

**Mestrado Integrado em Engenharia Química**

***Desenvolvimento de formulação de massa  
acrílica para revestimento de fachadas***

**Dissertação de Mestrado**

de

**Vítor Pereira**

Desenvolvida no âmbito da unidade curricular de Dissertação

realizado em

**EPS - Empresa de Poliestireno Expandido**



Orientador na FEUP: **Prof. Dr. Fernão Magalhães**

Orientador na EPS: **Eng. Pedro Carvalho**



**Departamento de Engenharia Química**

**Fevereiro de 2017**



Dedico este trabalho à minha Família.





## Agradecimentos

A concretização desta dissertação teve o contributo e o apoio de muitas pessoas, às quais deixo aqui o meu mais sincero agradecimento.

Ao meu orientador, o professor Fernão Magalhães, pelo acompanhamento e orientação no caminho percorrido, pelo esclarecimento de todas as dúvidas e críticas transmitidas que foram muito importantes na definição do caminho a percorrer e conseqüentemente para o desenrolar do trabalho.

À Joana Barbosa e Diana Paiva pela preciosa ajuda na realização das várias tarefas propostas, pelo tempo despendido no acompanhamento e execução das mesmas e pela paciência para o esclarecimento de todas as dúvidas.

Agradeço à EPS - Empresa de Polistireno Expandido, na pessoa do seu administrador Eng.º Manuel Machado, que permitiu que este trabalho fosse possível, depositando toda a confiança no projeto desenvolvido, garantindo todas as condições para a realização do mesmo.

Ao Eng.º Pedro Carvalho, orientador na empresa, pelo debate e disponibilidade no decorrer do trabalho, sendo um apoio importante na busca do melhor caminho para o sucesso do mesmo.

Ao Diogo Machado pela disponibilidade e troca de ideias constante, pela preocupação demonstrada ao longo do trabalho na procura da qualidade do mesmo, e pela longa e importante amizade baseada no respeito e dedicação pela mesma.

À Eng.ª Conceição Mouro e Eng.º Jorge Moniz, pela total disponibilidade para o meu acolhimento e integração na Resiquímica, colocando ao meu dispor todos os recursos necessários para o desenvolvimento do trabalho, pelas sugestões e debate incessante, sendo um apoio fulcral para a realização deste trabalho.

Aos Laboratórios de Controlo de Qualidade da Resiquímica, de Assistência Técnica e Aplicação e de Investigação e Desenvolvimento, nas pessoas do Rui Noel, do Artur Correia, do Rui Maia e Jaime Silva, por me dedicarem boa do seu tempo na execução das tarefas propostas, pela preciosa e incansável ajuda técnica, pelo esclarecimento de dúvidas para a minha aprendizagem, pelos ensinamentos transmitidos e exemplo na busca da excelência do trabalho, e por toda a boa disposição e companheirismo das equipas de trabalho.

A todos os colaboradores da Resiquímica que fizeram parte do meu trajeto na empresa pela total dedicação para o sucesso do trabalho e pela minha integração no mundo do trabalho.

Aos meus Pais pelos valores transmitidos, dedicação constante e apoio incondicional, pelas condições proporcionadas ao longo da vida para que nunca me faltasse nada para o meu bem-estar, para o meu crescimento como homem e para que atingisse todos os meus objetivos, pelo

---

exemplo de espírito de sacrifício e altruísmo, obrigado por todos ensinamentos, pela paciência e compreensão.

Ao meu irmão e cunhada pela preocupação demonstrada ao longo de toda a vida, por serem fundamentais no meu crescimento como pessoa, tornando-se um exemplo a seguir desde sempre, e acima de tudo obrigado por todo o apoio, amizade e compreensão.

Aos meus sobrinhos por todo o carinho e felicidade, fazendo de cada dia, um dia mais feliz.

À minha Carlota pela amizade, pelo exemplo de luta, resiliência e espírito de sacrifício, por nunca me deixar cair, por todo o apoio incondicional, dedicação e compreensão, pelo carinho e conselhos sempre sábios fazendo de mim melhor pessoa, obrigado por seres a mulher da minha vida.

À família Barreto pela amizade e apoio incondicional, pelos valores transmitidos, pela preocupação constante, pelo altruísmo, extrema bondade e generosidade, obrigado por me deixarem entrar na vossa vida.

Aos meus amigos, obrigado por toda a amizade, lealdade e alegria.

A todos, o meu mais sincero obrigado.

### **Agradecimentos institucionais**

Este trabalho foi financiado por *EPS – Empresa de Polistireno Expandido* e pelo projeto POCI-01-0145-FEDER-006939 (Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia, UID/EQU/00511/2013) financiado pelo Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional (FEDER), através do COMPETE2020 – Programa Operacional Competitividade e Internacionalização (POCI) e por fundos nacionais através da Fundação para a Ciência e a Tecnologia I.P.



UNIÃO EUROPEIA  
Fundo Europeu  
de Desenvolvimento Regional



Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
promovendo a ciência, tecnologia e inovação

## Resumo

O revestimento e isolamento de fachadas é um ponto fulcral na construção ou reabilitação de qualquer edifício. No âmbito desta temática foi levado a cabo o desenvolvimento de um produto proposto pela EPS - empresa de poliestireno expandido, que fosse eficaz no revestimento e isolamento das fachadas, e que fosse possível o fabrico de um sistema integrado composto pela argamassa e por placas de poliestireno expandido.

Os aspetos mais importantes do trabalho foram a caracterização da argamassa padrão fornecida pela EPS, em que numa primeira fase foi determinado o teor de ligante e de cargas presentes na argamassa. Posteriormente foi realizada a identificação da composição orgânica e inorgânica presente na argamassa, sendo ainda determinada a composição dos monómeros identificados. Este estudo, com o auxílio da análise granulométrica, serviu de base para a escolha das matérias primas a utilizar no desenvolvimento da formulação.

Com o auxílio da equipa de desenvolvimento da Resiquímica e dos seus conhecimentos foi traçado um caminho que passava pela síntese de um polímero em emulsão para que a sua aplicação fosse comparada com produtos já existentes no catálogo da empresa, verificando assim o grau de eficácia perante o pretendido. A par desta tarefa, foi selecionado um conjunto de carbonatos de cálcio com diferentes granulometrias, complementando com aditivos que obedecessem a critérios estipulados para incrementar a qualidade do produto final como a conservação da argamassa em armazenamento, a melhoria da dispersão e da coalescência da argamassa.

A avaliação do trabalho realizado passou pela medição de propriedades iniciais, como a viscosidade, a TMFF ou a densidade, bem como uma avaliação qualitativa verificando se a emulsão seria estável e se a argamassa se encontrava dentro dos requisitos mínimos exigidos, podendo assim prosseguir com os restantes testes. Os testes referidos foram a absorção de água, testando assim a permeabilidade do material em relação à água, a permeabilidade ao vapor de água, a fim de verificar a facilidade que o material possui para a libertação do vapor de água contido no seu interior, e por fim a resistência que o material oferece perante o impacto de uma esfera.

Com o trabalho realizado foi possível concluir sobre o melhor polímero utilizado, sendo possível concluir também que a alteração da composição dos monómeros irá melhorar a sua eficácia perante os resultados obtidos. Em relação à seleção dos carbonatos, verificou-se que não é um processo fechado, podendo ser melhorada com a incorporação de materiais à base de vidro.

---

**Palavras Chave (Tema): Revestimento, Isolamento, Argamassa, Construção, Edifícios**

---

## Abstract

Facade cladding and insulation is a focal point in the construction or rehabilitation of any building. In the context of this theme, the development of a product proposed by EPS - empresa de polistireno expandido that was effective in coating and insulation of the facades was carried out, and that it was possible to manufacture an integrated system composed of mortar and polystyrene expanded.

The most important aspects of the work were the characterization of the standard mortar provided by the EPS, in which, in the first phase, the binder content and the bulk present in the mortar were determined. Afterwards, the organic and inorganic composition of the mortar was identified, and the composition of the identified monomers was determined. This study, with the aid of granulometric analysis, served as a basis for the choice of the raw materials to be used in the development of the formulation.

With the help of the Resiquímica development team and their knowledge, a path was drawn that included the synthesis of a polymer in emulsion so that its application could be compared with products already existing in the company catalog, thus verifying the degree of effectiveness before the required. In addition to this task, a set of calcium carbonates with different granulometries was selected, complemented with additives that obeyed the criteria stipulated to increase the quality of the final product, such as preservation of the mortar in storage, improvement of the dispersion and coalescence of the mortar.

The evaluation of the work carried out was based on the measurement of initial properties, such as viscosity, MFFT or density, as well as a qualitative assessment of whether the emulsion would be stable and whether the mortar was within the required minimum requirements. The tests performed were water absorption, thus testing the permeability of the material relative to water, the permeability to water vapor, in order to verify the ease of the material to release the water vapor contained therein, and finally the material's resistance offers to the sphere's impact.

With the work done, it was possible to conclude about the best polymer used, and it is possible to conclude also that the alteration of the composition of the monomers will improve its effectiveness against the obtained results. In relation to the selection of carbonates, it was verified that it is not a closed process, and can be improved with the incorporation of materials based on glass.

---



## Declaração

Declara, sob compromisso de honra, que este trabalho é original e que todas as contribuições não originais foram devidamente referenciadas com identificação da fonte.

---

# Índice

<b>1</b>	<b>Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1	Enquadramento e Apresentação do Projeto .....	1
1.2	Apresentação da Empresa .....	2
1.3	Contributos do Trabalho.....	2
1.4	Organização da Tese .....	3
<b>2</b>	<b>Contexto e Estado da Arte</b> .....	<b>5</b>
2.1	Introdução .....	5
2.2	Caraterização dos constituintes das argamassas.....	6
2.2.1	Argamassas cimentícias .....	6
2.2.2	Agregados.....	7
2.2.3	Ligantes .....	8
2.2.4	Aditivos .....	9
2.3	Argamassas poliméricas.....	10
2.3.1	Introdução.....	10
2.3.2	Composição e Produção.....	10
2.3.3	Aditivos .....	11
2.3.4	Classificação dos Polímeros .....	11
2.4	Sistemas de revestimento e isolamento de fachadas .....	13
2.4.1	Sistema ETICS.....	13
2.4.2	Sistema de fachada ventilada.....	14
<b>3</b>	<b>Materiais e Métodos</b> .....	<b>17</b>
3.1	Determinação do teor de ligante e cargas em argamassas poliméricas.....	17
3.2	Análise granulométrica .....	19
3.3	Análise FTIR.....	19
3.4	Análise SEM - EDS .....	20
3.5	Análise RMN .....	21
3.6	Síntese do polímero em emulsão .....	22

---

3.7	Preparação da argamassa polimérica .....	23
3.8	Absorção de água .....	24
3.9	Permeabilidade ao Vapor de água .....	25
3.10	Resistência ao Impacto.....	26
4	Resultados e Discussão.....	29
4.1	Determinação do teor de ligante e cargas em argamassas poliméricas.....	29
4.2	Análise Granulométrica .....	30
4.3	Análise FTIR em KBr e ATR.....	31
4.4	Análise SEM-EDS .....	33
4.5	Análise RMN .....	35
4.6	Síntese do polímero em emulsão .....	36
4.7	Formulações de argamassa.....	38
4.8	Absorção de água .....	44
4.9	Permeabilidade ao vapor de água .....	44
4.10	Resistência ao Impacto.....	46
5	Conclusões .....	47
5.1	Limitações e Trabalho Futuro .....	48
6	Referências .....	49
Anexo 1	Resultado da separação efetuada para a determinação do teor de ligante e de cargas .....	51
Anexo 2	Análise SEM-EDS às Cargas utilizadas nas formulações .....	52
Anexo 3	Granulometria das cargas através do software da análise de SEM-EDS .....	54
Anexo 4	Análise FTIR .....	55
Anexo 5	Ilustração da medição da viscosidade, densidade e da película do polímero sintetizado .....	56
Anexo 6	Teste de absorção à água e PVA .....	57

## Notação e Glossário

PVA	permeabilidade ao vapor de água	$\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$
Sd	espessura equivalente de ar	m
P1	massa de amostra argamassa	g
P2	massa resíduo sólido no balão	g
P3	massa resíduo sólido no tubo	g
A1	massa amostra após um dia de absorção de água	g
P0	massa amostra antes de absorção de água	g
A3	massa amostra após três dias de absorção de água	g
P1	massa amostra após secagem de A1	g
P3	massa amostra após secagem de A3	g
P7	massa após ciclo PVA de sete dias	g
$\delta_{\text{ar}}$	coeficiente de permeação do ar	$\text{g}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}\cdot\text{Pa}^{-1}$
$\Delta P$	diferença de pressão de vapor	Pa
VF	veículo fixo (ligante)	
C	cargas	
T	temperatura	$^{\circ}\text{C}$
$\mu$	viscosidade	mPa.s
TMP	tamanho médio da partícula	nm
TMFP	temperatura mínima de formação de película	$^{\circ}\text{C}$

## Lista de Siglas

FEUP – Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

LEPABE - Laboratório de Engenharia de Processos, Ambiente, Biotecnologia e Energia

EPS – Empresa de Poliestireno Expandido

ETICS - *External Thermal Insulation Composite Systems*

FTIR - *Fourier transform infrared spectroscopy*

IV – Infravermelho

ATR - *Attenuated Total Reflectance*

SEM – EDS - *Scanning Electron Microscopy – Energy dispersive X-Ray spectroscopy*

elétrões secundários – ES

elétrões retrodifundidos – ER

CEMUP - Centro de materiais da Universidade do Porto

RMN - Ressonância Magnética Nuclear

ABU – Acrilato de Butilo

MMA – Metilmetacrilato

PS – Poliestireno

# 1 Introdução

## 1.1 Enquadramento e Apresentação do Projeto

O setor da construção caracteriza-se pela constante reinvenção e inovação em todos os elementos que lhe estão associados, quer pela busca incessante de soluções que forneçam respostas às necessidades dos consumidores, cada vez mais exigentes e informados, quer pelas regras impostas pelos vários governos, nomeadamente ao nível ambiental, em que a eficiência energética ganha especial relevo.

