1414,4 | 40 | 40 | 3,315 | 3,543 | 0,2 | 5,6 |
| | 2B | 1551,4 | 40 | 40 | 3,636 | | | |
| | 2C | 1569,3 | 40 | 40 | 3,678 | | | |
| 3 | 3A | 1257,6 | 40 | 40 | 2,948 | 2,924 | 0,1 | 2,7 |
| | 3B | 1210,2 | 40 | 40 | 2,836 | | | |
| | 3C | 1275,5 | 40 | 40 | 2,989 | | | |
| 4 | 4A | 1547,5 | 40 | 40 | 3,627 | 3,412 | 0,2 | 6,7 |
| | 4B | 1466,9 | 40 | 40 | 3,438 | | | |
| | 4C | 1353 | 40 | 40 | 3,171 | | | |
| 5 | 5A | 1628,2 | 40 | 40 | 3,816 | 3,673 | 0,1 | 3,4 |
| | 5B | 1532,2 | 40 | 40 | 3,591 | | | |
| | 5C | 1541,1 | 40 | 40 | 3,612 | | | |
| 6 | 6A | 1388,8 | 40 | 40 | 3,255 | 3,086 | 0,3 | 9,0 |
| | 6B | 1179,5 | 40 | 40 | 2,764 | | | |
| | 6C | 1382,4 | 40 | 40 | 3,240 | | | |
| 7 | 7A | 1338,9 | 40 | 40 | 3,138 | 3,179 | 0,1 | 3,0 |
| | 7B | 1402,9 | 40 | 40 | 3,288 | | | |
| | 7C | 1327,4 | 40 | 40 | 3,111 | | | |
| 8 | 8A | 1333,8 | 40 | 40 | 3,126 | 3,164 | 0,1 | 3,2 |
| | 8B | 1317,1 | 40 | 40 | 3,087 | | | |
| | 8C | 1399 | 40 | 40 | 3,279 | | | |
| 9 | 9A | 1271,7 | 40 | 40 | 2,981 | 2,759 | 0,3 | 9,7 |
| | 9B | 1210,2 | 40 | 40 | 2,836 | | | |
| | 9C | 1050,2 | 40 | 40 | 2,461 | | | |

Anexo 3

| | | Resistência à COMPRESSÃO (7 DIAS) | | | | | | |
|---------|---------|-----------------------------------|-------|-------------------------|---------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| Mistura | Provete | Lado | F (N) | Área (mm ²) | f (7 dias) (N/mm ²) | f média (N/mm ²) | Des.Pad (N/mm ²) | CV% |
| 1 | 1A | a | 18900 | 1600 | 11,813 | 11,188 | 0,9 | 8,2 |
| | | b | 16100 | 1600 | 10,063 | | | |
| | 1B | a | 16700 | 1600 | 10,438 | | | |
| | | b | 19900 | 1600 | 12,438 | | | |
| | 1C | a | 18600 | 1600 | 11,625 | | | |
| | | b | 17200 | 1600 | 10,750 | | | |
| 2 | 2A | a | 12700 | 1600 | 7,938 | 9,073 | 1,6 | 18,0 |
| | | b | 12700 | 1600 | 7,938 | | | |
| | 2B | a | 11800 | 1600 | 7,375 | | | |
| | | b | 14500 | 1600 | 9,063 | | | |
| | 2C | a | 17700 | 1600 | 11,063 | | | |
| | | b | 17700 | 1600 | 11,063 | | | |
| 3 | 3A | a | 17500 | 1600 | 10,938 | 11,438 | 0,5 | 4,6 |
| | | b | 19000 | 1600 | 11,875 | | | |
| | 3B | a | 18400 | 1600 | 11,500 | | | |
| | | b | 19400 | 1600 | 12,125 | | | |
| | 3C | a | 18300 | 1600 | 11,438 | | | |
| | | b | 17200 | 1600 | 10,750 | | | |
| 4 | 4A | a | 20100 | 1600 | 12,563 | 12,792 | 1,8 | 14,3 |
| | | b | 16900 | 1600 | 10,563 | | | |
| | 4B | a | 22000 | 1600 | 13,750 | | | |
| | | b | 17300 | 1600 | 10,813 | | | |
| | 4C | a | 22300 | 1600 | 13,938 | | | |
| | | b | 24200 | 1600 | 15,125 | | | |
| 5 | 5A | a | 19300 | 1600 | 12,063 | 12,208 | 1,2 | 9,8 |
| | | b | 19100 | 1600 | 11,938 | | | |
| | 5B | a | 22300 | 1600 | 13,938 | | | |
| | | b | 20900 | 1600 | 13,063 | | | |
| | 5C | a | 16700 | 1600 | 10,438 | | | |
| | | b | 18900 | 1600 | 11,813 | | | |
| 6 | 6A | a | 15300 | 1600 | 9,563 | 9,573 | 2,1 | 22,3 |
| | | b | 21500 | 1600 | 13,438 | | | |
| | 6B | a | 12100 | 1600 | 7,563 | | | |
| | | b | 16300 | 1600 | 10,188 | | | |
| | 6C | a | 14000 | 1600 | 8,750 | | | |
| | | b | 12700 | 1600 | 7,938 | | | |
| 7 | 7A | a | 14000 | 1600 | 8,750 | 9,875 | 2,6 | 26,4 |
| | | b | 13600 | 1600 | 8,500 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----|---|-------|------|--------|-------|-----|------|
| | 7B | a | 21300 | 1600 | 13,313 | | | |
| | | b | 13100 | 1600 | 8,188 | | | |
| | 7C | a | 20900 | 1600 | 13,063 | | | |
| | | b | 11900 | 1600 | 7,438 | | | |
| 8 | 8A | a | 17300 | 1600 | 10,813 | 9,500 | 1,8 | 18,7 |
| | | b | 14700 | 1600 | 9,188 | | | |
| | 8B | a | 13400 | 1600 | 8,375 | | | |
| | | b | 13300 | 1600 | 8,313 | | | |
| | 8C | a | 19900 | 1600 | 12,438 | | | |
| | | b | 12600 | 1600 | 7,875 | | | |
| 9 | 9A | a | 13200 | 1600 | 8,250 | 7,542 | 0,8 | 10,8 |
| | | b | 13600 | 1600 | 8,500 | | | |
| | 9B | a | 12200 | 1600 | 7,625 | | | |
| | | b | 12100 | 1600 | 7,563 | | | |
| | 9C | a | 10000 | 1600 | 6,250 | | | |
| | | b | 11300 | 1600 | 7,063 | | | |

Anexo 4

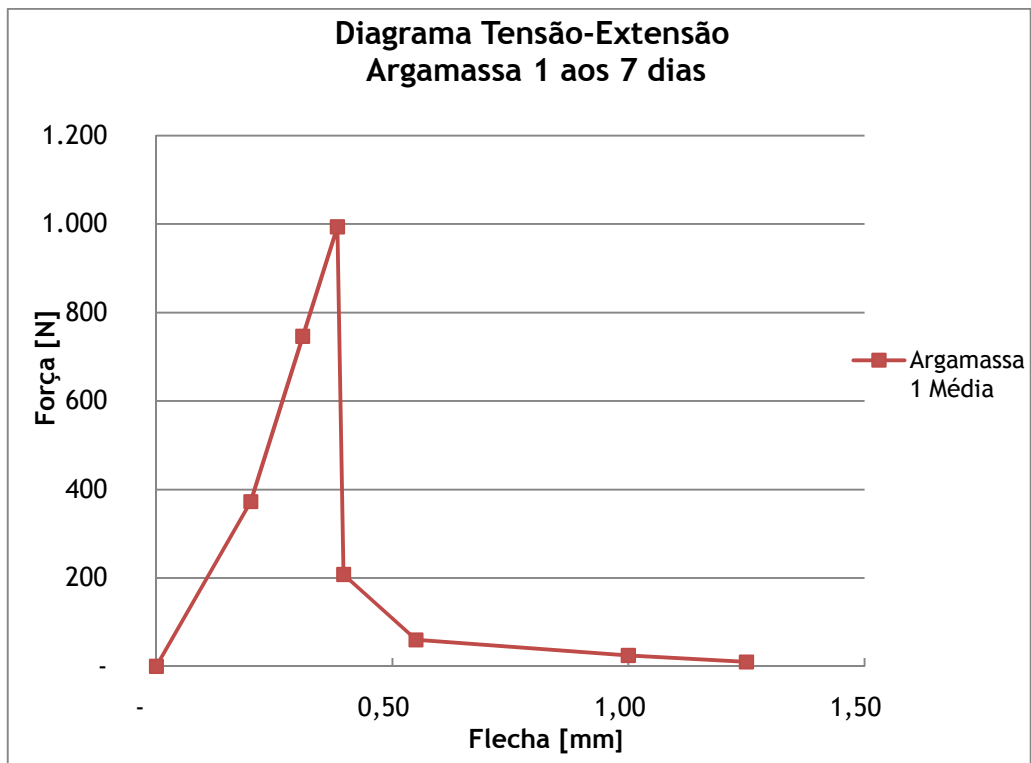
| | | Resistência à COMPRESSÃO (28 DIAS) | | | | | | |
|---------|---------|------------------------------------|-------|-------------------------|----------------------------------|------------------------------|------------------------------|------|
| Mistura | Provete | Lado | F (N) | Área (mm ²) | f (28 dias) (N/mm ²) | f média (N/mm ²) | Des.Pad (N/mm ²) | CV% |
| 1 | 1A | a | 36900 | 1600 | 23,063 | 20,688 | 2,6 | 12,4 |
| | | b | 31100 | 1600 | 19,438 | | | |
| | 1B | a | 36600 | 1600 | 22,875 | | | |
| | | b | 36500 | 1600 | 22,813 | | | |
| | 1C | a | 27300 | 1600 | 17,063 | | | |
| | | b | 30200 | 1600 | 18,875 | | | |
| 2 | 2A | a | 29500 | 1600 | 18,438 | 16,365 | 2,5 | 15,3 |
| | | b | 18500 | 1600 | 11,563 | | | |
| | 2B | a | 27200 | 1600 | 17,000 | | | |
| | | b | 27600 | 1600 | 17,250 | | | |
| | 2C | a | 28800 | 1600 | 18,000 | | | |
| | | b | 25500 | 1600 | 15,938 | | | |
| 3 | 3A | a | 18200 | 1600 | 11,375 | 11,635 | 1,8 | 15,4 |
| | | b | 21200 | 1600 | 13,250 | | | |
| | 3B | a | 15900 | 1600 | 9,938 | | | |
| | | b | 15200 | 1600 | 9,500 | | | |
| | 3C | a | 22500 | 1600 | 14,063 | | | |
| | | b | 18700 | 1600 | 11,688 | | | |
| 4 | 4A | a | 31900 | 1600 | 19,938 | 19,750 | 0,5 | 2,6 |
| | | b | 32500 | 1600 | 20,313 | | | |
| | 4B | a | 30400 | 1600 | 19,000 | | | |
| | | b | 32300 | 1600 | 20,188 | | | |
| | 4C | a | 30900 | 1600 | 19,313 | | | |
| | | b | 31600 | 1600 | 19,750 | | | |
| 5 | 5A | a | 26500 | 1600 | 16,563 | 14,531 | 3,6 | 24,6 |
| | | b | 32100 | 1600 | 20,063 | | | |
| | 5B | a | 22000 | 1600 | 13,750 | | | |
| | | b | 18000 | 1600 | 11,250 | | | |
| | 5C | a | 16600 | 1600 | 10,375 | | | |
| | | b | 24300 | 1600 | 15,188 | | | |
| 6 | 6A | a | 18000 | 1600 | 11,250 | 13,917 | 1,8 | 12,6 |
| | | b | 23300 | 1600 | 14,563 | | | |
| | 6B | a | 20700 | 1600 | 12,938 | | | |
| | | b | 21700 | 1600 | 13,563 | | | |
| | 6C | a | 26200 | 1600 | 16,375 | | | |
| | | b | 23700 | 1600 | 14,813 | | | |
| 7 | 7A | a | 15800 | 1600 | 9,875 | 13,031 | 2,0 | 15,2 |
| | | b | 18200 | 1600 | 11,375 | | | |

| | | | | | | | | |
|---|----|---|-------|------|--------|--------|-----|------|
| | 7B | a | 22600 | 1600 | 14,125 | | | |
| | | b | 23100 | 1600 | 14,438 | | | |
| | 7C | a | 23800 | 1600 | 14,875 | | | |
| | | b | 21600 | 1600 | 13,500 | | | |
| 8 | 8A | a | 20000 | 1600 | 12,500 | 16,135 | 2,9 | 18,3 |
| | | b | 20300 | 1600 | 12,688 | | | |
| | 8B | a | 28800 | 1600 | 18,000 | | | |
| | | b | 30900 | 1600 | 19,313 | | | |
| | 8C | a | 25600 | 1600 | 16,000 | | | |
| | | b | 29300 | 1600 | 18,313 | | | |
| 9 | 9A | a | 20600 | 1600 | 12,875 | 12,813 | 1,8 | 13,7 |
| | | b | 20400 | 1600 | 12,750 | | | |
| | 9B | a | 20600 | 1600 | 12,875 | | | |
| | | b | 21900 | 1600 | 13,688 | | | |
| | 9C | a | 15500 | 1600 | 9,688 | | | |
| | | b | 24000 | 1600 | 15,000 | | | |

Anexo 5

| Argamassa 1 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P1A | | P1B | | P1C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 371,5 | 0,23 | 371,2 | 0,19 | 374,7 | 0,18 |
| 748,2 | 0,35 | 745,6 | 0,3 | 745,6 | 0,28 |
| 958,7 | 0,42 | 1031 | 0,38 | 991,4 | 0,35 |
| 80 | 0,43 | 450,6 | 0,39 | 92,9 | 0,37 |

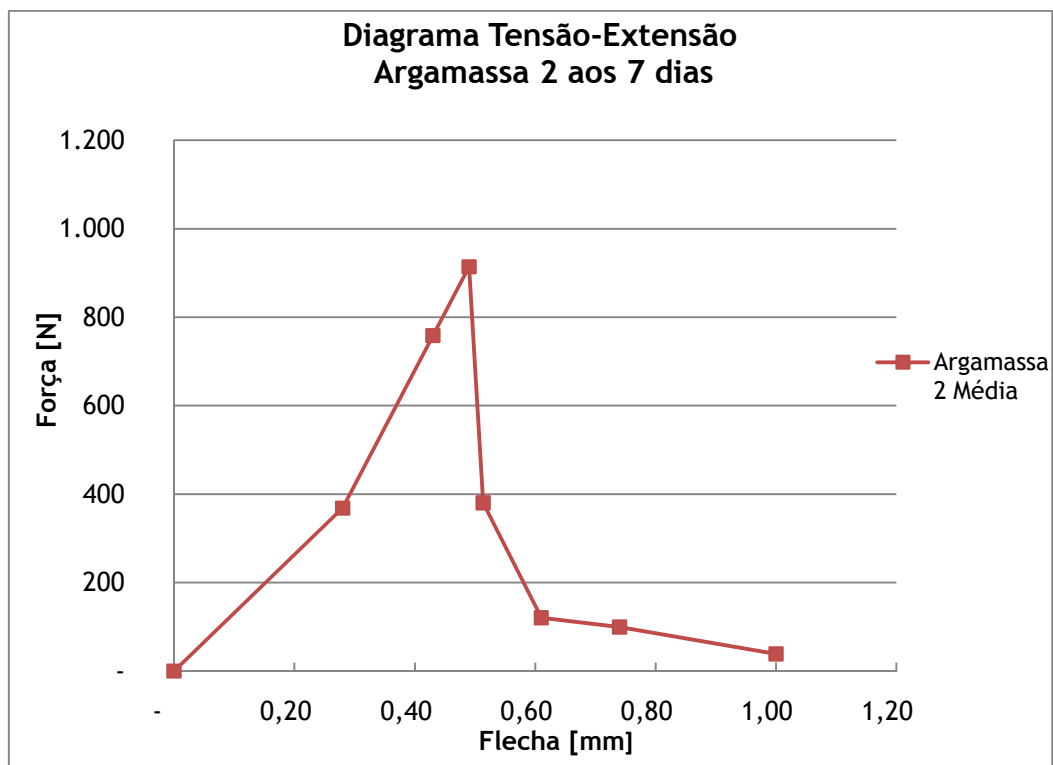
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 372,5 | 0,20 |
| 746,5 | 0,31 |
| 993,7 | 0,38 |
| 207,8 | 0,40 |
| 60,0 | 0,55 |
| 25,0 | 1,00 |
| 10 | 1,25 |



Anexo 6

| Argamassa 2 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| P2A | | P2B | | P2C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 374,1 | 0,24 | 363,8 | 0,27 | 367,4 | 0,33 |
| 755,8 | 0,39 | 763,5 | 0,4 | 755,8 | 0,5 |
| 886,4 | 0,45 | 1023,4 | 0,48 | 832,6 | 0,54 |
| 407,4 | 0,48 | 537,6 | 0,51 | 195,4 | 0,55 |

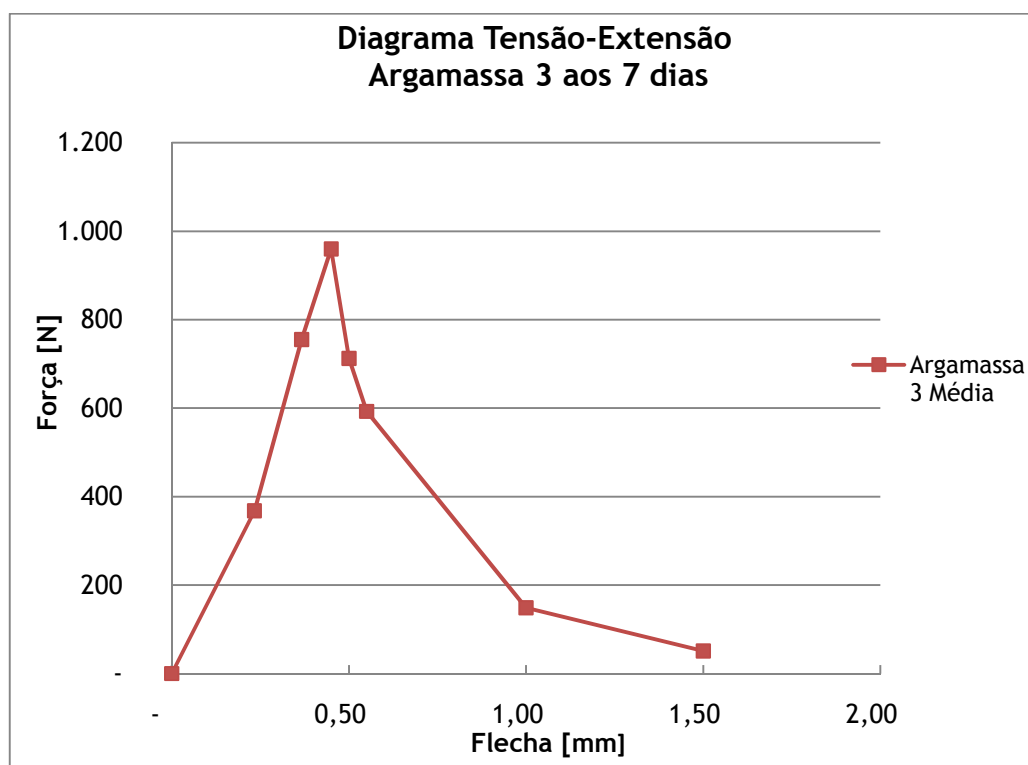
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 368,4 | 0,28 |
| 758,4 | 0,43 |
| 914,1 | 0,49 |
| 380,1 | 0,51 |
| 120,4 | 0,61 |
| 99,7 | 0,74 |
| 38,9 | 1 |



Anexo 7

| Argamassa 3 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| P3A | | P3B | | P3C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 372,8 | 0,26 | 375,4 | 0,24 | 355,5 | 0,2 |
| 749,4 | 0,41 | 764,8 | 0,37 | 752 | 0,32 |
| 937,6 | 0,5 | 904,3 | 0,45 | 1038,7 | 0,4 |
| 684,2 | 0,55 | 723,8 | 0,5 | 730,2 | 0,45 |
| 560 | 0,6 | 595,8 | 0,55 | 622,7 | 0,5 |

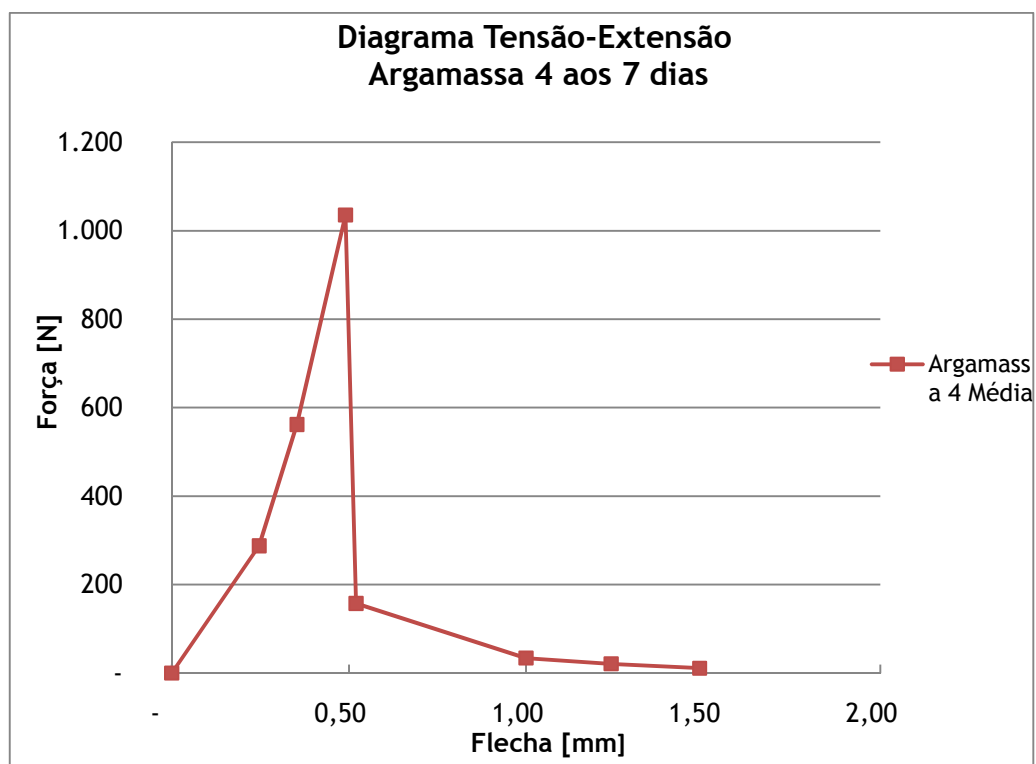
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 367,9 | 0,23 |
| 755,4 | 0,37 |
| 960,2 | 0,45 |
| 712,7 | 0,50 |
| 592,8 | 0,55 |
| 149,0 | 1,00 |
| 51,0 | 1,50 |



Anexo 8

| Argamassa 4 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P4A | | P4B | | P4C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 129,1 | 0,05 | 370,2 | 0,33 | 364,5 | 0,36 |
| 177 | 0,1 | 771,2 | 0,46 | 737,9 | 0,5 |
| 211,4 | 0,15 | 1516,8 | 0,64 | 1378,6 | 0,68 |
| 195 | 0,2 | 65,4 | 0,66 | 212 | 0,7 |