Um dos elementos mais importantes na construção de edifícios é a fachada, assumindo especial relevância, não só ao nível estético, mas também do ponto de vista de revestimento e isolamento do edifício. O revestimento tem um papel importante na proteção contra o desgaste provocado pelas diferentes condições climatéricas, e ao mesmo tempo, o isolamento melhora o comportamento do ponto de vista energético, tendo em conta as variações climatéricas, decorrentes da altura do ano em questão.

Para fazer face às diferentes exigências a que está exposta a fachada de um edifício, é necessário conjugar vários materiais que confirmam diferentes propriedades, resultando num sistema equilibrado, eficiente e que seja capaz de manter as propriedades ao longo do tempo.

Um dos principais desafios do setor é dotar os edifícios de sistemas que sejam capazes de reagir perante adversidades que não são controladas, como é o caso dos impactos que podem resultar em fissurações, das infiltrações, do fogo, da exposição solar, bem como da erosão provocada pela chuva e pelo vento, e que ao mesmo tempo o edifício não esteja dependente das variações temporais, permitindo um comportamento energético mais satisfatório.

Neste contexto de sistemas de isolamento e de revestimento, a argamassa, um dos possíveis elementos que pode constituir o sistema, tem especial importância na função de revestimento e como auxiliar no isolamento do edifício. As suas formulações, assim como a sua aplicação, são determinantes na eficácia desejada de todas as questões abordadas anteriormente.

Deste modo, este trabalho pretende identificar possíveis melhorias de uma argamassa fornecida pela empresa responsável pelo presente projeto, e assim, proceder a uma nova formulação que tenha em atenção a sua elevada aderência ao poliestireno expandido, que tenha a capacidade de aumentar a resistência ao fogo, às infiltrações, que reduza as condensações internas e que contribua para um melhor comportamento mecânico e para a sua durabilidade. Outro dos objetivos é reduzir os erros de aplicação da argamassa, e para isso, propõe-se a fabricação de placas de poliestireno expandido com revestimento, obtendo um sistema de isolamento e

revestimento industrial versátil para diferentes soluções estéticas e estilos arquitetónicos, sendo este aspeto uma clara inovação neste tipo de conceito.

Os principais métodos utilizados neste trabalho são a análise quantitativa e qualitativa da parte orgânica da argamassa, a identificação dos elementos químicos da parte orgânica e inorgânica, a análise granulométrica e a identificação da temperatura de transição vítrea, caracterizando a argamassa fornecida com o objetivo de alcançar uma formulação com melhorias significativas.

A dissertação é composta por três seções, em que a primeira engloba o estado da arte em que se apresenta soluções existentes no mercado, bem como as suas formulações e funções dos principais constituintes e aditivos. A segunda parte incide sobre a caracterização da argamassa em estudo, tendo como consequência a formulação e produção de uma nova argamassa. A terceira parte visa a avaliação de resultados e respetivas conclusões com a recomendação de possíveis trabalhos futuros.

## **1.2 Apresentação da Empresa**

Esta dissertação foi inserida em ambiente empresarial, sendo a empresa responsável a EPS - empresa de poliestireno expandido, que se dedica ao fabrico de placas de poliestireno expandido para soluções de construção e reabilitação de edifícios. A EPS é uma PME portuguesa que, com poucos anos de atividade, se posiciona como uma das principais empresas do setor no norte do país. Inserida num grupo de empresas da área da engenharia civil e arquitetura, a EPS tem apostado no desenvolvimento de novas soluções para o isolamento e revestimento de fachadas pelo exterior, do qual faz parte o presente projeto.

## **1.3 Contributos do Trabalho**

Este trabalho vem contribuir de forma decisiva para uma nova abordagem na área da construção e reabilitação, podendo, eventualmente, marcar uma nova era no mercado de revestimento e isolamento de edifícios. A formulação de uma argamassa com características particulares ao nível do seu comportamento reológico, que permitem a sua adesão a placas de poliestireno expandido com o objetivo de revestir e isolar edifícios com uma forte componente estética, assegurando a resistência mecânica bem como a proteção contra a erosão natural e desgaste dos edifícios. Contribuirá na forma como se pensa e como se executa o isolamento e revestimento, pontos que são sempre críticos na eficácia e rendimento energético de qualquer construção.

## 1.4 Organização da Tese

No primeiro capítulo é feito um enquadramento geral do projeto onde se aborda o problema em questão explicando sumariamente as etapas de desenvolvimento. É feita ainda uma pequena apresentação da empresa e uma breve descrição dos contributos do trabalho.

No segundo capítulo é desenvolvido o estado de arte, onde se aborda as argamassas cimentícias e as argamassas poliméricas, especificando os seus constituintes. Em relação aos sistemas de isolamento e revestimento existentes no mercado, são dados como exemplo o sistema ETICS e o sistema de fachada ventilada com a respetiva explicação de funcionamento.

No capítulo 3 são descritos os materiais e métodos utilizados para a caracterização, desenvolvimento do produto e respetiva avaliação do mesmo.

No capítulo 4 apresentam-se e discutem-se os resultados das formulações obtidas, assim como da argamassa caracterizada.

As conclusões finais da dissertação, as limitações e o trabalho futuro que pode ser desenvolvido no âmbito do projeto apresentado fazem parte do capítulo 5.



## 2 Contexto e Estado da Arte

### 2.1 Introdução

A utilização de argamassas na arquitetura e construção de edifícios é algo que acontece há milhares de anos, confundindo-se mesmo com a evolução da humanidade ao longo dos séculos. Em contextos históricos, percebe-se que o homem primitivo, na edificação dos seus abrigos, recorria aos recursos naturais existentes com o objetivo de os proteger, e assim obtendo maior conforto. A qualidade destas construções foi melhorada com o conhecimento dos materiais e aperfeiçoamento das técnicas de construção<sup>1,2</sup>.

No início desta conceção de construção, pensa-se que era usada argila amassada com água e que seria colocada entre as pedras. No entanto algumas civilizações evoluíram e passaram a utilizar uma massa plástica que continha cal, gesso, areia, pedras, fragmentos de tijolo e água<sup>1</sup>.

Esta massa plástica conjugada com uma técnica de construção mais apurada, permitiu a duração dos edifícios ao longo de vários séculos. Mais tarde, a conceção deste tipo de material sofreu nova e decisiva evolução com a inclusão de um material aglomerante como é a pozolana com materiais inertes, sendo importante na união e revestimento de blocos que formavam os pavimentos e paredes das civilizações Gregas e Romanas<sup>3-5</sup>.

Os aditivos e adjuvantes, como os sabões, as resinas, as cinzas e as proteínas, que em conjunto com os ligantes e agregados, conferiam propriedades que permitiam uma melhor performance das argamassas. Este tipo de materiais é conhecido desde a Idade Média<sup>3-5</sup>. Como exemplo disso, e com o objetivo de melhorar a trabalhabilidade das argamassas, os Romanos utilizavam o sangue, o leite e a banha como adjuvantes, e segundo estudos realizados, estas substâncias provocavam a introdução de bolhas de ar contribuindo para a duração das construções Romanas<sup>1,6,7</sup>.

Em termos industriais, até à década de cinquenta utilizavam-se argamassas secas, no entanto, a crescente exigência em qualidade e rapidez no setor da construção levou à implementação de argamassas secas prontas a utilizar, dando assim início a uma nova indústria ligada à construção como é o caso da fabricação de argamassas industriais. A Europa central é pioneira na sua fabricação, recorrendo desde logo a adjuvantes que permitem a estabilização das argamassas, denominando-as como argamassas estabilizadas<sup>1,8,9</sup>.

Atualmente, uma argamassa define-se como uma mistura de um ou mais ligantes orgânicos ou inorgânicos, agregados, cargas, aditivos e adjuvantes<sup>10</sup>. O tipo de materiais que são utilizados para formular a argamassa irá influenciar as propriedades da argamassa, dependendo do tipo de aplicação. As argamassas apresentam uma boa plasticidade quando recém-misturadas, enquanto que, quando endurecidas, possuem rigidez, resistência e aderência<sup>4,11,12</sup>.

Este tipo de material pode ser classificado segundo as normas EN 998-1:2003<sup>13</sup> e EN 998-2:2003<sup>14</sup> de acordo com o local de produção, com a sua conceção e com as suas propriedades e utilização.

De acordo com a sua utilização é possível destacar argamassas de alvenaria que servem para elevar muros e paredes, em que os seus principais requisitos são a resistência, a boa aderência às estruturas e capacidade de absorver movimentos devido a tensões mecânicas, variações térmicas e de humidade, as argamassas de revestimento são usadas para revestir paredes e muros, podendo ser hidrófugas, pintadas e alvo de uma variedade de acabamentos, sendo este tipo de argamassas o objeto de estudo do presente projeto.

Existem ainda as argamassas de cimentos-cola que servem essencialmente para colar elementos cerâmicos, as massas para juntas para preencher juntas entre os elementos dos revestimentos e as argamassas de suporte para pavimentos que servem para regularizar e nivelar superfícies horizontais.

## 2.2 Caracterização dos constituintes das argamassas

### 2.2.1 Argamassas cimentícias

As argamassas são constituídas, na sua maioria, por agregados, ligante, adjuvantes e aditivos. Os agregados são materiais particulados, com uma atividade química praticamente nula, que se classificam segundo a origem, a dimensão das partículas e a massa específica aparente<sup>9,15</sup>. Em relação aos ligantes utilizados na formulação de argamassas para revestimento de paredes exteriores são na sua maioria inorgânicos, caracterizando-se por serem materiais finamente moídos que, quando misturados com a água, formam uma pasta endurecida como consequência das reações de hidratação, promovendo assim a união dos grãos dos agregados.

O progresso da construção civil ao longo dos anos teve como consequência natural o avanço tecnológico na produção de argamassas. Em resultado deste avanço, o recurso a adjuvantes e aditivos tornou-se um denominador comum entre os vários produtores, com o objetivo de alterar as propriedades das argamassas. Esta alteração visa a busca por condições e desempenhos pré-estabelecidos como resposta às crescentes exigências do mercado.

Algumas das propriedades que são consideradas aquando a utilização deste tipo de produtos são a trabalhabilidade, o endurecimento, a resistência aos ciclos de gelo e degelo, a permeabilidade aos líquidos e a sedimentação dos seus constituintes.

O adjuvante designa-se por ser uma substância orgânica ou inorgânica que em termos mássicos representa uma percentagem inferior a 5% da composição da argamassa. É adicionado durante a amassadura da argamassa modificando as propriedades do material desde o estado fresco até ao estado endurecido<sup>9</sup>. Os aditivos são materiais inorgânicos finamente divididos que têm por objetivo melhorar propriedades das argamassas. Podem ser divididos em adições praticamente inertes, onde se inserem as cargas minerais e os pigmentos inorgânicos, e em adições pozolânicas ou hidráulicas que podem ser materiais pozolânicos naturais, cinzas volantes, sílica de fumo e escórias.

### 2.2.2 Agregados

Os agregados são materiais particulados, com atividade química praticamente nula, que se classificam segundo a origem, a dimensão das partículas e da massa específica aparente<sup>9,15</sup>.

A constituição dos agregados naturais é feita por partículas arredondadas e lisas, ao contrário dos agregados obtidos a partir da moagem de rochas que são angulosos, favorecendo o empacotamento das partículas, conferindo assim menor porosidade e maior resistência mecânica. A capacidade de retenção de água e conseqüentemente, a trabalhabilidade são igualmente favorecidas. Quanto maior for a distribuição de tamanhos de partículas, maior será a capacidade de potenciar as características do material final<sup>6,12</sup>. Em relação à sua dimensão podem ser finos ou grossos, em que os finos têm dimensões inferiores a 4 mm. No que toca à massa específica aparente, a densidade do material que constitui o agregado irá determinar se serão leves, médios ou pesados.

Os agregados são o componente maioritário das argamassas, caracterizando-se pelo seu baixo coeficiente de expansão térmica e pela sua durabilidade. A sua forma e dimensão serão determinantes, ao ponto de influenciarem as propriedades da argamassa.

Para se obter uma boa argamassa é indispensável que todos os grãos do agregado estejam envolvidos pela pasta utilizada. Para uma boa interface e envolvência entre a pasta e os agregados é necessário que se verifiquem algumas condições, tais como o fato dos grãos serem hidrófilos e que sejam molhados quer pela água, quer pela pasta em causa. O envolvimento dos grãos das areias pela pasta é mais difícil de se conseguir à medida que aumenta a forma dos grãos dos inertes. Assim, como agregados para a fabricação de argamassas podem ser utilizados agregados existentes

em areiros naturais, rochas britadas ou ainda, escórias siderúrgicas apropriadas<sup>9</sup>.

### 2.2.3 Ligantes

Os ligantes utilizados na formulação de argamassas para revestimento de paredes exteriores são na sua maioria inorgânicos, caracterizam-se por serem materiais finamente moídos que, quando misturados com a água, formam uma pasta endurecida como consequência das reações de hidratação, promovendo assim a união dos grãos dos agregados.

Como ligantes principais é possível identificar o cimento, utilizado em argamassas de revestimento e assentamento, a cal, utilizada em argamassas de revestimento e o gesso utilizado em argamassas de revestimento e decoração.

O cimento é o ligante mais utilizado nas formulações de argamassas, classificando-se como hidráulico, pois endurece por via de reação de hidratação, mantendo-se resistente e estável mesmo debaixo de água. Como constituintes destacam-se aluminatos de cálcio e silicatos de cálcio<sup>16</sup>.

A cal poderá ser definida como um material que inclui qualquer forma física e química sob a qual poderá aparecer óxido de cálcio, de magnésio e ou hidróxidos de cálcio ou magnésio. Existem dois tipos de cal, a cal aérea e a cal hidráulica.