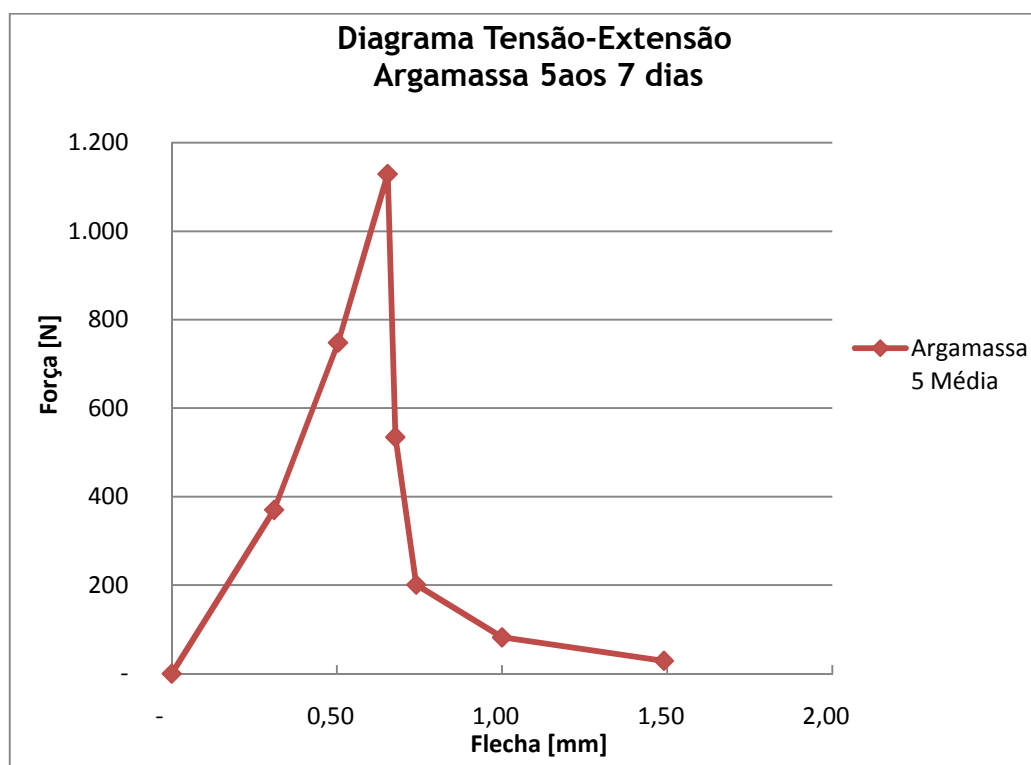
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 287,9 | 0,25 |
| 562,0 | 0,35 |
| 1035,6 | 0,49 |
| 157,5 | 0,52 |
| 34,0 | 1,00 |
| 21,0 | 1,24 |
| 11 | 1,49 |



Anexo 9

| Argamassa 5 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P5A | | P5B | | P5C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 367,7 | 0,26 | 376 | 0,35 | 366,7 | 0,32 |
| 749,4 | 0,43 | 746,9 | 0,56 | 748,2 | 0,52 |
| 1093,8 | 0,55 | 1132,2 | 0,71 | 1162,2 | 0,7 |
| 317,8 | 0,57 | 394,6 | 0,73 | 892,2 | 0,73 |
| | | | | 557,4 | 0,74 |

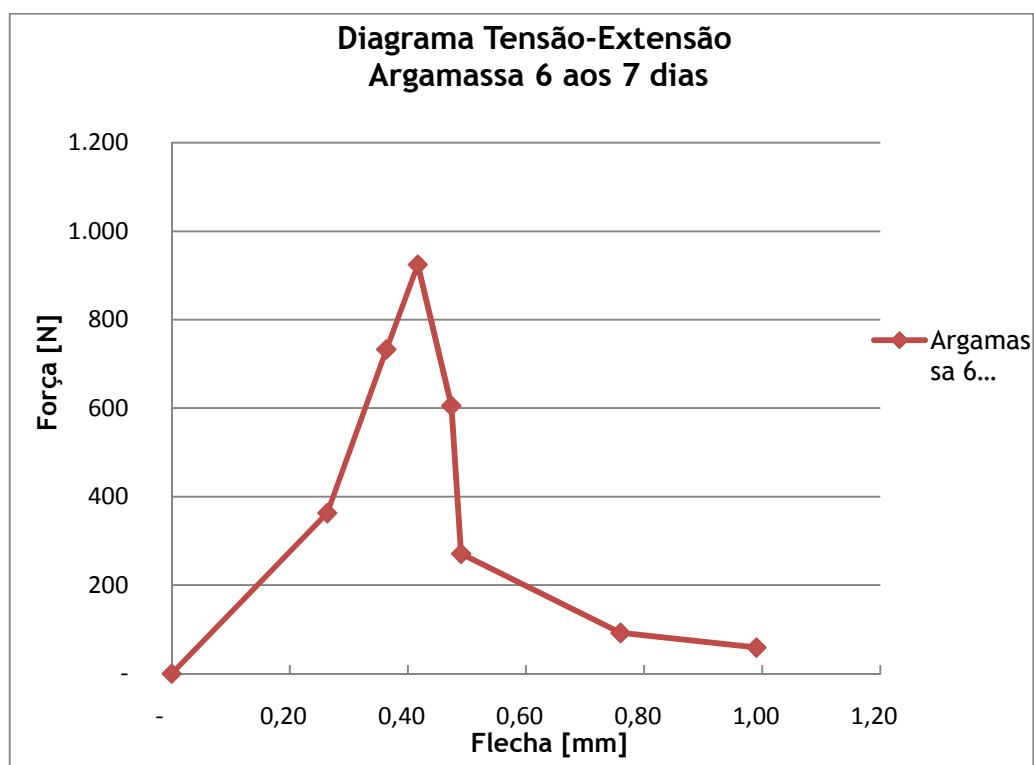
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 370,1 | 0,31 |
| 748,2 | 0,50 |
| 1129,4 | 0,65 |
| 534,9 | 0,68 |
| 201,0 | 0,74 |
| 82,0 | 1,00 |
| 29 | 1,49 |



Anexo 10

| Argamassa 6 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P6A | | P6B | | P6C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 360 | 0,14 | 361,3 | 0,25 | 367,4 | 0,4 |
| 738,6 | 0,23 | 727 | 0,35 | 732,8 | 0,51 |
| 1021,4 | 0,29 | 935 | 0,42 | 817,3 | 0,54 |
| 597,1 | 0,3 | 597,1 | 0,55 | 622,7 | 0,57 |
| | | 549,8 | 0,57 | 475,2 | 0,63 |

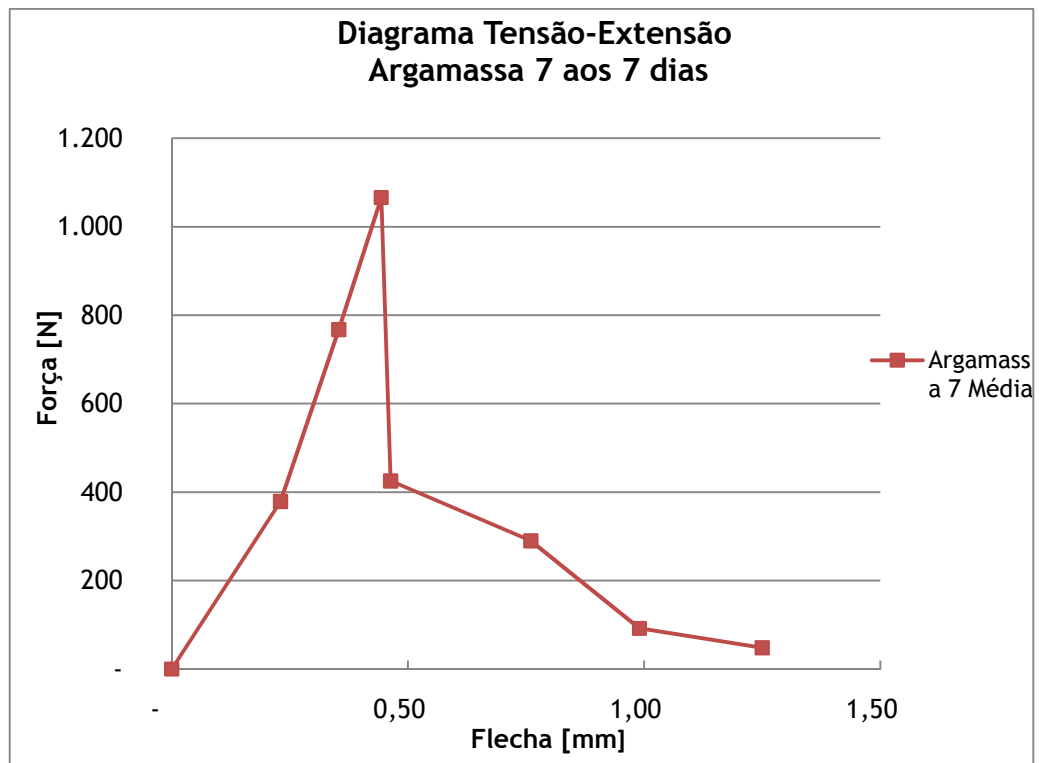
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 362,9 | 0,26 |
| 732,8 | 0,36 |
| 924,6 | 0,42 |
| 605,6 | 0,47 |
| 271,0 | 0,49 |
| 92,0 | 0,76 |
| 59 | 0,99 |



Anexo 11

| Argamassa 7 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P7A | | P7B | | P7C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 388,2 | 0,23 | 374,1 | 0,2 | 374,1 | 0,26 |
| 784 | 0,34 | 749,4 | 0,32 | 768,6 | 0,4 |
| 1141,1 | 0,43 | 1047,7 | 0,41 | 1009,3 | 0,49 |
| 519 | 0,45 | 472,6 | 0,43 | 284,5 | 0,51 |

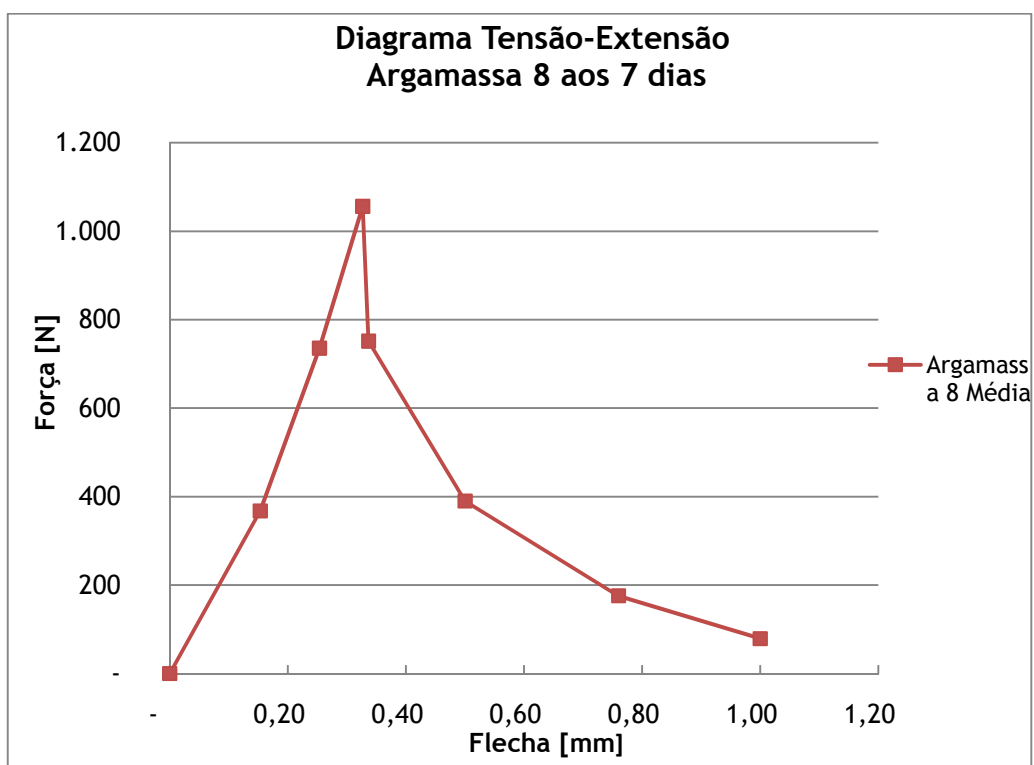
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 378,8 | 0,23 |
| 767,3 | 0,35 |
| 1066,0 | 0,44 |
| 425,4 | 0,46 |
| 290,1 | 0,76 |
| 92,0 | 0,99 |
| 48 | 1,25 |



Anexo 12

| Argamassa 8 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|--------|-------|
| P8A | | P8B | | P8C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 372,2 | 0,17 | 356,2 | 0,13 | 374,7 | 0,16 |
| 735,4 | 0,26 | 737,9 | 0,21 | 733,4 | 0,29 |
| 1028,5 | 0,34 | 1081 | 0,28 | 1059,8 | 0,36 |
| 1010,6 | 0,35 | 551 | 0,29 | 693,1 | 0,37 |
| 513,9 | 0,36 | | | 569 | 0,38 |

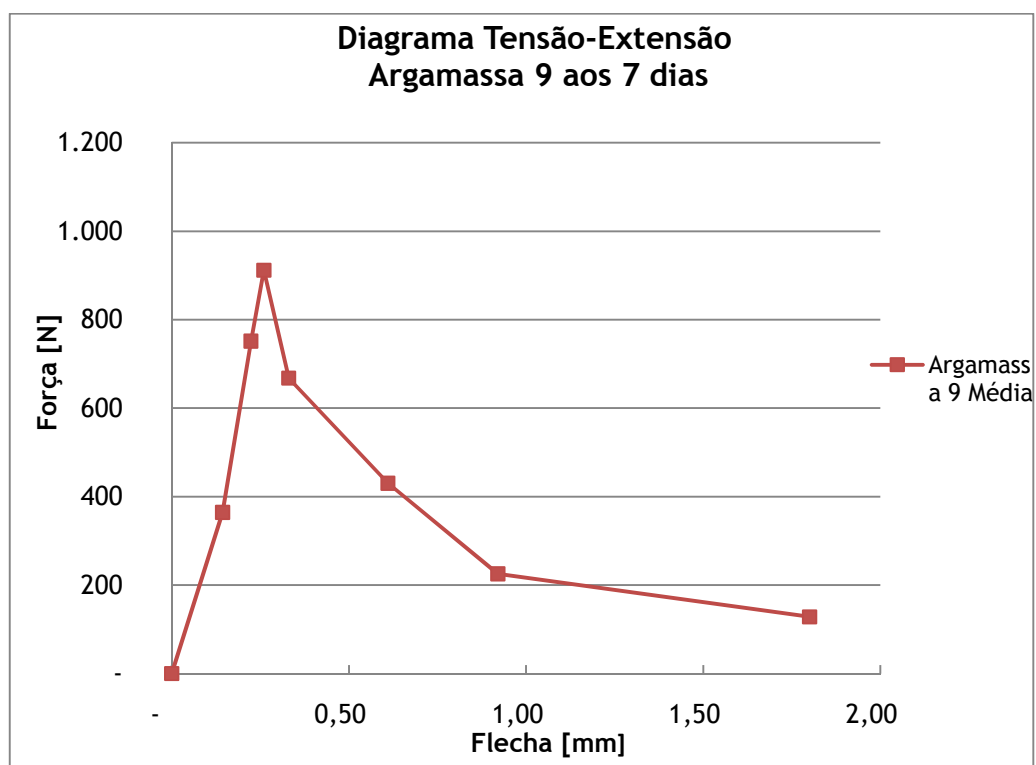
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 367,7 | 0,15 |
| 735,6 | 0,25 |
| 1056,4 | 0,33 |
| 751,6 | 0,34 |
| 390,1 | 0,50 |
| 175,9 | 0,76 |
| 79 | 1 |



Anexo 13

| Argamassa 9 aos 7 dias | | | | | |
|------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| P9A | | P9B | | P9C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 347,2 | 0,15 | 384 | 0,12 | 362,6 | 0,16 |
| 740,5 | 0,23 | 750,7 | 0,19 | 763,5 | 0,25 |
| 986,2 | 0,28 | 812,2 | 0,21 | 937,6 | 0,29 |
| 736,6 | 0,32 | 649,6 | 0,22 | 617,6 | 0,45 |
| 575,4 | 0,37 | 482,9 | 0,25 | 584,3 | 0,5 |

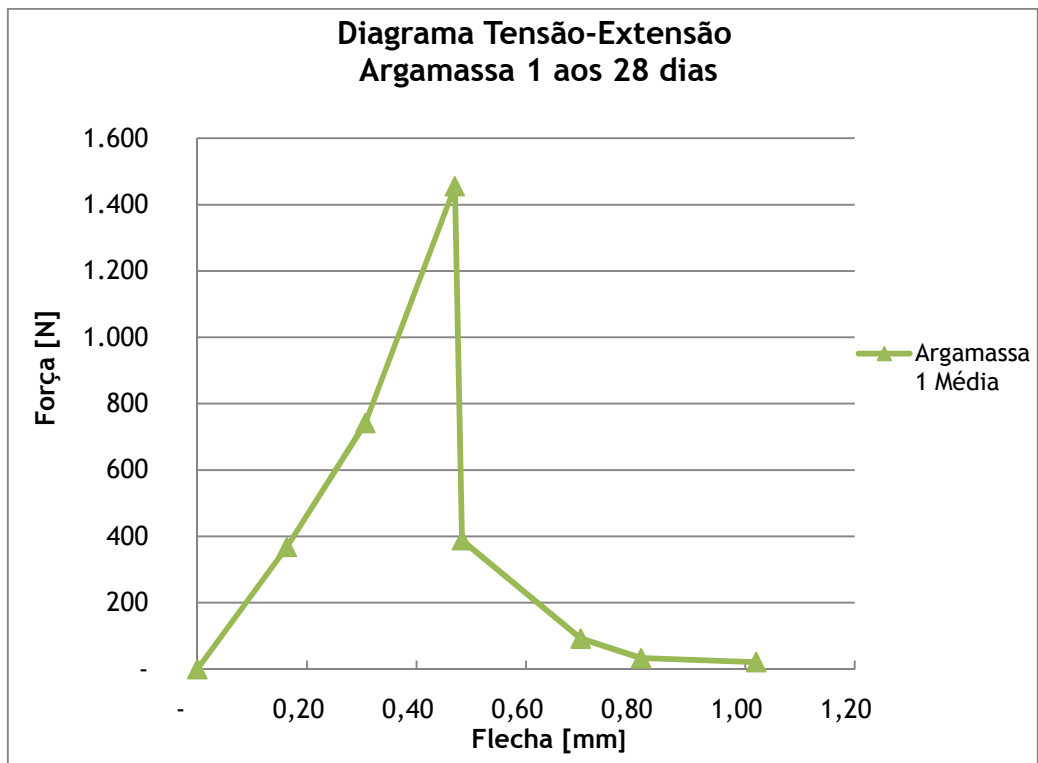
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 364,6 | 0,14 |
| 751,6 | 0,22 |
| 912,0 | 0,26 |
| 667,9 | 0,33 |
| 430,2 | 0,61 |
| 225,5 | 0,92 |
| 128,2 | 1,8 |



Anexo 14

| Argamassa 1 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P1A | | P1B | | P1C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 367 | 0,21 | 372,2 | 0,14 | 365,1 | 0,14 |
| 732,8 | 0,34 | 737,9 | 0,22 | 753,9 | 0,36 |
| 1457,9 | 0,53 | 1539,8 | 0,38 | 1368,3 | 0,5 |
| 856,3 | 0,54 | 90,1 | 0,39 | 220 | 0,52 |

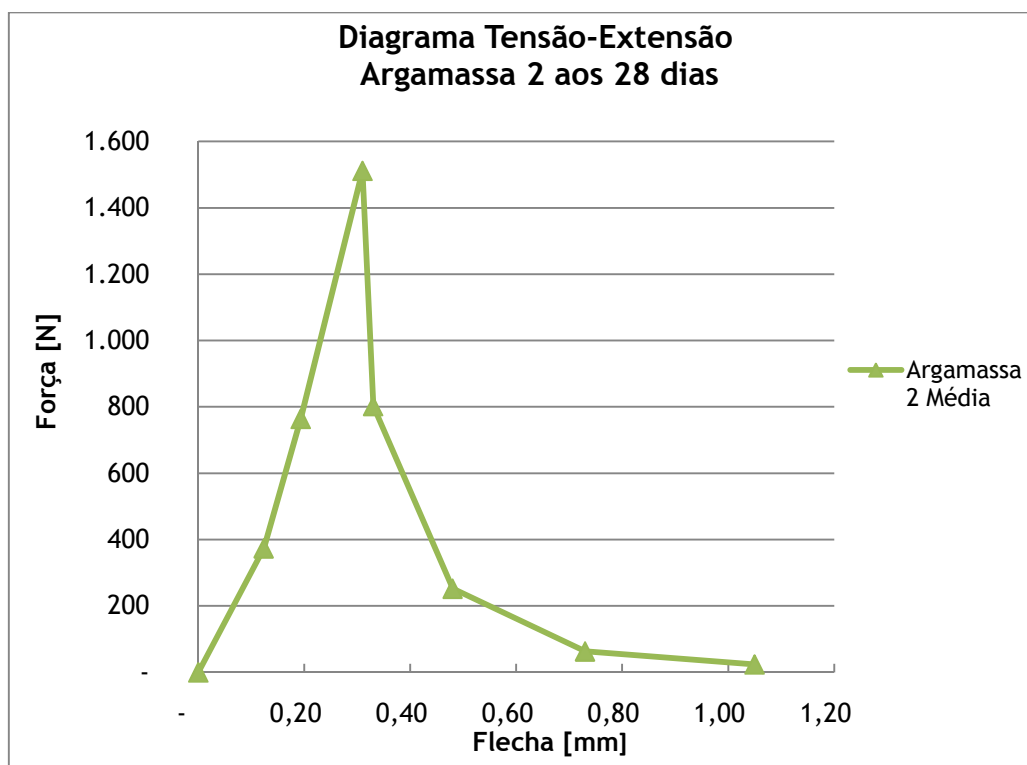
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 368,1 | 0,16 |
| 741,5 | 0,31 |
| 1455,3 | 0,47 |
| 388,8 | 0,48 |
| 91,9 | 0,7 |
| 33,2 | 0,81 |
| 21,2 | 1,02 |



Anexo 15

| Argamassa 2 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P2A | | P2B | | P2C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 366,4 | 0,13 | 362,2 | 0,14 | 392,6 | 0,1 |
| 737,9 | 0,2 | 786,6 | 0,22 | 768 | 0,16 |
| 1414,4 | 0,3 | 1551,4 | 0,34 | 1569,3 | 0,29 |
| 808,3 | 0,33 | 925,4 | 0,35 | 673,9 | 0,31 |