As cals aéreas são constituídas por óxido ou hidróxido de cálcio, que se caracterizam por endurecer lentamente ao ar por reação com o dióxido de carbono atmosférico e, como não possuem propriedades hidráulicas não fazem presa dentro de água.

Quanto às cals hidráulicas, são produzidas por calcinação de calcários argilosos com redução a pó. Este tipo de cal caracteriza-se por endurecer debaixo de água, resultante da sua componente hidráulica. Tal como acontece nas cals aéreas, o dióxido de carbono atmosférico também contribui para o seu endurecimento. Ao contrário das cals aéreas que são classificadas de acordo com a sua composição, as cals hidráulicas são classificadas segundo a sua resistência à compressão<sup>17</sup>.

Como é possível constatar, a hidraulicidade é a característica que faz a distinção entre os diferentes tipos de cal<sup>17</sup>.

Por fim, o gesso é usado em argamassas devido à sua facilidade de produção e moldagem, bem como à sua capacidade de endurecer rapidamente. O gesso é constituído por sulfato de cálcio, que ocorre na natureza na forma hidratada<sup>18</sup>.

O rápido endurecimento do gesso, juntamente com a facilidade na sua obtenção e as baixas temperaturas que requer a sua produção, foram características fundamentais na sua escolha como constituinte de argamassas, apesar da sua baixa resistência e solubilidade nas águas pluviais. Perante estes fatos, a sua utilização é mais indicada para climas secos ou para interior de edifícios<sup>18</sup>.

#### **Impermeabilizantes e hidrófugos**

Este tipo de produtos destina-se a impedir a penetração da água ou a sua circulação, por redução da tensão capilar no sistema poroso, reduzindo a capilaridade da argamassa e

melhorando a impermeabilização. A sua percentagem mássica é inferior a 2% da massa do ligante, e os primeiros produtos utilizados foram materiais à base de sílica, finamente divididos, que preenchem os poros existentes nas argamassas<sup>6,19</sup>.

### **Expansivos**

Os adjuvantes expansivos produzem uma ligeira expansão, sem afetar a posterior estabilidade da argamassa endurecida.

Os efeitos que provocam na massa fresca são o aumento da fluidez das argamassas, da aderência, a diminuição da segregação da água e a sua retenção no seio da massa. Permitem ainda evitar a retração característica de argamassas durante a presa, conferindo um aumento da plasticidade. A densidade da massa endurecida irá diminuir em função dos vazios existentes na massa<sup>19</sup>.

### **2.2.4 Aditivos**

São materiais inorgânicos finamente divididos que têm por objetivo melhorar propriedades das argamassas. Podem ser divididos em adições praticamente inertes, onde se inserem as cargas minerais e os pigmentos inorgânicos, e em adições pozolânicas ou hidráulicas que podem ser materiais pozolânicos naturais, cinzas volantes, sílica de fumo e escórias.

- Cargas minerais: as cargas são materiais inorgânicos, naturais ou artificiais, que obedecem a uma especial seleção, tendo em conta a sua distribuição granulométrica, que pode melhorar as propriedades das argamassas, tais como a trabalhabilidade ou a retenção da água. Podem ser inertes ou possuir propriedades ligeiramente hidráulicas ou pozolânicas<sup>9</sup>.

- Pigmentos inorgânicos: os pigmentos inorgânicos são pós de cor determinada, muito finos, como é o exemplo do óxido de ferro, que têm por função conferir uma determinada cor à argamassa. Estes produtos são usados em argamassas de revestimento com um fim estético<sup>6,9,19</sup>.

- Materiais Pozolânicos: são produtos naturais ou artificiais constituídos por sílica e alumina com propriedades aglomerantes e hidráulicas, e com a presença da água, do hidróxido de cálcio e dos diferentes constituintes do cimento, a propriedade aglomerante é reforçada resultando em compostos de grande estabilidade<sup>6</sup>.

- Sílica de fumo: é um subproduto da preparação do silício ou de ligas de silício onde o quartzo é reduzido pelo carvão, a elevadas temperaturas. Confere maior coesão à amassadura fresca, elevada resistência mecânica, maior impermeabilidade e durabilidade no confronto com agentes agressivos<sup>9</sup>.

- Escória: a escória é o material obtido pela combinação da ganga dos minérios dos metais com fundentes apropriados e cinzas do carvão utilizado. É deste modo, um subproduto de outras fabricações<sup>9</sup>.

## 2.3 Argamassas poliméricas

### 2.3.1 Introdução

Em termos históricos, o conceito de betão polimérico foi utilizado pela primeira vez em 1923 numa patente atribuída a Cresson<sup>20</sup>, que referia materiais de pavimentação com borrachas de latex naturais em que o cimento foi utilizado para o enchimento.

No entanto, a primeira produção de sistemas modificados de polímero de latex, usando borrachas de latex naturais, através de um método de mistura pertence a Lefebure em 1924<sup>20</sup>. Na década de 20 e 30, o conceito de cimento e polímero foi sendo desenvolvido, marcando assim o início da utilização do latex de borracha sintética na argamassa de cimento e polímero em vez do tradicional latex de borracha natural.

Nos anos 40 surgem argamassas modificadas com acetato de polivinilo para aplicações práticas, nomeadamente em Inglaterra na utilização em convés de navios, em tabuleiros de pontes, em pisos anticorrosivos e como material adesivo. O betão polimérico propriamente dito usado pela primeira vez nos Estados Unidos da América em 1950 para a produção de mármore sintética. Em 1952, estudos sobre argamassa de cimento e polímeros deram início a uma nova era, em que a sua primeira aplicação foi a restauração da ponte de Cheyboygam, Michigan, em 1959. A partir dos anos 60, verificou-se um aumento nas aplicações de argamassa polimérica, em que os principais compostos utilizados era o látex de estireno-butadieno, o éster poliacrílico e os ésteres polivinílicos<sup>20</sup>.

Nos Estados Unidos da América o uso de polímeros no betão foi classificado em betão impregnado de polímero, betão polimérico modificado e betão polimérico.

O betão impregnado de polímero é um betão de cimento hidratado, impregnado por um monómero e conseqüentemente polimerizado no local. O betão modificado com polímero é um material pré-misturado, no qual um monómero ou polímero é adicionado resultando numa mistura de betão fresco, em líquido, em pó ou em fase dispersa e conseqüentemente submetido a cura. Em relação ao betão polimérico, em 1986 foram efetuadas experiências com látex acrílico, em que se verificaram propriedades semelhantes às do betão de cimento e látex estireno-butadieno, sendo utilizado como revestimento superficial para betões com o objetivo de garantir durabilidade, impermeabilidade e flexibilidade e que tem sido o polímero mais utilizado atualmente<sup>20</sup>.

### 2.3.2 Composição e Produção

A argamassa polimérica é um material compósito onde um polímero envolve inertes naturais, como é o caso das areias, da sílica e do calcário e cargas, em que se pode utilizar pó de sílica, cinzas volantes ou carbonato de cálcio<sup>21</sup>.

O processo de produção de argamassas poliméricas implica a secagem em estufa dos agregados e das cargas minerais que serão posteriormente misturados entre si, a mistura da resina base

com o sistema catalítico, e por fim o sistema de resina irá envolver os agregados, sendo misturados até que os inertes estejam completamente envolvidos pela matriz polimérica. A mistura poderá ser feita manualmente, através de uma betoneira ou num sistema automático que irá dosear, misturar e produzir de forma contínua a argamassa polimérica<sup>22</sup>.

Este tipo de materiais apresenta vantagens em relação às argamassas cimentícias devido à sua elevada resistência e durabilidade, bem como à sua baixa permeabilidade e rapidez no processo de cura, aliados à facilidade na sua moldação permitindo o fabrico de formas complexas, resultando num excelente acabamento<sup>21</sup>. É possível constatar que a massa volúmica do cimento é 2,5 vezes superior à massa volúmica da resina, o que pode ser relevante na escolha deste tipo de materiais<sup>21</sup>.

A sua produção consiste na mistura de um monómero ou de um pré-polímero, de um endurecedor, que será um agente de ligação cruzada e de um catalisador, com os inertes<sup>23</sup>.

### 2.3.3 Aditivos

Com o objetivo de conferir certas características ao material, é ainda possível adicionar compostos como é o caso dos plastificantes, dos retardantes de fogo e dos agentes de ligação baseados em silanos para aumentar a afinidade entre a matriz polimérica e o agregado<sup>23</sup>. Para se obter um reforço estrutural recorre-se a fibras de vidro, fibras de carbono, ou fibras metálicas, destacando-se as fibras de aço<sup>23</sup>.

Os compósitos de argamassas poliméricas são conhecidos pela boa resistência ao ataque químico, pela baixa absorção de água, boa resistência à abrasão, ao impacto, à compressão e ao ciclo congelação - descongelação. Face a estas características é possível reduzir a quantidade de argamassa utilizada em relação às argamassas tradicionais, características essas que são determinadas pela natureza do polímero de ligação em maior extensão<sup>23</sup>.

É possível verificar que a resposta à deformação não é constante, dependendo da sua formulação, em que se constata que a deformação por contração é alta para o poliéster e baixa para uma ligação à base de epóxido. O módulo de elasticidade típico varia entre os 20 e os 50 GPa e a deformação à fratura por tração é de cerca de 1 %. A propriedade viscoelástica é ainda responsável pela elevada fluência<sup>23</sup>.

### 2.3.4 Classificação dos Polímeros

Os polímeros podem ser classificados em dois grupos distintos, termoplásticos e termoendurecíveis. Os polímeros termoplásticos amolecem quando aquecidos e endurecem quando arrefecidos, sendo que para a sua produção é necessária a aplicação de calor e pressão em simultâneo. Do ponto de vista molecular, o movimento relativo das cadeias adjacentes é facilitado quando a temperatura é aumentada, pois as forças de ligação secundárias são

diminuídas<sup>21</sup>. Os polímeros termoplásticos são polímeros lineares, com estruturas ramificadas e cadeias flexíveis, tornando-os macios e dúcteis. Comercialmente, os polímeros termoplásticos mais conhecidos são o policloreto de vinilo, o polimetilmetacrilato e o polistireno<sup>21,22</sup>.

Os polímeros termoendurecíveis ganham plasticidade durante o seu primeiro aquecimento e permanecem rígidos quando arrefecidos. Devido a esta característica intrínseca deste tipo de polímeros, a sua forma não pode ser alterada por aquecimento subsequente<sup>21,22</sup>.

Os monómeros ou sistemas poliméricos utilizados com maior frequência na formulação deste tipo de polímeros são o metilmetacrilato, o estireno de poliéster, o endurecedor pré-polimérico de epóxido e ácido sulfúrico. A quantidade de ligante utilizada é determinada a partir da dimensão do agregado, em que a sua percentagem se situa entre os 5% e os 15% do total do peso, exceto no caso de serem usadas areias muito finas<sup>23</sup>.

Os ligantes poliméricos unem os agregados, preenchem os vazios na mistura minimizando a absorção da humidade e conferindo fluidez ao produto final.

Nas argamassas é possível utilizar polímeros termoendurecíveis, como é o caso dos poliésteres insaturados, sistemas epóxidos ou resinas acrílicas que se caracterizam pela cura à temperatura ambiente, ou polímeros termoplásticos à base de metacrilato<sup>22</sup>.

As resinas epoxídicas fornecem polímeros termorígidos amorfos com uma excelente resistência mecânica e química bem como resistência à corrosão e elevada rigidez. Possuem ainda propriedades interessantes em termos elétricos e térmicos, caracterizando-se pelo baixo encolhimento durante a cura. Este tipo de resinas contém o grupo hidroxílico e epoxídico como grupos funcionais e serão os pontos de reação com agentes de cura tais como resinas aminoplastos, fenólicas, poliamidas, óleos secativos, aminas polifuncionais, resultando em muitos produtos com diferentes propriedades<sup>22</sup>.

A resina epoxídica é bastante utilizada no desenvolvimento de adesivos estruturais e revestimentos devido à sua capacidade de adesão. Esta característica relaciona-se com o facto dos grupos funcionais promoverem o aumento da polaridade da molécula, possibilitando a interação com diversos materiais<sup>22</sup>.

Os ligantes à base de resinas de poliéster insaturado são dos mais utilizados devido à sua excelente relação custo/desempenho. As formulações de poliéster insaturado resultam da copolimerização de uma resina primária (pré-polímero de poliéster) com um monómero de vinilo no qual o pré-polímero é dissolvido<sup>22</sup>. Os monómeros de estireno e metacrilato de estireno-metilo são os monómeros reativos mais usados devido ao seu baixo custo, baixa viscosidade e fácil manuseio<sup>22</sup>. Este tipo de compostos cura através de uma reação livre radical iniciada por um catalisador peróxido. A resina de poliéster é conhecida pela sua resistência química e aos ácidos, em que são utilizados como membranas no fabrico de vernizes para a proteção de madeira, de betão e de argamassas<sup>22</sup>.

Em relação às resinas acrílicas, o polímero mais utilizado na formulação de argamassas é o polimetacrilato de metilo obtido através da polimerização do monómero metacrilato de metilo que garante dureza e durabilidade<sup>22</sup>. A baixa viscosidade, a excelente capacidade de humedecimento, o baixo custo, a capacidade de impermeabilização e boa resistência química fazem deste polímero um dos mais utilizados na área da construção civil. No entanto, apresenta uma desvantagem importante para o setor em questão que se relaciona com o facto de ser altamente inflamável devido à volatilidade dos monómeros<sup>22</sup>. Em aplicações estruturais, o metacrilato de metilo é reticulado com um agente reativo, sendo na maioria das vezes o trimetacrilato de trimetilopropano, originando um material plástico termoendurecível<sup>22</sup>. A grande variedade de resinas deste tipo resulta da copolimerização dos ésteres do ácido acrílico e metacrílico, que são predominantes nas resinas acrílicas, com monómeros não acrílicos. Esta versatilidade tem como consequência a obtenção de resinas acrílicas termoplásticas ou termoendurecíveis, permitindo a sua utilização em emulsão ou em dispersão aquosa. O estireno é um monómero tipicamente adicionado para a modificação dos monómeros acrílicos, garantindo brilho, dureza e resistência melhorada à absorção de água<sup>22</sup>.