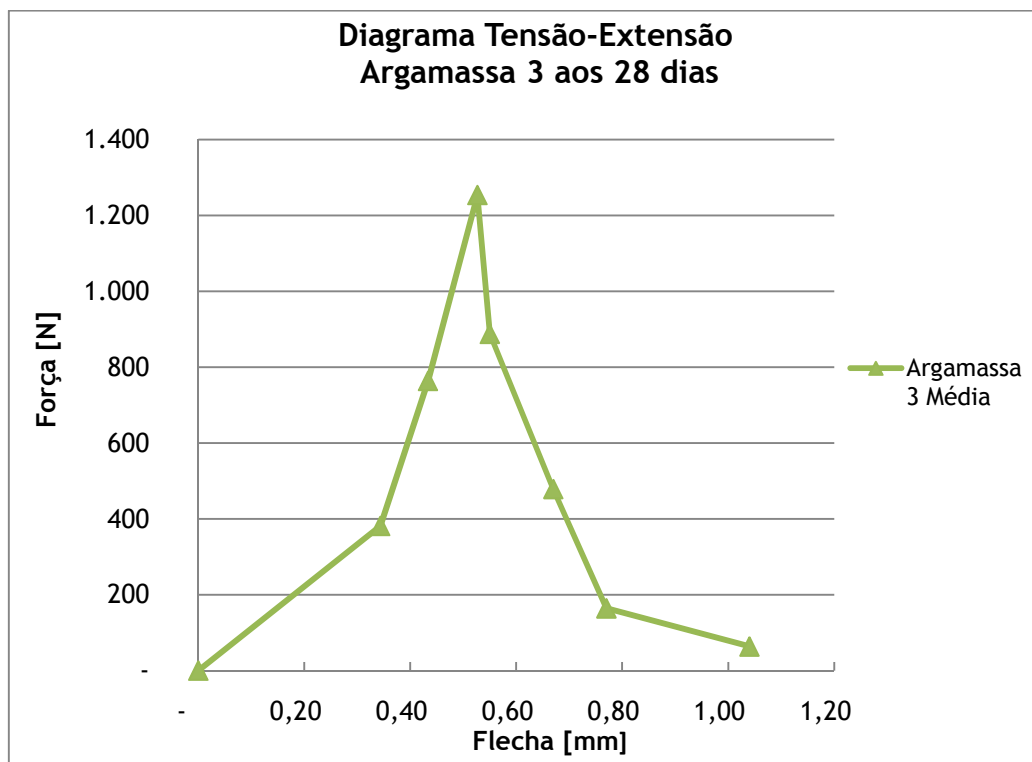
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 373,7 | 0,12 |
| 764,2 | 0,19 |
| 1511,7 | 0,31 |
| 802,5 | 0,33 |
| 252,1 | 0,48 |
| 63,1 | 0,73 |
| 23,9 | 1,05 |



Anexo 16

| Argamassa 3 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P3A | | P3B | | P3C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 385 | 0,16 | 379,2 | 0,71 | 379,8 | 0,16 |
| 771,2 | 0,24 | 768,6 | 0,81 | 751,4 | 0,25 |
| 1275,5 | 0,33 | 1275,5 | 0,89 | 1210,2 | 0,36 |
| 881,3 | 0,35 | 895,4 | 0,92 | 886,4 | 0,38 |
| 691,8 | 0,38 | 729,2 | 0,94 | 654,7 | 0,4 |

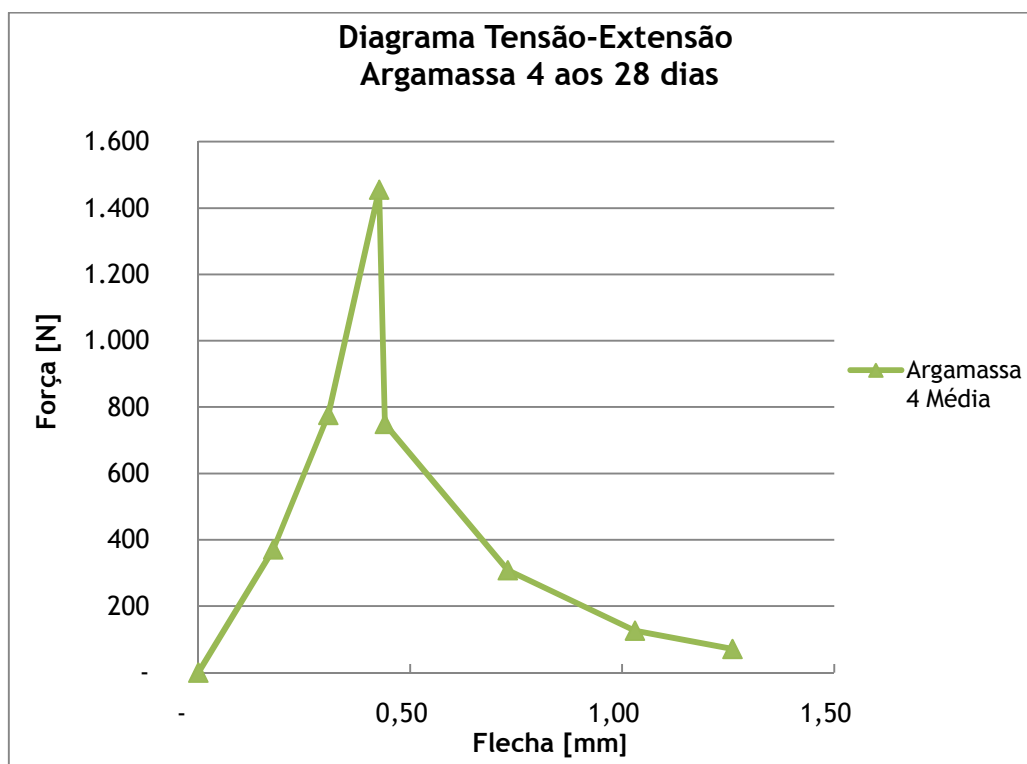
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 381,3 | 0,34 |
| 763,7 | 0,43 |
| 1253,7 | 0,53 |
| 887,7 | 0,55 |
| 478,6 | 0,67 |
| 164,1 | 0,77 |
| 63,4 | 1,04 |



Anexo 17

| Argamassa 4 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| P4A | | P4B | | P4C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 367,7 | 0,24 | 380,5 | 0,11 | 365,1 | 0,18 |
| 782,1 | 0,43 | 787,8 | 0,18 | 759,7 | 0,31 |
| 1547,5 | 0,55 | 1466,9 | 0,28 | 1353 | 0,45 |
| 1038,1 | 0,56 | 984,3 | 0,29 | 226,1 | 0,47 |
| 432,6 | 0,57 | 278,1 | 0,3 | | |

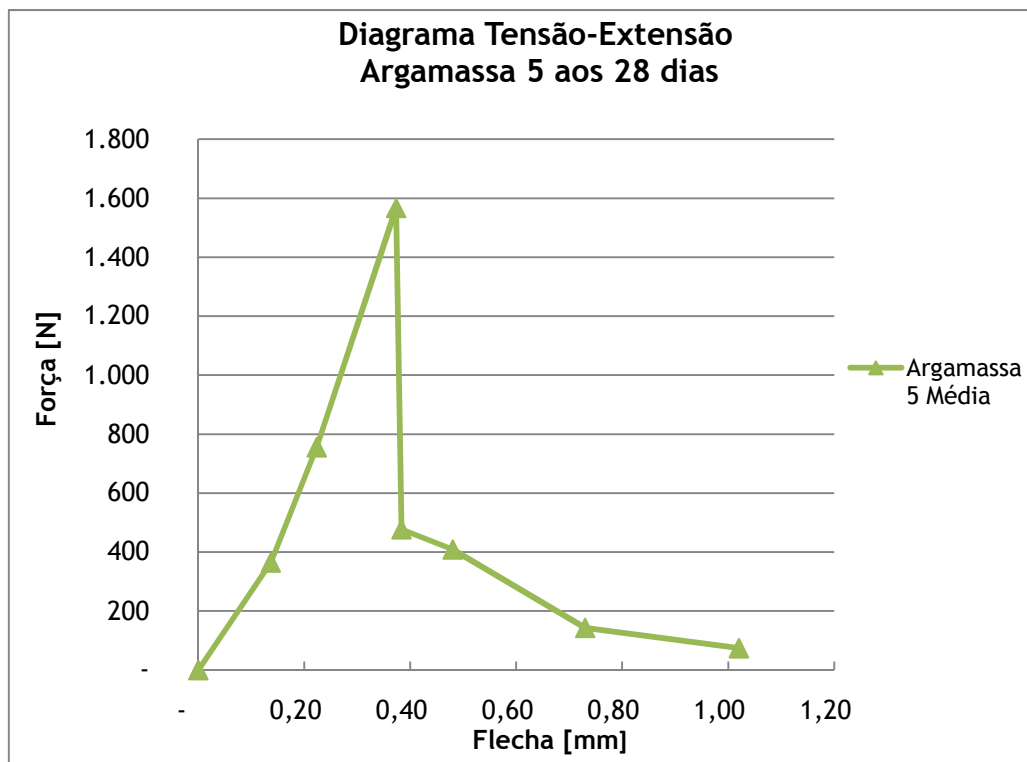
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 371,1 | 0,18 |
| 776,5 | 0,31 |
| 1455,8 | 0,43 |
| 749,5 | 0,44 |
| 308,3 | 0,73 |
| 126,3 | 1,03 |
| 71,2 | 1,26 |



Anexo 18

| Argamassa 5 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P5A | | P5B | | P5C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 360,3 | 0,13 | 359,7 | 0,12 | 375 | 0,16 |
| 773,8 | 0,22 | 727 | 0,2 | 766,1 | 0,25 |
| 1628,2 | 0,38 | 1532,2 | 0,34 | 1541,1 | 0,4 |
| 535,7 | 0,39 | 176,5 | 0,35 | 720 | 0,41 |
| | | 482,9 | 0,36 | | |

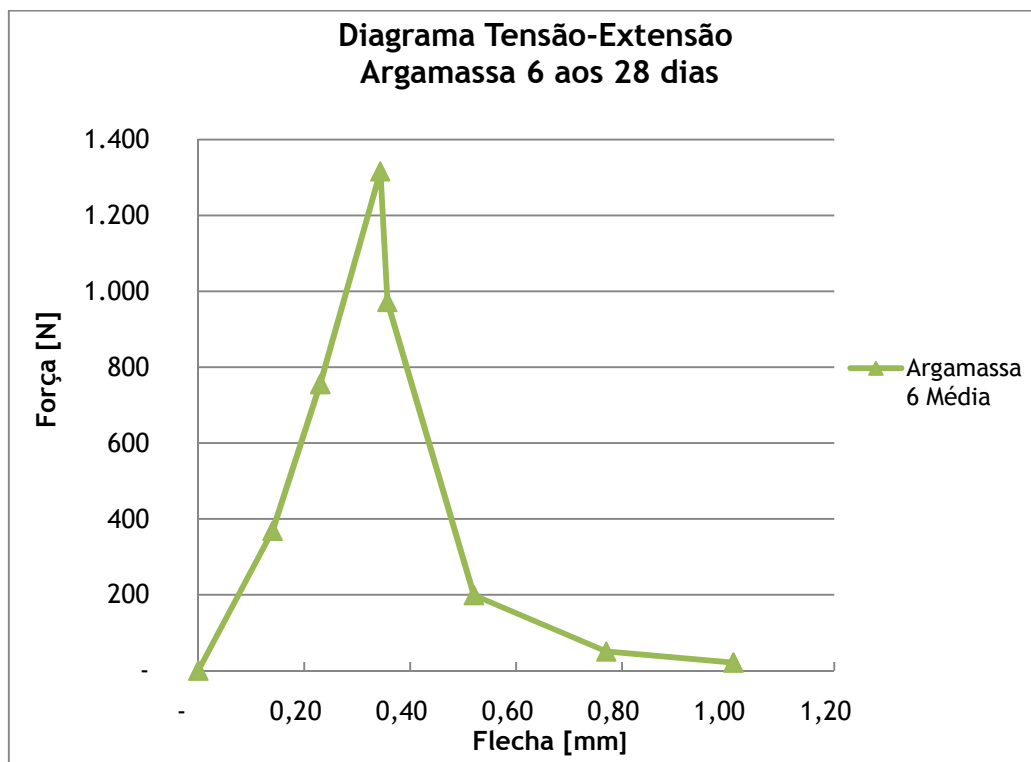
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 365,0 | 0,14 |
| 755,6 | 0,22 |
| 1567,2 | 0,37 |
| 477,4 | 0,38 |
| 408,9 | 0,48 |
| 143,2 | 0,73 |
| 74,3 | 1,02 |



Anexo 19

| Argamassa 6 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P6A | | P6B | | P6C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 386,9 | 0,12 | 362,6 | 0,17 | 356,8 | 0,13 |
| 767,4 | 0,19 | 753,3 | 0,29 | 746,9 | 0,21 |
| 1388,8 | 0,3 | 1179,5 | 0,41 | 1382,4 | 0,32 |
| 1015 | 0,32 | 949,8 | 0,42 | 952,3 | 0,33 |
| 670,7 | 0,34 | 681 | 0,47 | 578,6 | 0,34 |

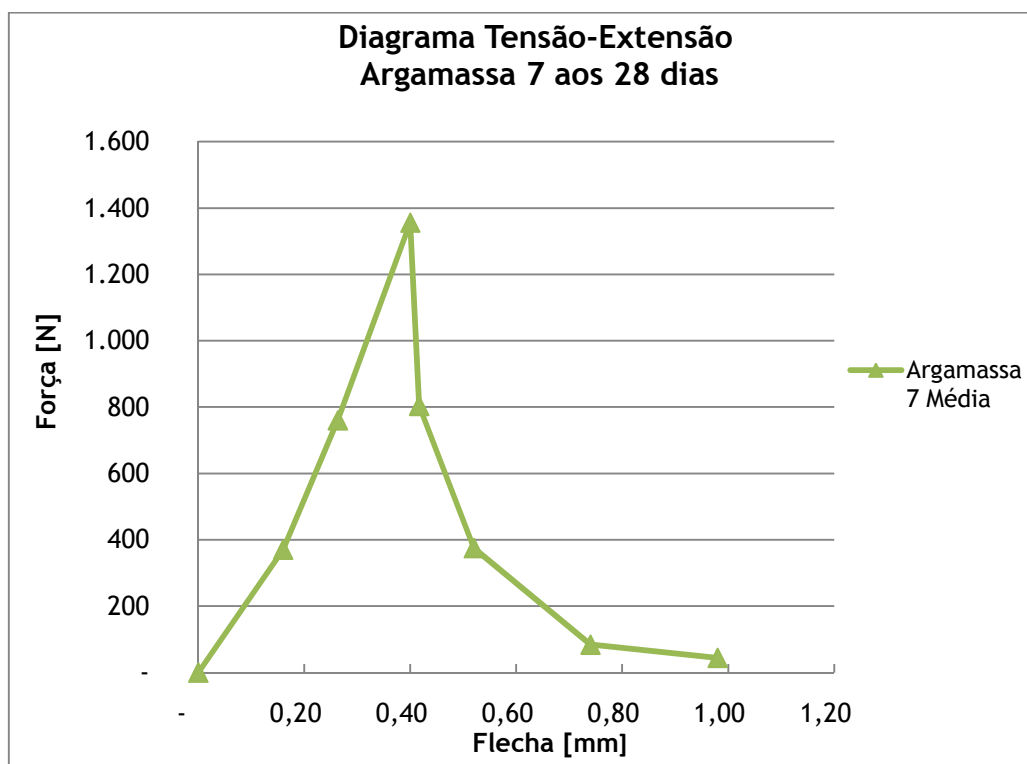
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 368,8 | 0,14 |
| 755,9 | 0,23 |
| 1316,9 | 0,34 |
| 972,4 | 0,36 |
| 198,9 | 0,52 |
| 50,3 | 0,77 |
| 21,1 | 1,01 |



Anexo 20

| Argamassa 7 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P7A | | P7B | | P7C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 364,2 | 0,12 | 363,8 | 0,23 | 383,7 | 0,13 |
| 776,3 | 0,2 | 763,5 | 0,37 | 741,8 | 0,22 |
| 1338,9 | 0,3 | 1402,9 | 0,57 | 1327,4 | 0,33 |
| 828,8 | 0,31 | 652,2 | 0,58 | 931,2 | 0,36 |
| 437,4 | 0,32 | | | 707,8 | 0,38 |

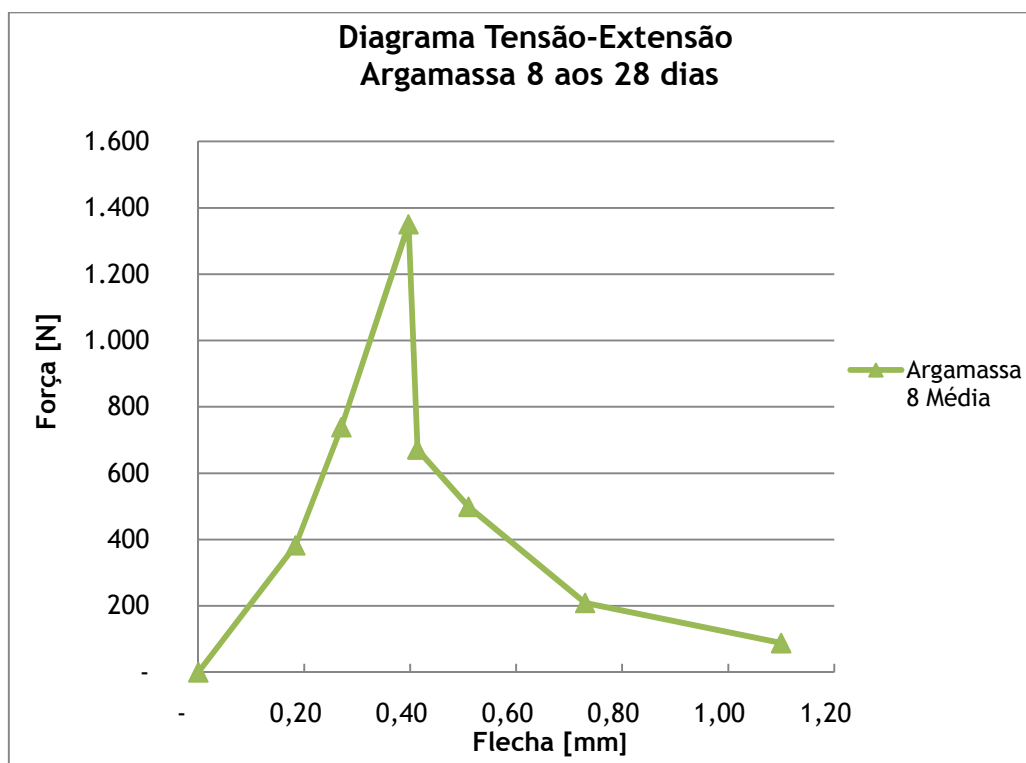
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 370,6 | 0,16 |
| 760,5 | 0,26 |
| 1356,4 | 0,40 |
| 804,1 | 0,42 |
| 375,3 | 0,52 |
| 84,1 | 0,74 |
| 44,3 | 0,98 |



Anexo 21

| Argamassa 8 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|-------|-------|
| P8A | | P8B | | P8C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 386,9 | 0,2 | 384,3 | 0,17 | 376,6 | 0,18 |
| 753,9 | 0,27 | 734,7 | 0,26 | 727,7 | 0,28 |
| 1333,8 | 0,37 | 1317,1 | 0,4 | 1399 | 0,42 |
| 603,5 | 0,39 | 627,8 | 0,42 | 783,4 | 0,43 |

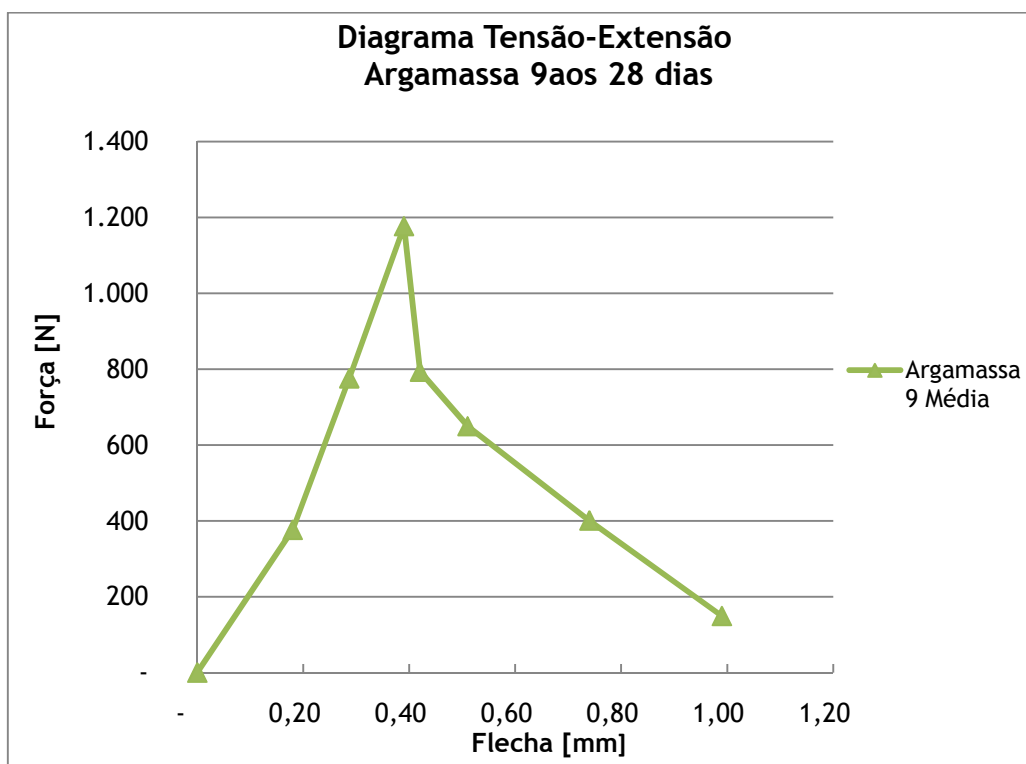
| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 382,6 | 0,18 |
| 738,8 | 0,27 |
| 1350,0 | 0,40 |
| 671,6 | 0,41 |
| 498,9 | 0,51 |
| 209,2 | 0,73 |
| 88 | 1,1 |



Anexo 22

| Argamassa 9 aos 28 dias | | | | | |
|-------------------------|-------|--------|-------|--------|-------|
| P9A | | P9B | | P9C | |
| F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] | F[N] | L[mm] |
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 380,5 | 0,26 | 382,7 | 0,17 | 366,4 | 0,11 |
| 753,3 | 0,41 | 783,4 | 0,26 | 791,7 | 0,19 |
| 1271,7 | 0,58 | 1210,2 | 0,35 | 1050,2 | 0,24 |
| 811,5 | 0,6 | 752,6 | 0,4 | 817,3 | 0,26 |
| 723,8 | 0,61 | 716,2 | 0,42 | 611,8 | 0,3 |

| Fmédio | Lmédio |
|--------|--------|
| 0,0 | 0,00 |
| 376,5 | 0,18 |
| 776,1 | 0,29 |
| 1177,4 | 0,39 |
| 793,8 | 0,42 |
| 649,8 | 0,51 |
| 401,1 | 0,74 |
| 149,2 | 0,99 |