## 2.4 Sistemas de revestimento e isolamento de fachadas

### 2.4.1 Sistema ETICS

O sistema de revestimento e isolamento mais conhecido e utilizado é o sistema de ETICS (*External Thermal Insulation Composite Systems*) que tem como função proteger o edifício, garantindo um agradável aspeto estético e ao mesmo tempo fornecer conforto interno à habitação eliminando pontes térmicas.

O sistema de isolamento térmico de fachadas pelo exterior surgiu nos anos 40 na Suécia, e era constituído por lã mineral revestida com um reboco de cimento e cal<sup>24</sup>. Pensa-se que Edwin Horbach, químico suíço, foi o responsável pelo desenvolvimento dos sistemas de reboco delgado armado sobre poliestireno expandido<sup>25</sup>. Este sistema teve a sua utilização em grande escala nos finais da década de 50 na Alemanha a nível industrial, começando a partir daí a ser canalizado para o setor doméstico<sup>26</sup>. Só no início dos anos 90 é que este sistema começou a ser introduzido em Portugal, sendo que até 2005 a sua utilização era escassa. A partir deste ano o recurso a este tipo de soluções para a construção e reabilitação de edifícios passa a ser determinante devido às exigências regulamentares a nível térmico<sup>24,27</sup>.

O sistema ETICS, ilustrado na figura 1, é constituído pela fixação ao substrato, através de parafusos e/ou de massa adesiva, pelas placas de polistireno expandido, em que a sua espessura pode variar de acordo com o grau de proteção térmica que se pretende, pela rede em fibra que confere resistência mecânica ao revestimento, cuja espessura varia dependendo do nível de resistência ao impacto pretendido, pelo revestimento base que protege o edifício e impede a

infiltração do ar, pelo primário e regulador de fundo e por fim pelo revestimento final que se caracteriza pela sua elevada elasticidade, sendo disponibilizado numa grande variedade de cores e texturas<sup>24,26-28</sup>.

Existem várias vantagens na utilização do reboco térmico pelo exterior. Desde logo pela eliminação de pontes térmicas, permitindo um isolamento integral do edifício e impedindo o ganho ou a perda de energia através dos elementos estruturais como por exemplo nos pilares de betão. A diminuição do risco de condensações, a melhoria da impermeabilidade das paredes, a grande variedade de soluções de acabamento e a economia de energia devido à redução das necessidades de aquecimento e de arrefecimento do ambiente interior são outras das vantagens que se podem constatar com a utilização deste tipo de sistemas<sup>24,26-28</sup>.

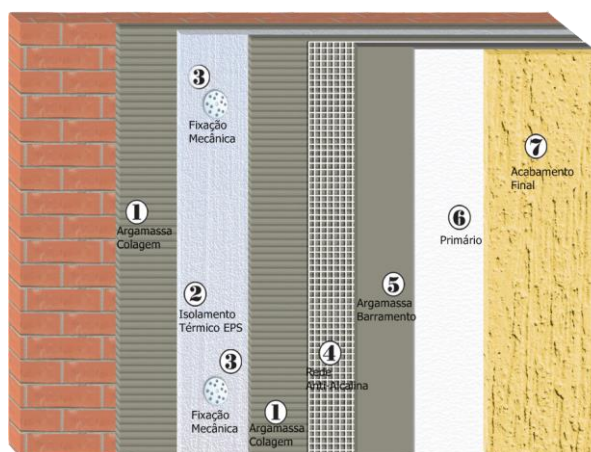


Figura 1. Representação em pormenor do Sistema ETICS<sup>29</sup>.

#### 2.4.2 Sistema de fachada ventilada

Outro tipo de sistemas utilizado é o sistema conhecido como fachada ventilada que se define como um sistema de proteção e revestimento exterior de edifícios, caracterizado pelo afastamento entre a parede do edifício e o revestimento, criando uma câmara de ar em movimento, permitindo assim a ventilação natural e contínua da parede do edifício<sup>30</sup>. Esta ventilação faz com que o ar entre frio pela parte inferior e saia quente pela parte superior, evitando a humidade e condensações que são comuns nas fachadas tradicionais, caminhando no sentido de conforto térmico. Uma vez que existe a câmara de ar entre a parede e o revestimento, esta pode ser utilizada para a instalação elétrica e sanitária do edifício.

Os elementos principais que constituem a fachada ventilada, ilustrada na figura 2, são o revestimento exterior, que terá função de proteção e decoradora do edifício, a câmara de ar que irá permitir a ventilação natural da parede, sendo o elemento essencial do sistema, a estrutura de fixação onde é aplicado o revestimento, que poderá ser de metal ou de madeira e tem como função dar estabilidade ao sistema, sendo através desta estrutura que se consegue o afastamento necessário para criar a câmara de ar, e a capa isolante que deverá ser aplicada

na parede do edifício garantindo a sua estabilidade térmica<sup>30</sup>. As vantagens do recurso a este tipo de fachadas situam-se no nível estético e funcional da fachada, e na ausência de manutenção quando compara com processos tradicionais. A nível estético evita-se a deterioração do edifício, oferecendo uma elevada gama de soluções estéticas. A nível funcional destaca-se o isolamento térmico a par da redução dos problemas relacionados com humidade e infiltrações devido à ventilação, resultando na redução do consumo energético e na maior durabilidade<sup>30</sup>.

A escolha do tipo de solução a utilizar deve ter em linha de conta a zona climática, considerando como fatores importantes nesta análise, a radiação solar que suporta a fachada, a inércia térmica de toda a fachada e a libertação da possível condensação produzida.

Para zonas quentes em que a luz solar terá maior impacto, as fachadas ventiladas evitam que o calor entre no edifício, mantendo temperaturas confortáveis no verão. No caso do ETICS, a cor branca do revestimento externo refletirá a luz solar. A inércia térmica irá ser importante em regiões com climas que têm variações de temperatura significativas entre o dia e a noite. Nestes casos uma solução interessante seria o bloco cerâmico utilizado no sistema de ETICS como parede interna, permitindo assim, uma temperatura constante dentro do edifício mesmo que as condições exteriores se alterem ao longo do dia. Por fim, a chuva ou as mudanças de temperatura podem causar condensação de vapor de água e neste tipo de situações o ETICS é o sistema menos utilizado nas zonas húmidas, pois o revestimento exterior é mais facilmente degradado e requer ações de manutenção<sup>31</sup>.

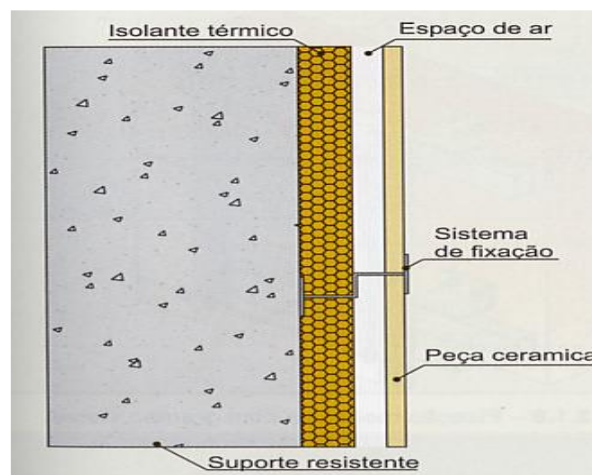


Figura 2. Representação em pormenor do sistema de fachada ventilada<sup>32</sup>.



## 3 Materiais e Métodos

No presente capítulo vão ser apresentados todos os métodos utilizados para caracterizar e analisar a argamassa polimérica fornecida pela EPS, bem como os métodos de produção de uma nova argamassa com base no conhecimento adquirido, com o objetivo de melhorar o produto fornecido. São apresentados também os testes realizados ao produto obtido para avaliar o comportamento das argamassas poliméricas ao nível do impacto, da absorção de água e permeabilidade ao vapor de água.

### 3.1 Determinação do teor de ligante e cargas em argamassas poliméricas

O método de análise elaborado por Sérgio Mendes<sup>33</sup> (2014) tem como objetivo determinar o teor de ligante, pigmentos e cargas em tintas aquosas, sendo adaptado no presente trabalho para argamassas poliméricas.

Inicialmente procedeu-se à identificação do tipo de emulsão em causa, e para isso utilizaram-se dois tubos de centrifugação com aproximadamente de 2g da amostra de argamassa, juntando-se 6 ml de água destilada como solvente, homogeneizando a mistura e adicionando água destilada até perfazer um volume de 10 ml. Para avaliar a qualidade e aspeto da separação das duas fases realizaram-se três centrifugações. A primeira com a duração de 90 min com uma rotação de  $2000 \text{ min}^{-1}$ , seguida de uma decantação em que se colocava o líquido sobrenadante num balão de *erlenmeyer*, adicionando 6 ml de água destilada à fase sólida, repetindo a centrifugação com a mesma rotação da primeira durante 60 min. Por fim, decantava-se novamente o líquido sobrenadante resultante da centrifugação para o balão de *erlenmeyer*, e adicionando 5 ml de solvente, sendo este uma mistura de acetona e tolueno que foi preparado num balão de 250 ml na proporção de 1:1, procedia-se à última centrifugação com a duração de 30 min. Após efetuar as três centrifugações, foi feita uma avaliação para se concluir se se tratava de uma argamassa acrílica pura ou estireno-acrílica (no caso da imagem da esquerda), ou se se tratava de uma argamassa vinílica (no caso da imagem da direita).

Após a verificação dos tubos, e com base na comparação com as imagens disponibilizadas de acordo com a figura 3, como primeira abordagem, foi possível concluir que se trata de uma argamassa de base estireno-acrílica.



Figura 3. Comparação da separação obtida para compostos acrílicos e vinílicos.

Após a definição do tipo de emulsão colocaram-se os tubos a centrifugar durante mais 60 minutos, decantando-se novamente o líquido sobrenadante para o balão de *erlenmeyer*, adicionando 5 ml do mesmo solvente descrito acima à fase sólida. Repetiu-se a centrifugação a uma rotação de  $2000 \text{ min}^{-1}$  durante 90 minutos. Por fim lavou-se o resíduo com 6,7 ml de éter dietílico, centrifugando-se a uma rotação de  $2000 \text{ min}^{-1}$  durante 30 minutos, e decantar o líquido sobrenadante para o balão de *erlenmeyer*.

Para determinar o teor em ligante, procedeu-se à secagem do solvente contido no balão de *erlenmeyer* na estufa a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 16 horas até obter a massa constante. O conteúdo é arrefecido e devidamente pesado.

Para a determinação do teor em cargas, os tubos que contém o resíduo sólido com papel de alumínio perfurado e coloca-se numa estufa a  $110 \text{ }^\circ\text{C}$  durante 16h, deixando arrefecer num exsiccador para se efetuar a respetiva pesagem<sup>33</sup>.

Para avaliar as proporções dos compostos orgânicos e inorgânicos calculou-se o teor de ligante e de cargas a partir das seguintes expressões:

A percentagem de ligante é calculada a partir do veículo fixo (VF)

$$VF = \frac{P2}{P1} \times 100 \quad \text{Equação 1}$$

em que P2 é o peso de resíduo sólido seco obtido no balão expresso em gramas, e P1 é o peso da amostra de argamassa adicionada ao tubo de centrifugação expresso em gramas.

A percentagem de cargas (C) presente na amostra é dada pela expressão

$$C = \frac{P3}{P1} \times 100 \quad \text{Equação 2}$$

em que P3 é o peso do resíduo sólido seco obtido no tubo, e P1 é o peso da amostra de argamassa adicionada ao tubo de centrifugação expresso em gramas.

### 3.2 Análise granulométrica

A análise granulométrica realizada tem como objetivo a obtenção da distribuição de tamanhos das cargas contidas na argamassa fornecida pela EPS, resultantes da separação efetuada no método descrito no ponto anterior. O equipamento utilizado para a realização do ensaio foi o *Coulter LS 230*. Este equipamento caracteriza-se por ser uma ferramenta multifuncional na caracterização de partículas, em que o seu sistema de laser permite avaliar toda a gama de dimensões de partículas presentes numa amostra. A tecnologia utilizada é baseada na dispersão de luz, utilizando uma lente de *Fourier* inversa incorporada num sistema de lente binocular, o que permite otimizar a dispersão de luz para uma faixa mais ampla numa única varredura<sup>34</sup>.

Para desaglomerar as cargas, colocou-se a amostra com água destilada num equipamento de ultrassons durante 90 segundos. De seguida pipetou-se a amostra para o interior do *Coulter LS 230*, e configurando o programa de aquisição de dados para o ensaio em curso, obtém-se os respetivos dados.

Da utilização do equipamento *Coulter LS230* para a realização da análise granulométrica resultou a aquisição de dados na forma de percentagem em volume e percentagem em número, permitindo assim a avaliação do diâmetro presente nas amostras em estudo.

### 3.3 Análise FTIR

A técnica de FTIR (*Fourier transform infrared spectroscopy*) foi utilizada como primeira abordagem à amostra de argamassa fornecida pela EPS, e às amostras obtidas na separação efetuada no método de determinação do teor de ligante e de cargas, comparando com a base de dados da Resiquímica, local onde se executou a análise, utilizando o equipamento *PerkinElmer Spectrum Two*. A espectroscopia de infravermelhos (IV) com transformadas de Fourier é uma técnica em que se obtém espectros de absorção, emissão, fotocondutividade, ou de difração de IV de um sólido, líquidos ou gases<sup>35</sup>. Um espectrómetro FTIR recolhe dados de uma gama alargada espectral, sendo uma vantagem sobre o espectrómetro dispersivo que mede a intensidade num intervalo muito estreito de comprimentos de onda em cada medição. Com este método recorre-se às transformadas de Fourier para converter os dados recolhidos num espectro de radiação<sup>35,36</sup>.

A espectroscopia FTIR é uma técnica que utiliza um feixe de luz composto, com diversos comprimentos de onda, em que se faz a medição da absorvância, modificando o feixe de luz, passando a ser uma combinação de comprimentos de onda diferente do feixe anterior, originando um segundo conjunto de dados, a partir dos quais, resulta a absorção para cada comprimento de onda<sup>36</sup>.

Foram realizados dois tipos de análise de FTIR, em modo ATR (*Attenuated Total Reflectance*) e em modo de transmissão, com pastilha de KBr. O FTIR em ATR consiste no contato da amostra com o sensor de ATR por diamante, que é o elemento de reflexão interna que tem baixa solubilidade em água e alto índice de refração para além da sua robustez e durabilidade, em que a reflexão interna total ocorre na interface da amostra e do elemento de reflexão penetrando uma pequena quantidade de luz IV na amostra sendo absorvida em certas frequências características do material em análise. O espectro de absorção pode variar de acordo com o ângulo de incidência e com o índice de refração do material do elemento de reflexão e da amostra<sup>35</sup>.

A peça de ATR é preenchida com a amostra colocando-se no espectrofotômetro para a respetiva recolha do espectro. Com esta preparação a análise por ATR permite analisar superfícies opacas, sem as destruir, enquanto que por transmissão é necessário a sua trituração<sup>35</sup>. O FTIR em modo de transmissão consiste na transmissão da radiação IV diretamente através da amostra, procedendo-se à formação de uma pastilha da amostra e de KBr na proporção de 1:100, em que se tritura a mistura num almofariz, e levando posteriormente a uma prensa. De seguida introduz-se o suporte com a amostra no espectrofotômetro e seguindo as instruções do software procede-se à espectroscopia. A intensidade das características espectrais depende da espessura da amostra preparada<sup>35</sup>.

### 3.4 Análise SEM - EDS

A análise de SEM - EDS (*Scanning Electron Microscopy - Energy dispersive X-Ray spectroscopy*) foi realizada com o objetivo de caracterizar a microestrutura, determinar a espessura e através de EDS realizar uma análise semi-quantitativa dos elementos químicos na superfície dos materiais, obtendo imagens numa gama de ampliação que pode chegar até aos 30  $\mu\text{m}$  de profundidade de campo<sup>37</sup>. O princípio de funcionamento da microscopia eletrónica de varrimento (SEM) baseia-se na incidência de um feixe de eletrões num ponto da superfície da amostra-alvo, e a consequente recolha dos sinais eletrónicos emitidos pelo material-alvo. As amostras são percorridas sequencialmente por um feixe de eletrões acelerado por uma tensão que varia entre 0 e 40kV, finamente focado através de um sistema de lentes eletromagnéticas<sup>37</sup>. Da interação do feixe eletrónico com a amostra resulta a emissão de diversos tipos de radiação e eletrões, entre os quais os eletrões secundários (ES) utilizados na formulação da imagem da amostra<sup>37</sup>. Os eletrões secundários são eletrões da amostra que sofrem excitação, libertando-se da superfície. Os eletrões retrodifundidos (ER) permitem a distinção de regiões que contém átomos leves e pesados. A observação de imagens obtidas através da deteção de ES tem forte contraste topográfico, sendo o contraste uma consequência da emissão dos eletrões retro - difundidos, cuja intensidade é crescente com o número atómico<sup>37</sup>.

As condições que devem ser cumpridas pelas amostras para que seja possível a caracterização por microscopia eletrônica são terem boa condutividade elétrica superficial, suportarem o vácuo e possuírem estabilidade física e química. Para cumprir as exigências referidas recorreu-se ao revestimento de todas as superfícies das amostras em análise utilizando ouro para a formação da superfície condutora. Antes de se proceder ao recobrimento das superfícies, as amostras foram preparadas em pins metálicos através da sua colagem com fita de carbono de dupla face, removendo possíveis impurezas com pistola de pressão de azoto e colocando as amostras em ambiente fechado.

Em relação à microanálise por raios X (EDS) foi utilizada para caracterização química das amostras, e o seu método de funcionamento baseia-se na interação de uma fonte de excitação de raios X e a amostra-alvo, e a partir da emissão dos raios X específicos da amostra é feita a leitura num espectrómetro de energia dispersiva, analisando os picos característicos do espectro de emissão eletromagnético obtido<sup>37</sup>.

As análises de SEM -EDS foram realizadas no CEMUP (Centro de materiais da Universidade do Porto) sendo utilizado o equipamento *FEI Quanta 400FEG ESEM*, e na UPTEC em que se utilizou o equipamento *Phenom World XL*. Em ambos os equipamentos a voltagem utilizada foi de 15 kV. Os tipos de feixe utilizados foram o SED, feixe de elétrons secundário que capta elétrons secundários e identifica melhor os relevos, e o BSED, detetor de elétrons retrodispersados que permite um melhor contraste para identificar diferentes materiais.

### 3.5 Análise RMN

A análise de RMN (Ressonância Magnética Nuclear) teve como objetivo a identificação e quantificação dos monómeros presentes na parte orgânica, resultante da separação efetuada aquando da determinação do teor de ligante e de cargas anteriormente referida. A espectroscopia de ressonância magnética nuclear baseia-se na colocação das moléculas sobre a ação de um campo magnético, em que a absorção de radiação de baixa energia causa excitação dos núcleos e é medida a frequência e intensidade da radiação absorvida pelos vários átomos<sup>38</sup>. Os espectrómetros são ajustados a certos núcleos (<sup>1</sup>H, <sup>13</sup>C, <sup>19</sup>F ou <sup>31</sup>P) para permitir, para um dado núcleo, a distinção e contagem de átomos em diferentes partes da molécula<sup>38</sup>. Na análise efetuada, os espectros de <sup>1</sup>H RMN foram adquiridos num espectrómetro *Bruker Avance III - 400*, operando numa frequência de 400 MHz, utilizando uma mistura de clorofórmio deuterado e água como solvente e sal de sódio do ácido 3 - (trimetilsilil) -1-propanossulfónico como referência interna. Os desvios químicos foram reportados em parte por milhão (ppm,  $\delta$ ).

### 3.6 Síntese do polímero em emulsão

Com base nas análises efetuadas por RMN à argamassa fornecida, o autor da dissertação com o auxílio do técnico de laboratório da Resiquímica procedeu à síntese de um copolímero estireno-acrílico em emulsão que conferisse as características desejadas à argamassa.

O mecanismo de polimerização utilizado foi a polimerização por adição, em que o polímero é obtido a partir de monómeros que contém uma ou várias ligações duplas<sup>39</sup>.

A polimerização por adição apresenta reações de iniciação, propagação e terminação. A iniciação pode ser induzida pelo calor, agentes químicos, por radiação e por catalisadores provocando a quebra das ligações duplas do monómero<sup>39,40</sup>. Durante a propagação, a espécie reativa gerada na iniciação incorpora sucessivamente moléculas do monómero, formando a cadeia polimérica<sup>39,40</sup>. Esta etapa da polimerização irá determinar de forma significativa a velocidade de polimerização pois esta é diretamente influenciada pela velocidade de propagação<sup>40</sup>. Na terminação, o centro reativo de propagação reage de modo espontâneo ou pela adição de algum reagente, interrompendo a propagação do polímero<sup>40</sup>.

Em relação à técnica de polimerização, a técnica utilizada foi a polimerização em emulsão que é uma polimerização heterogénea em meio aquoso<sup>40</sup>. O procedimento deste tipo de polimerização envolve vários aditivos com funções específicas como o emulsionante, regulador de pH, reguladores de tensão superficial e de polimerização, assim como ativadores e conservantes<sup>40</sup>. O iniciador é solúvel em água, e o emulsionante tem como objetivo formar micelas com tamanho compreendido entre 1nm e 1mm, onde o monómero ficará contido. Algumas micelas são ativas, ou seja, a reação de polimerização ocorrerá no seu interior, enquanto outras são inativas, constituindo apenas uma fonte de monómero. As micelas aumentam até formarem gotas de polímeros, originando posteriormente os polímeros<sup>40</sup>.

A técnica de polimerização em emulsão caracteriza-se pela elevada velocidade de reação e conversão, em que os polímeros obtidos possuem massas moleculares elevadas, tendo como desvantagem a sua pureza devido aos aditivos adicionados<sup>40</sup>. Esta técnica é muito utilizada em polimerização por adição, ocorrendo por via radicalar através da iniciação por calor, sendo relativamente fácil o controlo da temperatura.

O método de fabrico divide-se em várias etapas, começando pela preparação da fase aquosa para a pré-emulsão utilizando emulsionantes e os respetivos monómeros auxiliares que são o ácido acrílico e o ácido metacrílico. Segue-se a preparação da pré-emulsão com a adição dos monómeros principais, nomeadamente o estireno (70%), o acrilato de butilo (19%) e metacrilato de metilo (11%). Antes de dar início à polimerização, são preparados o iniciador e uma solução, iniciando assim a polimerização num reator fechado em *batch* com sistema de aquecimento e agitação integrados. Por fim, procede-se ao ajuste do pH e às adições do par redução-oxidação,

para digerir o monómero que ficou por polimerizar, e dos conservantes, descarregando o conteúdo para um recipiente apropriado.

No processo de fabrico do polímero em emulsão, exemplificado na figura 4, foram sintetizados dois polímeros baseados em dois produtos produzidos pela Resiquímica. Um dos polímeros sintetizados é baseado num processo de fabrico em que se utilizam apenas acrilato de butilo (ABU) e estireno (PS), enquanto que o segundo polímero sintetizado é obtido através de um processo de fabrico que contém os monómeros metacrilato de metilo (MMA) e estireno.



*Figura 4. Reator para a polimerização dos monómeros em emulsão.*

### 3.7 Preparação da argamassa polimérica

Com base no conhecimento adquirido nas análises realizadas, na pesquisa de formulações de argamassas e na experiência dos colaboradores da empresa Resiquímica, foram elaboradas várias formulações teste, variando essencialmente o tipo e quantidade de cargas utilizadas e o tipo de emulsão utilizada. Este método tem o objetivo de otimizar a formulação em estudo, conseguindo uma maior sensibilidade, e juntamente com os testes necessários de acordo com os parâmetros estabelecidos, aperfeiçoar no sentido das características pretendidas.

O procedimento passava por verter a emulsão para o interior de um recipiente, acrescentando um aditivo para regular a dureza da água, um dispersante que tem como função garantir que a dispersão tenha uma distribuição homogénea, um regulador de pH, um aditivo anti espuma para eliminar a espuma existente e evitar formação de novas bolhas de ar e um aditivo biocida para evitar e prevenir ataque de possíveis bactérias no recipiente de armazenamento.

Depois de misturados todos os aditivos, envolvem-se todas as cargas, ilustradas na figura 5, que foram consideradas necessárias para que a formulação seja consistente o suficiente. Começa-se por adicionar carbonatos cálcio de 5  $\mu\text{m}$  e 130  $\mu\text{m}$ , passando depois para os granulados de cálcio de 500  $\mu\text{m}$  e 250  $\mu\text{m}$ , e dependendo da formulação em teste, acrescenta-se também areia

de 300  $\mu\text{m}$  e esferas de vidro de 0,15-0,25  $\mu\text{m}$ . Por fim acrescenta-se um coalescente, que tem como objetivo regular a temperatura mínima de formação de película. Quanto maior quantidade de coalescente for adicionado, menor vai ser esta temperatura, devido ao seu poder aglutinador, assegurando uma plastificação temporária. No fim, se for necessário para que todas as cargas sejam envolvidas acrescenta-se água à restante massa. O processo de mistura foi realizado sob agitação durante 15 minutos, ilustrado na figura 5, intervalo de tempo que corresponde à mistura de todos os componentes, variando a velocidade de agitação de acordo com a resistência oferecida pela argamassa.



*Figura 5. Exemplo de matérias primas utilizadas e do processo de fabrico da argamassa.*

### **3.8 Absorção de água**

A permeabilidade à água do revestimento por argamassa foi realizada de acordo com a norma EN 1062-3:2008. Este teste foi realizado com o objetivo de verificar a quantidade de água absorvida pela argamassa produzida aplicada num substrato de poliestireno expandido, avaliando a eventual perda de peso.

O método consiste no barramento de argamassa num substrato de poliestireno expandido em que a face barrada é imersa em água. Monitoriza-se a massa do provete ao longo do tempo para se calcular a percentagem de absorção de água, a percentagem da perda de peso e o coeficiente de absorção de água.

As amostras preparadas para o teste de absorção de água contêm um barramento de argamassa com uma espessura de 3 m, e são mergulhadas num volume de 250 ml de água. As amostras foram colocadas numa sala climatizada e, ao fim de um dia de imersão foi registado o peso para o cálculo da percentagem da absorção de água. Após o registo do peso as amostras foram

colocadas novamente na sala climatizada para respetiva secagem, registando o peso até massa constante, determinando assim a percentagem da perda de peso.

Este procedimento é repetido para um intervalo de tempo de 3 dias, observando assim as diferenças entre os resultados dos dois períodos definidos para a realização do teste.

A absorção de água é calculada a partir da percentagem de absorção de água,

$$\text{Absorção } H_2O \text{ 1 dia (\%)} = \frac{A1-P0}{P0} \times 100 \quad \text{Equação 3}$$

em que A1 é o peso da amostra em gramas após um dia mergulhada em água e P0 é o peso inicial em gramas da amostra.

$$\text{Absorção } H_2O \text{ 3 dias (\%)} = \frac{A3-P1}{P1} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

em que A3 é o peso em gramas da amostra após três dias imersa em água e P1 é o peso em gramas da amostra depois de estar em água durante um dia e após secagem para se obter massa constante.

$$\text{Perda de peso 1 dia (\%)} = \frac{P0-P1}{P0} \times 100 \quad \text{Equação 5}$$

$$\text{Perda de peso 3 dias (\%)} = \frac{P1-P3}{P1} \times 100 \quad \text{Equação 6}$$

em que P3 é o peso em gramas da amostra depois de estar em água durante 3 dias e após secagem para se obter massa constante.