Anexo 23

| | | Ensaio de ultra-som Modulo de elasticidade dinâmico | | | | | | | | | |
|---------|---------|---|--------|------------------------|-------------|----------------------|----------|-----------|----------|--------|--------------|
| Mistura | Provete | Tempo (µs) | L (mm) | ρ (Kg/m ³) | V (Km/s) | ν (Coef. de Poisson) | Ed (MPa) | Edm (MPa) | Sd (MPa) | CV (%) | Desv. Padrão |
| 1 | 1A | 50,9 | 160 | 1802 | 3,143418468 | 0,2 | 12819,91 | 13184 | 325,40 | 99,2 | 325,4 |
| | 1B | 50 | 160 | 1802 | 3,2 | 0,2 | 13285,59 | | | | |
| | 1C | 49,7 | 160 | 1802 | 3,219315895 | 0,2 | 13446,46 | | | | |
| 2 | 2A | 47,9 | 160 | 1802 | 3,340292276 | 0,2 | 14476,05 | 13613,6 | 775,85 | 104,9 | 775,8 |
| | 2B | 50,6 | 160 | 1802 | 3,162055336 | 0,2 | 12972,38 | | | | |
| | 2C | 49,8 | 160 | 1802 | 3,212851406 | 0,2 | 13392,51 | | | | |
| 3 | 3A | 53,2 | 160 | 1802 | 3,007518797 | 0,2 | 11735,36 | 11844,1 | 350,53 | 96,8 | 350,5 |
| | 3B | 52,1 | 160 | 1802 | 3,071017274 | 0,2 | 12236,15 | | | | |
| | 3C | 53,6 | 160 | 1802 | 2,985074627 | 0,2 | 11560,86 | | | | |
| 4 | 4A | 51,6 | 160 | 1802 | 3,100775194 | 0,2 | 12474,43 | 12516,2 | 488,04 | 103,9 | 488,0 |
| | 4B | 52,5 | 160 | 1802 | 3,047619048 | 0,2 | 12050,40 | | | | |
| | 4C | 50,5 | 160 | 1802 | 3,168316832 | 0,2 | 13023,80 | | | | |
| 5 | 5A | 50,6 | 160 | 1802 | 3,162055336 | 0,2 | 12972,38 | 12288 | 706,72 | 106,3 | 706,7 |
| | 5B | 53,6 | 160 | 1802 | 2,985074627 | 0,2 | 11560,86 | | | | |
| | 5C | 51,9 | 160 | 1802 | 3,082851638 | 0,2 | 12330,64 | | | | |
| 6 | 6A | 53,4 | 160 | 1802 | 2,996254682 | 0,2 | 11647,62 | 10469,5 | 1065,35 | 109,4 | 1065,3 |
| | 6B | 58,9 | 160 | 1802 | 2,716468591 | 0,2 | 9573,87 | | | | |
| | 6C | 57,1 | 160 | 1802 | 2,802101576 | 0,2 | 10187,00 | | | | |
| 7 | 7A | 53,4 | 160 | 1802 | 2,996254682 | 0,2 | 11647,62 | 11123,5 | 460,671 | 101,7 | 460,7 |
| | 7B | 55,1 | 160 | 1802 | 2,903811252 | 0,2 | 10939,97 | | | | |
| | 7C | 55,5 | 160 | 1802 | 2,882882883 | 0,2 | 10782,84 | | | | |
| 8 | 8A | 51,4 | 160 | 1802 | 3,112840467 | 0,2 | 12571,70 | 11686,7 | 768,916 | 103,4 | 768,9 |
| | 8B | 54,2 | 160 | 1802 | 2,95202952 | 0,2 | 11306,31 | | | | |

O desempenho reológico e mecânico das argamassas de revestimento reforçadas com fibras sintéticas

| | | | | | | | | | | | |
|---|----|------|-----|------|-------------|-----|----------|---------|---------|------|------|
| | 8C | 54,5 | 160 | 1802 | 2,935779817 | 0,2 | 11182,18 | | | | |
| 9 | 9A | 57,6 | 160 | 1802 | 2,777777778 | 0,2 | 10010,91 | 10081,2 | 93,2496 | 99,0 | 93,2 |
| | 9B | 57,1 | 160 | 1802 | 2,802101576 | 0,2 | 10187,00 | | | | |
| | 9C | 57,5 | 160 | 1802 | 2,782608696 | 0,2 | 10045,76 | | | | |

Anexo 24

| Ensaio de retracção | | | | | | | | |
|---------------------|-----------|----------------------|------------------------|------------|-------------|-------------|-------------|---------------|
| Argamassas | Provetete | Massa na Descofragem | Leitura na descofragem | Leitura 7d | Leitura 14d | Leitura 21d | Leitura 28d | Massa aos 28d |
| 1 | 1A | 556,1 | 16,08 | 16,041 | 16,026 | 15,967 | 15,935 | 525,3 |
| | 1B | 548,6 | 17,251 | 17,238 | 17,2 | 17,172 | 17,138 | 517,7 |
| | 1C | 552,2 | 16,893 | 16,855 | 16,748 | 16,738 | 16,734 | 522,9 |
| 2 | 2A | 545,6 | 15,398 | 15,383 | 15,333 | 15,314 | 15,286 | 511,9 |
| | 2B | 553,6 | 15,911 | 15,891 | 15,856 | 15,854 | 15,853 | 518,8 |
| | 2C | 551,9 | 15,636 | 15,625 | 15,577 | 15,478 | 15,424 | 520,5 |
| 3 | 3A | 541,8 | 16,667 | 16,637 | 16,441 | 16,418 | 16,395 | 501 |
| | 3B | 546,9 | 16,999 | 16,977 | 16,88 | 16,815 | 16,768 | 506,3 |
| | 3C | 543,3 | 16,921 | 16,898 | 16,612 | 16,601 | 16,545 | 502,8 |
| 4 | 4A | 542,5 | 17,867 | 17,843 | 16,821 | 16,793 | 16,762 | 500,1 |
| | 4B | 544,8 | 17,364 | 17,346 | 17,112 | 17,109 | 17,089 | 502,9 |
| | 4C | 535,8 | 16,499 | 16,489 | 16,469 | 16,466 | 16,458 | 494,5 |
| 5 | 5A | 538,9 | 15,821 | 15,79 | 15,745 | 15,687 | 15,662 | 508,1 |
| | 5B | 546,5 | 16,995 | 16,975 | 16,946 | 16,913 | 16,874 | 515,6 |
| | 5C | 539,7 | 17,401 | 17,387 | 17,354 | 17,306 | 17,29 | 508,6 |
| 6 | 6A | 476 | 16,537 | 16,492 | 16,365 | 16,332 | 16,325 | 437,3 |
| | 6B | 465,1 | 16,95 | 16,871 | 16,827 | 16,792 | 16,756 | 426,8 |
| | 6C | 484,3 | 16,258 | 16,275 | 16,188 | 16,142 | 16,091 | 446,6 |
| 7 | 7A | 506,3 | 16,514 | 16,446 | 16,352 | 16,307 | 16,26 | 468,5 |
| | 7B | 510,9 | 16,294 | 16,282 | 16,198 | 16,162 | 16,103 | 474,4 |
| | 7C | 504,1 | 16,409 | 16,379 | 16,218 | 16,163 | 16,141 | 467,2 |
| 8 | 8A | 540,8 | 16,47 | 16,363 | 16,349 | 16,288 | 16,255 | 504,5 |
| | 8B | 535,2 | 17,057 | 17,054 | 17,012 | 16,944 | 16,891 | 499,3 |
| | 8C | 530,2 | 16,826 | 16,81 | 16,793 | 16,693 | 16,638 | 494,3 |
| 9 | 9A | 496,2 | 16,713 | 16,619 | 16,603 | 15,528 | 16,461 | 455,4 |
| | 9B | 474,4 | 17,577 | 17,512 | 17,483 | 17,389 | 17,347 | 438,2 |
| | 9C | 474 | 16,753 | 16,692 | 16,657 | 16,617 | 16,55 | 434,7 |

Anexo 25

| Retracção (mm/mm) | | | | Desv. Padrão (mm/mm) |
|-------------------|--------------|--------------|--------------|----------------------|
| 7 dias | 14 dias | 21 dias | 28 dias | |
| -1,1674E-05 | -3,20387E-05 | -4,46929E-05 | -5,37203E-05 | 0,001550934 |
| -6,31107E-06 | -2,46267E-05 | -4,11668E-05 | -5,26396E-05 | 0,005015557 |
| -9,57724E-06 | -8,3487E-05 | -9,60759E-05 | -0,000112107 | 0,00441192 |
| -6,42147E-06 | -4,06573E-05 | -4,47901E-05 | -5,20411E-05 | 0,006940262 |
| -8,47482E-06 | -2,23396E-05 | -4,03315E-05 | -5,06422E-05 | 0,001941261 |
| -1,36264E-05 | -4,72325E-05 | -6,20493E-05 | -7,42732E-05 | 0,001275253 |
| -1,43709E-05 | -5,8799E-05 | -7,66188E-05 | -9,34097E-05 | 0,002434063 |
| -1,63945E-05 | -2,56907E-05 | -5,50101E-05 | -7,30307E-05 | 0,001665825 |
| -2,78785E-05 | -3,79783E-05 | -6,42645E-05 | -8,66249E-05 | 0,001509691 |

Anexo 26

| | | | Ensaio de capilaridade aos 28 dias | | | | | | | | | | |
|---------|---------|------|------------------------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---|--|-----|-------|-------------------|
| | | | MASSA (gr) | | | | | | | | | | |
| Mistura | Provete | Lado | 1ªleitura | 2ªleitura | 3ªleitura | 4ªleitura | 5ªleitura | 6ªleitura | C (Kg/(m ² *min ^{0,5})) | Cmédio (Kg/(m ² *min ^{0,5})) | DP | CV(%) | kg/m ² |
| | | | Início | 10min | 20min | 30min | 60min | 90min | | | | | |
| 1 | 1A | a | 273,8 | 276,1 | 277,3 | 278 | 279,1 | 279,8 | 0,37 | 0,348 | 0,0 | 6,1 | 1,438 |
| | | b | 268,2 | 271 | 272 | 272,7 | 274,2 | 274,6 | 0,36 | | | | 1,750 |
| | 1B | a | 278,4 | 281,1 | 282,1 | 282,8 | 284,3 | 284,6 | 0,35 | | | | 1,688 |
| | | b | 271,4 | 274,1 | 275,3 | 276,1 | 276,9 | 277,7 | 0,36 | | | | 1,688 |
| | 1C | a | 272,3 | 275,1 | 275,9 | 276,7 | 277,5 | 278,2 | 0,31 | | | | 1,750 |
| | | b | 272 | 275,2 | 276 | 276,6 | 277,8 | 278,6 | 0,34 | | | | 2,000 |
| 2 | 2A | a | 259,5 | 264 | 265,4 | 266,6 | 268 | 269,2 | 0,52 | 0,493 | 0,1 | 19,7 | 2,813 |
| | | b | 258,4 | 261 | 262,3 | 262,9 | 264,1 | 265 | 0,4 | | | | 1,625 |
| | 2B | a | 249 | 251,6 | 252,8 | 253,3 | 254,9 | 255,4 | 0,38 | | | | 1,625 |
| | | b | 252,2 | 255,9 | 257,3 | 258,4 | 259,7 | 261 | 0,51 | | | | 2,313 |
| | 2C | a | 259,3 | 265,5 | 267,5 | 268,8 | 270,6 | 272 | 0,65 | | | | 3,875 |
| | | b | 257 | 260,5 | 262 | 263,1 | 264,4 | 265,5 | 0,5 | | | | 2,188 |
| 3 | 3A | a | 239,2 | 245,1 | 246,8 | 248,3 | 250,6 | 252,1 | 0,7 | 0,650 | 0,0 | 6,2 | 3,688 |
| | | b | 240,3 | 245,8 | 247,5 | 248,9 | 250,8 | 252,1 | 0,63 | | | | 3,438 |
| | 3B | a | 239,8 | 245,5 | 247,3 | 248,5 | 250,5 | 252,1 | 0,66 | | | | 3,562 |
| | | b | 244,2 | 249,4 | 250,7 | 252 | 253,9 | 255,6 | 0,62 | | | | 3,250 |
| | 3C | a | 237,9 | 243,5 | 245,5 | 247,1 | 249 | 250,4 | 0,69 | | | | 3,500 |
| | | b | 246,3 | 251,6 | 253,1 | 254,3 | 256,2 | 257,6 | 0,6 | | | | 3,312 |
| 4 | 4A | a | 254,5 | 258,7 | 259,9 | 260,9 | 262,2 | 263,3 | 0,46 | 0,385 | 0,0 | 10,5 | 2,625 |
| | | b | 251,2 | 257,5 | 258,2 | 259,1 | 260,5 | 261,3 | 0,38 | | | | 3,938 |
| | 4B | a | 237,6 | 241,1 | 241,9 | 242,7 | 243,9 | 244,8 | 0,37 | | | | 2,188 |
| | | b | 241,7 | 244,2 | 245,1 | 246 | 246,8 | 247,6 | 0,34 | | | | 1,563 |
| | 4C | a | 256,2 | 259,8 | 260,6 | 261,5 | 262,8 | 263,7 | 0,39 | | | | 2,250 |

| | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-----|------|-------|
| | | b | 263,1 | 266 | 267,3 | 267,9 | 268,9 | 269,7 | 0,37 | | | | 1,812 |
| 5 | 5A | a | 263,2 | 265,6 | 266 | 266,3 | 266,9 | 267,1 | 0,15 | 0,202 | 0,0 | 16,4 | 1,500 |
| | | b | 252,9 | 255,3 | 255,7 | 256,5 | 257,1 | 257,5 | 0,22 | | | | 1,500 |
| | 5B | a | 250,9 | 253,1 | 253,6 | 254,1 | 254,5 | 255,1 | 0,2 | | | | 1,375 |
| | | b | 246,5 | 248,3 | 248,8 | 249,3 | 249,8 | 250,2 | 0,19 | | | | 1,125 |
| | 5C | a | 250 | 252,1 | 252,8 | 253,1 | 253,9 | 254,1 | 0,2 | | | | 1,313 |
| | | b | 249,9 | 251,9 | 252,5 | 252,7 | 253,7 | 254,4 | 0,25 | | | | 1,250 |
| 6 | 6A | a | 226 | 232,8 | 235,2 | 236,6 | 238,7 | 239,8 | 0,7 | 0,760 | 0,1 | 9,6 | 4,250 |
| | | b | 220,4 | 227 | 229,7 | 231,2 | 232,9 | 234,1 | 0,71 | | | | 4,125 |
| | 6B | a | 237,3 | 243 | 245,3 | 247,1 | 249 | 250,7 | 0,77 | | | | 3,562 |
| | | b | 243,9 | 251,4 | 255 | 256,5 | 259 | 260,4 | 0,9 | | | | 4,688 |
| | 6C | a | 227 | 233,4 | 235,9 | 237,3 | 239,2 | 240,7 | 0,73 | | | | 4,000 |
| | | b | 223,6 | 228,8 | 231,3 | 233,2 | 234,9 | 236,3 | 0,75 | | | | 3,250 |
| 7 | 7A | a | 230,1 | 234,8 | 236,8 | 238,3 | 240,2 | 241,6 | 0,68 | 0,670 | 0,0 | 6,0 | 2,938 |
| | | b | 235,5 | 239,5 | 241,4 | 242,6 | 244,1 | 245,5 | 0,6 | | | | 2,500 |
| | 7B | a | 232,6 | 236,8 | 238,4 | 240,6 | 242,1 | 243,6 | 0,68 | | | | 2,625 |
| | | b | 234,7 | 239,1 | 241,2 | 242,7 | 244,9 | 246,2 | 0,71 | | | | 2,750 |
| | 7C | a | 235,1 | 239,6 | 241,8 | 243,2 | 245,1 | 246,6 | 0,7 | | | | 2,813 |
| | | b | 241,3 | 244,8 | 246,7 | 247,9 | 250 | 251,3 | 0,65 | | | | 2,188 |
| 8 | 8A | a | 249,2 | 252 | 253,1 | 253,7 | 254,7 | 255,3 | 0,33 | 0,382 | 0,1 | 19,4 | 1,750 |
| | | b | 248,9 | 251,9 | 252,8 | 253,7 | 254,5 | 255,3 | 0,34 | | | | 1,875 |
| | 8B | a | 248,3 | 251,2 | 252,1 | 252,9 | 253,8 | 254,4 | 0,32 | | | | 1,812 |
| | | b | 246,2 | 249 | 250 | 250,9 | 252 | 252,6 | 0,36 | | | | 1,750 |
| | 8C | a | 244,5 | 246,9 | 248,2 | 249,1 | 250,4 | 251,2 | 0,43 | | | | 1,500 |
| | | b | 245 | 247,2 | 249,1 | 250,9 | 251,6 | 252,3 | 0,51 | | | | 1,375 |
| 9 | 9A | a | 230,1 | 235,3 | 236,7 | 237,8 | 239,2 | 240,2 | 0,49 | 0,578 | 0,1 | 15,6 | 3,250 |

| | | | | | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|--|--|-------|
| | b | 234 | 237,9 | 239,3 | 240,2 | 241,8 | 243,1 | 0,52 | | | 2,438 |
| 9B | a | 239,6 | 244 | 246 | 247,4 | 249,7 | 251,1 | 0,71 | | | 2,750 |
| | b | 243,9 | 248,4 | 250,3 | 251,4 | 252,8 | 254 | 0,56 | | | 2,813 |
| 9C | a | 236,8 | 240,7 | 242,9 | 244,2 | 246 | 247,4 | 0,67 | | | 2,437 |
| | b | 232,6 | 236,4 | 237,8 | 238,7 | 240,5 | 241,6 | 0,52 | | | 2,375 |

Anexo 27

| Matriz de Efeitos (Compressão) | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Compressão) | Desvio Padrão | (D.P.) ² |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 16,36 | 2,5061 | 6,281 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | 11,64 | 1,7895 | 3,202 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | 19,75 | 0,5093 | 0,259 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | 14,53 | 3,5722 | 12,761 |
| 6 | 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | 13,92 | 1,7583 | 3,092 |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 13,03 | 1,9747 | 3,899 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 16,14 | 2,9473 | 8,687 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 12,81 | 1,7509 | 3,066 |
| | | | | | | | | | | | | 5,156 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|-------|-------|------|-------|-------|------|-------|-------|
| Divisor | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Efeitos | 14,77 | -1,77 | 1,04 | -0,80 | -0,37 | 0,72 | -0,53 | -0,24 |

| | |
|-------------------------------|-------|
| Variância média das respostas | 5,156 |
| Variância sobre um efeito | 0,215 |
| Erro tipo sobre um efeito | 0,463 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | |
|---|-------|--------|--------|-------|--------|--------|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
| -3,819 | 2,233 | -1,721 | -0,793 | 1,543 | -1,154 | -0,523 |

Anexo 28

| Matriz de Efeitos (Ultrason) | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------|---------------|---------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Ultrason) | Desvio Padrão | (D.P.) ² |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 13613,6 | 775,84 | 601938,56 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | 11844,1 | 350,53 | 122874,78 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | 12516,2 | 488,04 | 238187,92 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | 12288 | 706,72 | 499460,22 |
| 6 | 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | 10469,5 | 1065,3 | 1134970,63 |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 11123,5 | 460,67 | 212217,77 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 11686,7 | 768,91 | 591231,81 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 10081,2 | 93,249 | 8695,48 |
| | | | | | | | | | | | | 426197,15 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|----------|---------|--------|---------|--------|--------|--------|---------|
| Divisor | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Efeitos | 11702,85 | -368,65 | -59,82 | -862,63 | -89,78 | 130,78 | 103,55 | -475,10 |

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Variância média das respostas | 426197,15 |
| Variância sobre um efeito | 17758,21 |
| Erro tipo sobre um efeito | 133,26 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|------|------|-------|--|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 | |
| -2,77 | -0,45 | -6,47 | -0,67 | 0,98 | 0,78 | -3,57 | |

Anexo 29

| Matriz de Efeitos (Retracção) | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|--|-----------------------------------|---------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Retracção)(x10 ⁻⁵) | Desvio Padrão(X10 ⁻⁸) | (D.P.) ² |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 5,3 | 5,016 | 25,160256 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | -11,2 | 4,412 | 19,465744 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | -17,2 | 3,142 | 9,872164 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | -5,1 | 1,941 | 3,767481 |
| 6 | 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | -7,4 | 1,275 | 1,625625 |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | -9,3 | 2,434 | 5,924356 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | -7,3 | 1,666 | 2,775556 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | -8,7 | 1,51 | 2,280100 |
| | | | | | | | | | | | | 8,858910 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|-----------|----------|-----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| Divisor | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Efeitos | -7,612500 | 0,962500 | -1,962500 | 0,562500 | 3,637500 | 0,137500 | 2,137500 | -3,512500 |

| | |
|-------------------------------|-------------|
| Variância média das respostas | 8,858910 |
| Variância sobre um efeito | 0,36912126 |
| Erro tipo sobre um efeito | 0,607553504 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | |
|---|---------|---------|--------|--------|--------|---------|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
| -1,5842 | -3,2302 | -0,9258 | 5,9871 | 0,2263 | 3,5182 | -5,7814 |

| |
|-----------|
| 5,01E-08 |
| 4,412E-08 |
| 3,142E-07 |
| 1,941E-08 |
| 1,275E-08 |
| 2,434E-08 |
| 1,666E-08 |
| 1,51E-08 |

Anexo 30

| Matriz de Efeitos (Capilaridade) | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|-------------------------|---------------|---------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Capilaridade) | Desvio Padrão | (D.P.) ² |
| 1 | | | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 0,5 | 0,097 | 0,009 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | 0,7 | 0,040 | 0,002 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | 0,4 | 0,040 | 0,002 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | 0,2 | 0,033 | 0,001 |
| 6 | 5 | + | - | - | + | + | - | - | + | 0,8 | 0,073 | 0,005 |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 0,7 | 0,040 | 0,002 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 0,4 | 0,074 | 0,005 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,6 | 0,090 | 0,008 |
| | | | | | | | | | | | | 0,004 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|-------|-------|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| Divisor | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 | 8 |
| Efeitos | 0,538 | 0,013 | -0,138 | 0,088 | -0,013 | 0,013 | 0,013 | 0,088 |

| | |
|-------------------------------|--------|
| Variância média das respostas | 0,0043 |
| Variância sobre um efeito | 0,0002 |
| Erro tipo sobre um efeito | 0,0134 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | |
|---|--------|-------|--------|-------|-------|-------|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
| 0,324 | -3,569 | 2,271 | -0,324 | 0,324 | 0,324 | 2,271 |

Anexo 31

| Matriz de Efeitos (Tensão de cedência g) | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Tensão de cedência h) |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | 5,012 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | 17,995 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | 4,155 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | 2,854 |
| 6 | 5 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | 4,339 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | 3,648 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 4,377 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Divisor | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Efeitos | 6,054 | 2,094 | -1,539 | -2,207 | -2,237 | -0,827 | 2,461 | 1,334 |

| | |
|---------------------------|--------|
| Variância sobre um efeito | 1,7802 |
| Erro tipo sobre um efeito | 1,3343 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | | |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|-------|--|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 | |
| 1,569 | -1,153 | -1,654 | -1,676 | -0,620 | 1,844 | 1,000 | |

Anexo 32

| Matriz de Efeitos (Viscosidade plástica h) | | | | | | | | | | |
|--|--------------|-------|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------------------------|
| Argamassa | Nº de ensaio | Média | Factor 1 (L) | Factor 2 (D) | Factor 3 (V) | Interacção 12 | Interacção 13 | Interacção 23 | Interacção 123 | Resposta (Viscosidade plástica) |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | 1 | + | - | - | - | + | + | + | - | -0,014 |
| 3 | 2 | + | + | - | - | - | - | + | + | -0,092 |
| 4 | 3 | + | - | + | - | - | + | - | + | -0,007 |
| 5 | 4 | + | + | + | - | + | - | - | - | -0,01 |
| 6 | 5 | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| 7 | 6 | + | + | - | + | - | + | - | - | -0,0005 |
| 8 | 7 | + | - | + | + | - | - | + | - | -0,0049 |
| 9 | 8 | + | + | + | + | + | + | + | + | 0,0299 |

| | Média | E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 |
|---------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|
| Divisor | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |
| Efeitos | -0,014 | -0,006 | 0,014 | 0,018 | 0,014 | 0,014 | -0,008 | -0,005 |

| | |
|---------------------------|---------|
| Variancia sobre um efeito | 0,00002 |
| Erro tipo sobre um efeito | 0,005 |

| Divisão entre o valor do efeito e o erro tipo | | | | | | | |
|---|-------|-------|-------|-------|--------|--------|--|
| E1 | E2 | E3 | E12 | E13 | E23 | E123 | |
| -1,176 | 2,884 | 3,715 | 2,778 | 2,904 | -1,599 | -1,000 | |