Figura 6. Amostras imersas em água para teste de absorção de água.

### 3.9 Permeabilidade ao Vapor de água

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) do revestimento por argamassa foi realizada de acordo com a norma NP EN ISO 7783-2:2001. Este ensaio foi realizado com o objetivo de verificar a facilidade da libertação do eventual vapor de água existente no interior da argamassa para o exterior através da camada de massa aplicada.

O ensaio consiste na aplicação de uma película sobre um substrato de cartolina, que permite uma taxa de transmissão de vapor de água superior a 240 g(m<sup>2</sup>.dia) de acordo com a exigência imposta pela norma utilizada, numa cápsula contendo uma solução saturada de fosfato de amónio dihidrogenado, que está ilustrado na figura 7, de forma a produzir uma humidade relativa de 93% a 23 °C. As amostras são acondicionadas num ambiente a uma temperatura de 23 °C e 50% de humidade relativa com a devida monitorização da massa ao longo do tempo, permitindo o cálculo da diferença de massa, do coeficiente da permeabilidade ao vapor de água e da espessura equivalente de ar.

A diferença de massa é calculada através da seguinte expressão,

$$\text{Diferença massa (g)} = P_0 - P_7 \quad \text{Equação 7}$$

em que P<sub>0</sub> é o peso inicial em gramas do conjunto e P<sub>7</sub> é o peso do conjunto após 7 dias.

A permeabilidade ao vapor de água (PVA) é obtida a partir do seguinte cálculo,

$$PVA \left( \frac{g}{m^2h} \right) = \frac{P_0 - P_7}{A \times 24h \times 7 \text{ dias}} \quad \text{Equação 8}$$

em que A é a área da superfície (0,00502 m<sup>2</sup>) onde está aplicada a argamassa.

A espessura equivalente de ar (S<sub>d</sub>) baseia-se no seguinte cálculo,

$$S_d (m) = \frac{\delta_{ar} \times \Delta P}{PVA} \quad \text{Equação 9}$$

em que δ<sub>ar</sub> é o coeficiente de permeação do ar (0,000702 g/(m.h.Pa)), ΔP é a diferença de vapor entre interior da caixa e o seu exterior (1207 Pa).



Figura 7. Preparação do conjunto com as respetivas amostras para teste de PVA.

### 3.10 Resistência ao Impacto

O teste de resistência ao impacto da argamassa aplicada no substrato de poliestireno expandido foi realizado de acordo com a norma EN 13497.

O teste consiste na utilização de um equipamento ilustrado na figura 8 que permite a queda de uma esfera de aço sobre a superfície da argamassa a uma determinada altura produzindo a respectiva energia. Após o impacto avalia-se qualitativamente se o impacto resultou em fraturas e fissurações na superfície da massa aplicada. Esta avaliação qualitativa determina a altura máxima que a esfera pode cair sobre a superfície da argamassa sem provocar danos significativos. No teste de resistência ao impacto, e segundo a norma, foi utilizada uma esfera com massa de 500 g posicionada a uma cota mínima de 400 mm, que produz um choque com uma energia de 2 J. Foram feitos testes até observar o limite máximo ao nível de fraturas e fissurações da amostra em função da posição de queda da esfera. Esta posição nunca foi inferior a 40 cm que respeita a diretriz da norma na qual o ensaio foi baseado.



*Figura 8. Ilustração do teste de resistência ao impacto.*



## 4 Resultados e Discussão

### 4.1 Determinação do teor de ligante e cargas em argamassas poliméricas

Foram retiradas quatro amostras para quatro tubos diferentes obtendo-se os seguintes resultados:

*Tabela 1. Resultados do cálculo da percentagem de veículo fixo.*

	P1 (g)	P2 (g)	VF (%)
Tubo A	1,986	0,145	7,3
Tubo B	2,022	0,134	6,6
Tubo C	2,106	0,144	6,8
Tubo D	1,986	0,145	7,3

Sendo o teor médio de ligante de 7,02%.

*Tabela 2. Resultados do cálculo da percentagem de cargas.*

	P1 (g)	P3 (g)	C (%)
Tubo A	1,986	1,589	80
Tubo B	2,022	1,663	82
Tubo C	2,106	2,748	83
Tubo D	1,986	1,624	82

Sendo o teor médio em cargas de 82%.

Este método permite avaliar e comparar as composições de compostos orgânicos e inorgânicos presentes na argamassa fornecida, e perceber a relação existente entre os dois tipos de compostos. É possível concluir que o peso dos compostos orgânicos é substancialmente inferior ao dos compostos inorgânicos, o que se compreende dado o seu custo ser mais elevado e a sua elevada inflamabilidade.

## 4.2 Análise Granulométrica

Perante os dados obtidos na figura 9 e 10 verifica-se que existe maior quantidade de partículas com diâmetro inferior a  $0,2 \mu\text{m}$ , que são complementadas por partículas de maior diâmetro. Em termos de volume verifica-se que as partículas com diâmetro de  $300 \mu\text{m}$  são as que ocupam maior percentagem de volume nas amostras em questão. É possível concluir que com esta distribuição de partículas obtém-se uma maior área superficial e uma maior miscibilidade entre os vários componentes presentes na argamassa final.

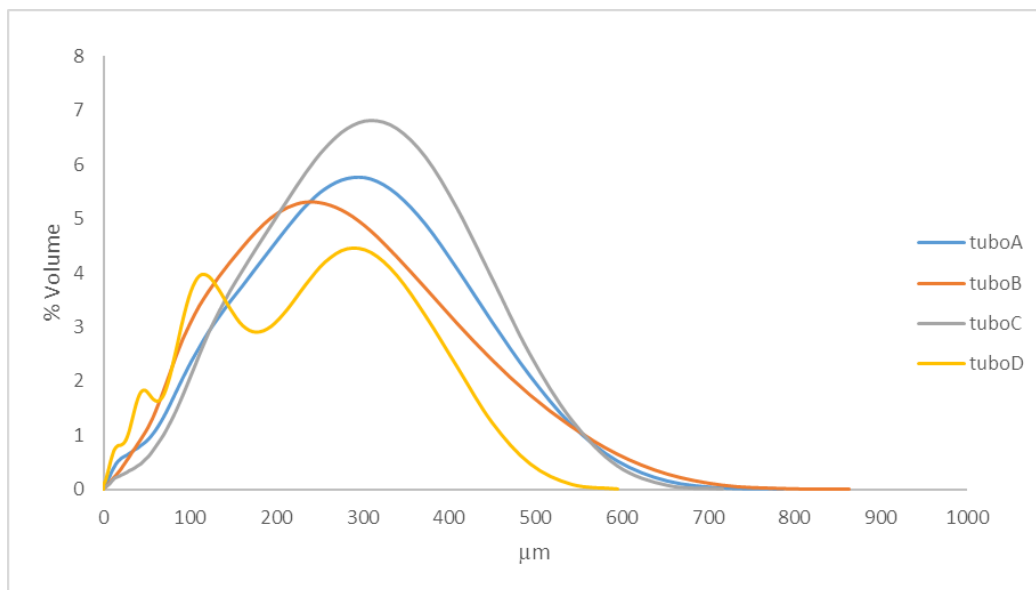


Figura 9. Gráfico da distribuição granulométrica das diferentes amostras obtidas na determinação do teor em percentagem volumétrica.

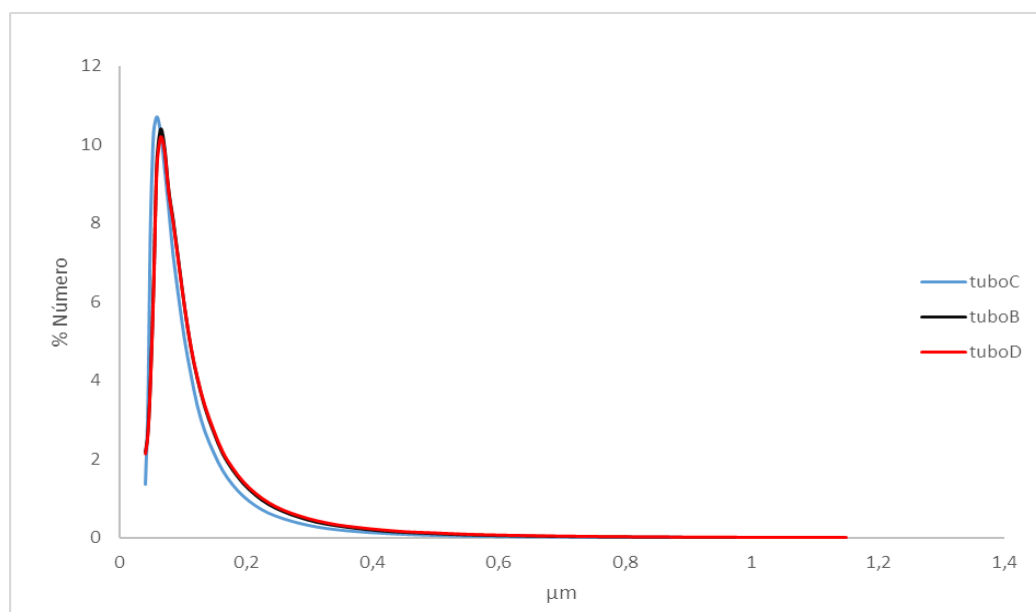


Figura 10. Gráfico da distribuição granulométrica das diferentes amostras obtidas na determinação do teor em cargas em percentagem numérica.

### 4.3 Análise FTIR em KBr e ATR

Na primeira abordagem na avaliação das matérias primas e por comparação com matérias primas existentes na Resiquímica, foi possível tirar algumas conclusões, definindo os passos seguintes com base nos resultados obtidos. Na figura 11 comparou-se a parte inorgânica da argamassa padrão com carbonatos existentes na Resiquímica e, embora não sendo exatamente o mesmo tipo de carbonatos, é possível constatar que se trata de carbonatos de cálcio dada a forma do espectro resultante.

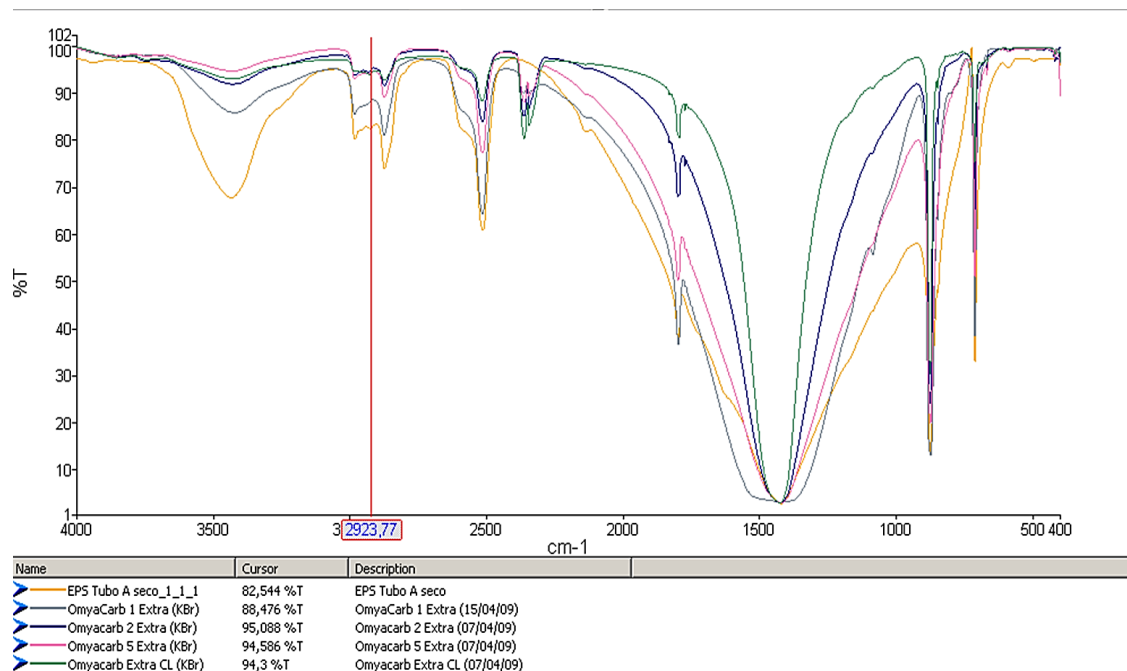


Figura 11. FTIR das cargas presentes na argamassa padrão e de carbonatos fornecidos pela Resiquímica.

Na figura 12 comparou-se a argamassa padrão, duas formulações teste produzidas na Resiquímica e o ligante da argamassa padrão, sendo possível verificar uma boa aproximação entre o padrão e as formulações testadas, permitindo uma melhor especificação para a obtenção do produto final. É possível concluir que se trata de um produto estireno-acrílico, pois detetou-se o pico típico de estireno aos 1490  $\text{cm}^{-1}$  e de acrilatos aos 1160  $\text{cm}^{-1}$ .

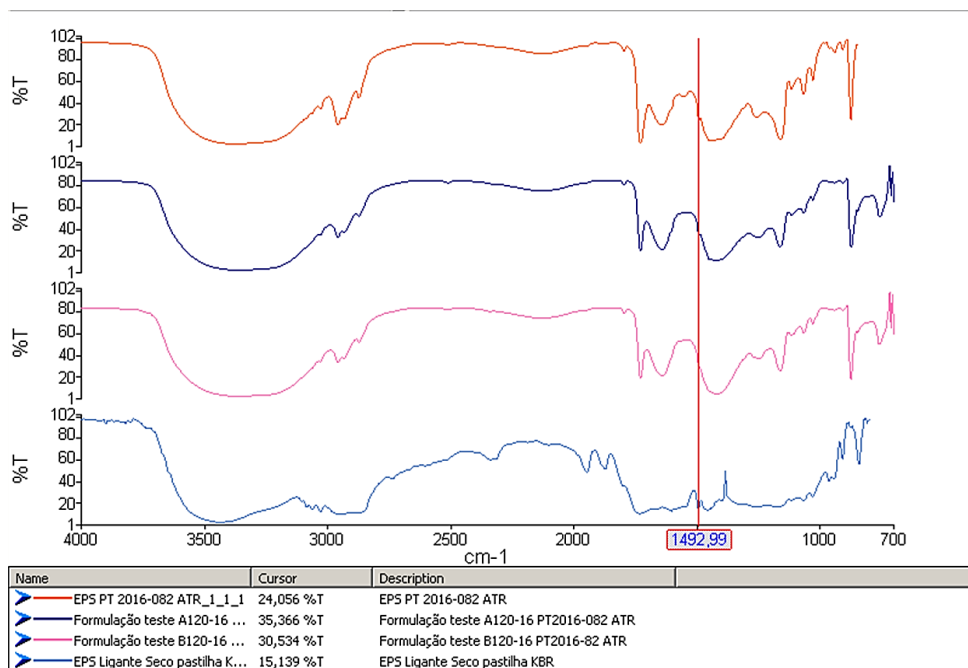


Figura 12. FTIR da argamassa padrão, das formulações teste e do ligante presente na argamassa padrão.

Na figura 13 foi feita a comparação entre o ligante da argamassa padrão e emulsões desenvolvidas pela Resiquímica com o objetivo de se confirmar que se estava perante uma argamassa de base estireno-acrílica. Perante o espectro obtido, detetou-se o pico de estireno como indicado na figura. Com estes resultados preliminares foi possível ter uma noção do tipo de argamassa, e assim tomar uma decisão em relação aos procedimentos futuros para uma melhor caracterização e análise.

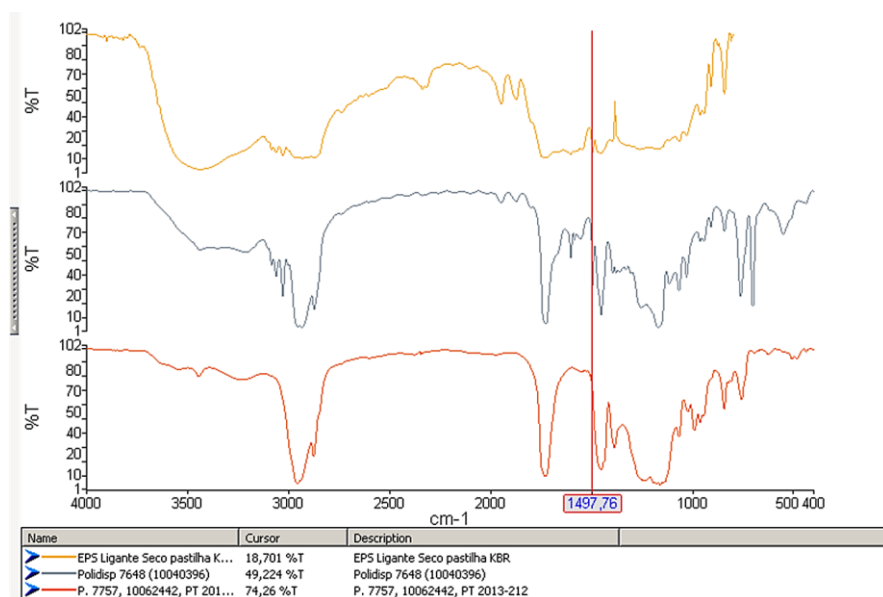


Figura 13. FTIR do ligante presente na argamassa padrão e de emulsões produzidas pela Resiquímica.

#### 4.4 Análise SEM-EDS

O tipo de feixe, a ampliação e a escala utilizados estão identificados nas imagens recolhidas e aqui apresentadas.

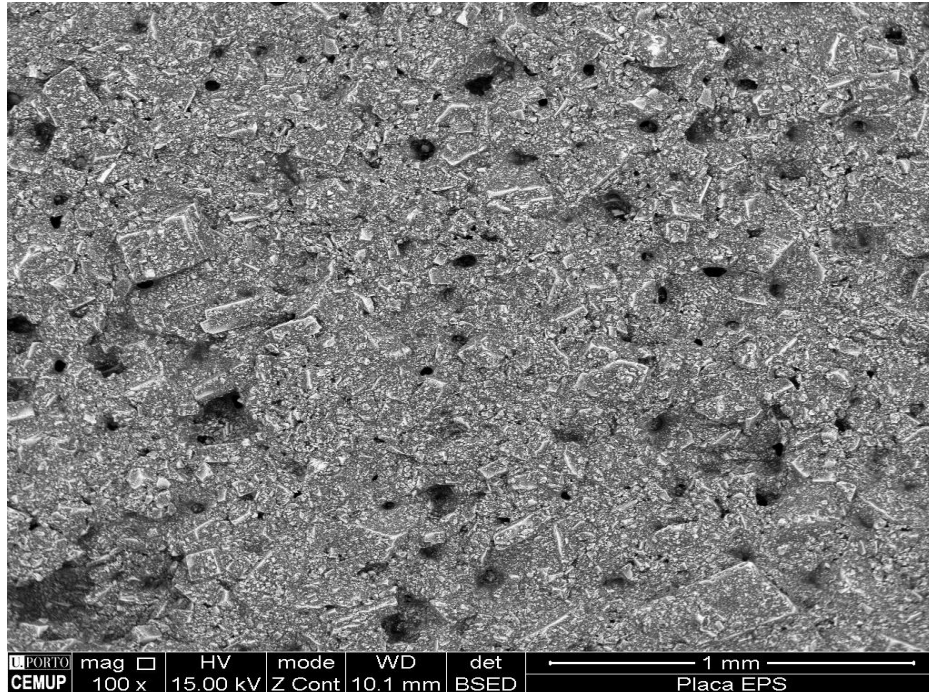


Figura 14. SEM de aplicação da argamassa fornecida pela EPS.

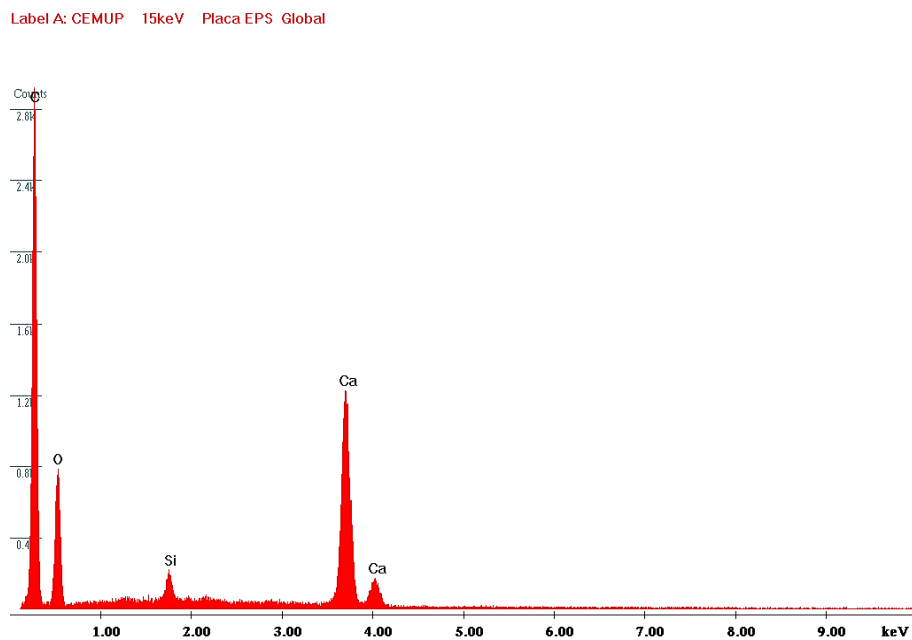


Figura 15. EDS relativo à aplicação da argamassa fornecida pela EPS.

A figura 14 é uma aplicação da amostra fornecida pela EPS em placa de poliestireno expandido, onde é possível constatar a elevada presença de cargas e a existência de poros, sendo por isso um material poroso. A figura 15 indica o cálcio e o silício como sendo a origem das cargas utilizadas, tratando-se de carbonato de cálcio e óxido de silício. No espectro obtido, verifica-se maior quantidade de carbono indicando a presença da cadeia de carbonos do ligante.

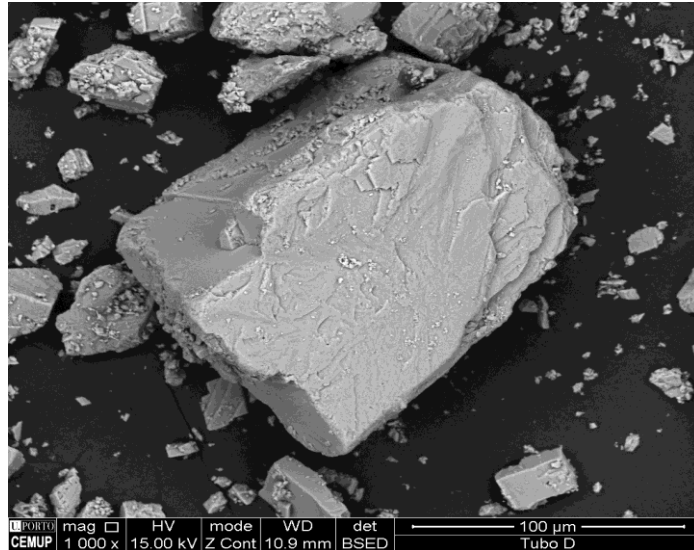


Figura 16. SEM das cargas presentes na argamassa padrão.

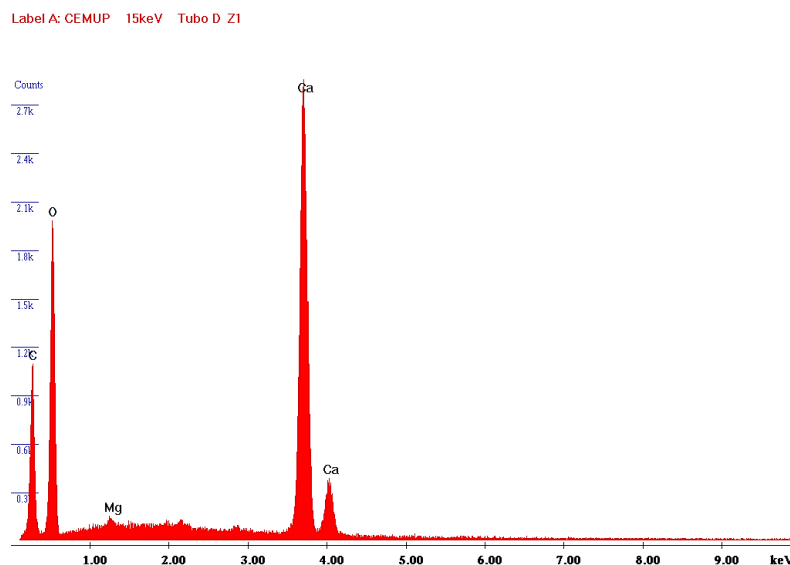


Figura 17. EDS relativo às cargas presentes na argamassa padrão.

A figura 16 representa a parte inorgânica obtida da separação aquando da determinação do teor de ligante e de cargas, verificando-se pela figura 17 que se trata de carbonato de cálcio, e uma vez que a amostra contém apenas parte inorgânica resulta numa maior quantidade de oxigénio em relação ao carbono, característico do carbonato de cálcio que é de 1:3.

## 4.5 Análise RMN

A análise do espectro  $^1\text{H}$  RMN da figura () mostra a ressonância típica da ligação  $\text{O-CH}_3$  do metacrilato de metilo (MMA) entre  $\delta$  3,65 e 3,5 ppm, da ligação  $\text{O-CH}_2$  do acrilato de butilo (ABU) entre  $\delta$  3,8 e 3,65 ppm e da ligação  $\text{C-H}$  do anel aromático do poliestireno (PS) entre  $\delta$  7,25 e 6,4 ppm.

As proporções dos três monómeros presentes no ligante da argamassa padrão foram obtidas a partir da comparação da razão dos integrais atribuídos a cada uma das ligações detetadas. Concluiu-se então que a proporção de PS é de 55,3%, de MMA é de 18,6% e de ABU é de 26,0%, como especificado na tabela 3.

Tabela 3. Percentagens dos monómeros resultantes da análise das áreas do espectro de RMN.

	A1	A2	% Monómero
PS (5H)	207,50	41,50	55,34
MMA (3H)	41,95	13,98	18,64
ABU (2H)	39,02	19,51	26,02
	Total:	74,99	100,00

A1 - Área correspondente aos hidrogénios identificados no espectro

A2 - Área convertida para base de 1 hidrogénio

nH - número de hidrogénios identificados

As áreas apresentadas correspondem à área abaixo dos picos selecionados para os sinais identificados devidamente delimitados e ilustrados na figura 18.

A percentagem dos monómeros foi calculada com base na soma das áreas convertidas para uma base de um hidrogénio, fazendo a respetiva proporção.

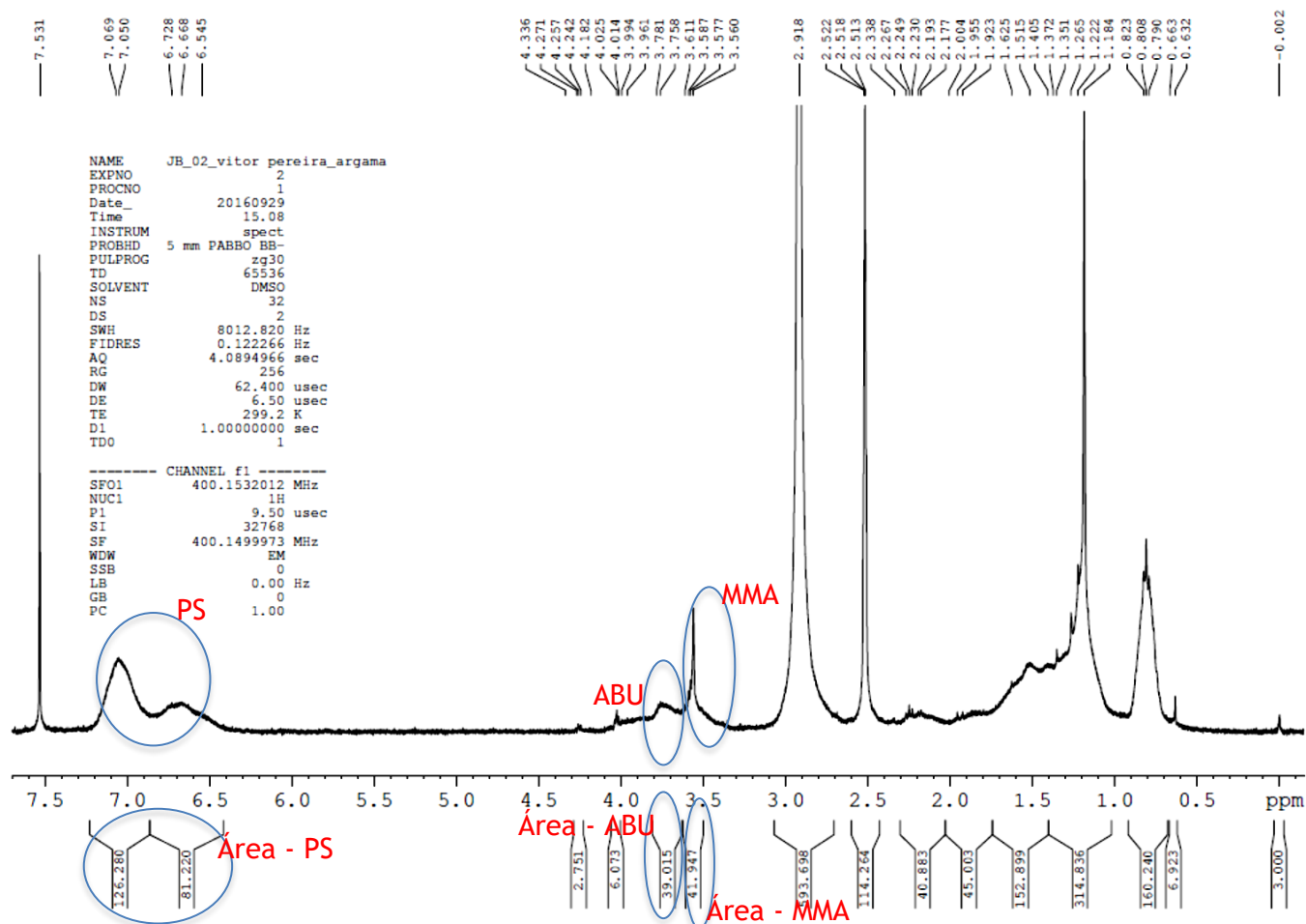


Figura 18. RMN do ligante presente na argamassa padrão.

## 4.6 Síntese do polímero em emulsão

Com o objetivo de analisar a qualidade da dispersão polimérica obtida após a síntese, foram medidos vários parâmetros como o pH, a viscosidade, a percentagem de resíduo sólido, a percentagem de resíduo utilizando um peneiro com uma rede de diâmetro de 40  $\mu\text{m}$ , o tamanho médio da partícula, a TMFP e uma avaliação qualitativa da película formada após aplicação numa placa de vidro. Estes parâmetros foram comparados com valores teóricos avaliando assim se os valores obtidos se encontravam dentro dos intervalos estabelecidos.

### Polímero baseado em ABU/PS - Pol1:

O valor de pH foi obtido a partir de um medidor de pH existente na Resquímica, a viscosidade foi medida a partir de um viscosímetro presente na Resquímica (*Brookfield*) a uma  $T = 23\text{ }^\circ\text{C}$  e a 50 rpm, a percentagem de resíduo sólido foi calculada com base na pesagem de três amostras da emulsão e na pesagem das amostras após secagem de uma hora a  $105\text{ }^\circ\text{C}$ , a percentagem de resíduo ao peneiro foi calculada a partir da pesagem da rede de peneiro com a amostra e da

rede de peneiro com a amostra após 15 minutos na estufa a 125 °C. Em relação à obtenção do tamanho médio da partícula (TMP) foi utilizado um equipamento presente na Resiquímica (*Brookhave instruments - 90 Plus Particle Sizing Analyzer*), enquanto que a temperatura mínima de formação de película (TMFP) foi obtida a partir da medição num aparelho destinado para o efeito (*Rhopoint Instruments MFFT - 60*), em que a temperatura esperada é baseada nas temperaturas de transição vítrea do estireno e do acrilato de butilo. Quanto ao aspeto da película aplicada conclui-se que é opaco, fissurado e sem pegajosidade, e após ter estado na estufa a 105 °C é transparente e sem pegajosidade.

De acordo com os resultados obtidos e presentes na tabela 4, é possível concluir que se obteve uma emulsão com estabilidade inicial satisfatória.

*Tabela 4. Resultado da medição de parâmetros para avaliar estabilidade inicial da emulsão.*

	Valor Medido	Intervalo de aceitação
pH	8	7,5 - 9
Viscosidade (mPa.s)	63,4	30 - 300
% Resíduo Sólido	46,8	44,0 - 46,0
% Resíduo ao Peneiro	0,01	< 0,02
TMP (nm)	104,7	100 - 200
TMFP (°C)	> 48	46

#### **Polímero baseado em MMA/PS - Pol2:**

O valor de pH foi obtido a partir de um medidor de pH existente na Resiquímica, a viscosidade foi medida a partir de um viscosímetro presente na Resiquímica (*Brookfield*) a uma T = 23 °C e a 50 rpm, a percentagem de resíduo sólido foi calculada com base na pesagem de três amostras da emulsão e na pesagem das amostras após secagem de uma hora a 105 °C, a percentagem de resíduo ao peneiro foi calculada a partir da pesagem da rede de peneiro com a amostra e da rede de peneiro com a amostra após 15 minutos na estufa a 125 °C. Em relação à obtenção do tamanho médio da partícula (TMP) foi utilizado um equipamento presente na Resiquímica (*Brookhave instruments - 90 Plus Particle Sizing Analyzer*), enquanto que a temperatura mínima de formação de película (TMFP) foi obtida a partir da medição num aparelho destinado para o efeito (*Rhopoint Instruments MFFT - 60*), em que a temperatura esperada é baseada nas temperaturas de transição vítrea do estireno e do metacrilato de metilo, sendo que não se

obteram resultados conclusivos devido à inexistência de formação de película no aparelho. Quanto ao aspeto da película aplicada numa placa de vidro conclui-se que é opaco, fissurado e sem pegajosidade após ter estado numa estufa a 100 °C.

De acordo com os resultados obtidos e presentes na tabela 5, é possível concluir que se obteve uma emulsão, ilustrada na figura 19, com estabilidade inicial satisfatória.

*Tabela 5. Resultado da medição de parâmetros para avaliar estabilidade inicial da emulsão.*

	Valor Medido	Intervalo de aceitação
pH	8,35	7,5 - 9
Viscosidade (mPa.s)	4100	6000 - 12000
% Resíduo Sólido	49,4	49,0 - 51,0
% Resíduo ao Peneiro	0,0	< 0,02
TMP (nm)	113	100 - 200
TMFP (°C)	-	17 -21



*Figura 19. Exemplo do polímero em emulsão produzido na Resiquímica.*

#### 4.7 Formulações de argamassa

As formulações testadas apresentadas na tabela 6 permitiram adquirir uma maior sensibilidade no que toca ao seu potencial de aplicação, devido à variação de alguns compostos presentes na formulação. Permitiu também avaliar algumas características consideradas essenciais numa primeira abordagem com vista a uma futura aplicação. As características tidas em conta foram a aplicabilidade, de acordo com a resistência que ofereciam à sua aplicação numa placa de poliestireno expandido, a fissuração, a cor, a rugosidade, a porosidade e o brilho, comparando

com a amostra padrão fornecida pela EPS. O método seguido é um método de ensaio da Resiquímica devidamente testado e aprovado.

Tabela 6. Descrição das matérias primas e quantidades utilizadas no fabrico das argamassas.

Constituinte	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Emulsão ca. 50%	14,00	17,50	15,20	14,00	14,00	14,00	19,00	14,00	14,00	14,00
Dureza da água	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05	0,05
Dispersante regulador pH	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	---	0,60	0,60	0,60
Anti-espuma	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
Biocida	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40	0,40
	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
Carbonato de cálcio 5 µm	31,50	31,50	41,50	31,50	11,50	21,50	21,50	15,00	15,00	15,00
Carbonato de cálcio 130 µm	30,00	30,00	30,00	40,00	40,00	30,00	30,00	40,00	37,50	37,50
Granulado de cálcio 500 µm	---	---	---	---	---	---	---	16,50	16,50	16,50
Granulado de cálcio 250 µm	20,00	20,00	10,00	10,00	30,00	30,00	30,00	10,00	10,00	10,00
Areia 300 µm	---	---	---	---	---	---	---	---	2,50	---
Esferas de vidro 0,15-0,25 µm	---	---	---	---	---	---	---	---	---	2,50
Coalescente	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Água	2,45	---	---	---	---	---	---	---	---	---
<b>Total</b>	<b>100,00</b>	<b>101,05</b>	<b>98,75</b>	<b>97,55</b>	<b>97,55</b>	<b>97,55</b>	<b>101,95</b>	<b>97,55</b>	<b>97,55</b>	<b>97,55</b>

Emulsões a testar:

1 - Polidisp 7637 ca. 50% (LID 216455)

2 - Polidisp 7648 ca. 50%

Após efetuadas as aplicações das amostras e respetiva secagem foram avaliadas qualitativamente de acordo com características que permitissem caracterizar da melhor forma possível o material em estudo e que fosse uma ferramenta útil no processo de tomada de decisão dos próximos passos, tendo em vista a melhoria do produto final. Perante o resultado da mistura da argamassa é possível concluir que a quantidade de 14 g de emulsão utilizada é suficiente, uma vez que permite a envolvimento de todas as cargas utilizadas.

Em relação ao tipo de emulsão utilizada, as formulações A, B, C, D, E e F, que contêm o Pol1, permitiram concluir que a emulsão não é eficaz devido à separação de fases que promove, como é possível verificar na figura 20, por comparação com as formulações D2, E2 e F2 que utilizam a emulsão do portefólio da Resiquímica (Polidisp 7648).



Figura 20. Resultado do fabrico das várias argamassas.

No que se refere às cargas foi possível verificar que o carbonato de cálcio com um tamanho de 130  $\mu\text{m}$  e o granulado de cálcio de origem mármore 500  $\mu\text{m}$  são os que têm mais impacto na formulação devido à miscibilidade, rugosidade e grau de porosidade que conferem à argamassa, auxiliando na proteção contra eventuais impacto e fissurações. As esferas de vidro utilizadas com um tamanho de 150 -250  $\mu\text{m}$  e o carbonato de cálcio de 5  $\mu\text{m}$  são compostos que complementam de forma positiva as características já enunciadas, pois possuem maior área superficial. A areia e o granulado de cálcio de origem mármore de 250  $\mu\text{m}$  não produziram efeitos satisfatórios perante as formulações selecionadas como mais promissoras numa futura aplicação.

Perante o conhecimento adquirido no decorrer das aplicações ilustradas na figura 21 e após a secagem das amostras, é possível aferir que os melhores resultados das aplicações são aqueles que contém na sua formulação o polímero Polidisp 7648 produzido pela Resiquímica, eliminando desde logo a utilização do Pol1. Esta conclusão deve-se à dureza adquirida pela amostra, mostrando-se muito quebradiça e suscetível de ocorrência de fissurações. Tais fatos relacionam-se com a elevada temperatura de transição vítrea teórica (75 °C), que torna o polímero mais rígido, sendo expectável devido à proporção dos monómeros utilizados.

Em relação aos aditivos, a única variação efetuada em relação às restantes formulações e sugerida pela equipa da Resiquímica foi no dispersante, suprimindo-o na formulação G1 e G2, não resultando em melhorias.



*Figura 21. Aplicação das várias argamassas produzidas.*

A figura 21 é uma representação das aplicações já referenciadas anteriormente, e com base na sua aplicação e visualização após a cura foi possível realizar a avaliação qualitativa presente na tabela 7. Todas as características das amostras apresentadas são comparadas com a argamassa padrão (EPS) que é o ponto de referência a partir do qual se define se a aplicabilidade é boa, razoável ou má, e o quão distante se está do nível ótimo atribuído a todas as características da argamassa padrão.

Tabela 7. Avaliação qualitativa da aplicação dos produtos obtidos.

Característica	D1	D2	E2	F1	F2	G2	H2	I2	J2	EPS
<b>Aplicação do produto tal qual</b>										
Aplicabilidade (B=boa; R=razoável; M=má)	B	M	R	B	R	M	R	R	R	R
<b>Aspecto da aplicação <sup>1</sup></b>										
Fissuração	5	4	0	3	0	4	0	0	0	0
Cor	4	3	4	5	2	2	3	2	1	---
Rugosidade	0	5	3	5	2	4	4	3	3	0
Porosidade	1	4	0	1	1	4	2	0	0	0
Brilho	5	5	3	5	5	4	2	2	3	0
<b>Aplicação do produto com diluição em água (em média 0,5 ml)</b>										
Aplicabilidade (B=boa; R=razoável; M=má)		R						B	B	B
<b>Aspecto da aplicação <sup>1</sup></b>										
Fissuração		2						0	0	0
Cor		3						2	1	---
Rugosidade		4						3	3	0
Porosidade		4						0	0	0
Brilho		5						4	4	0

<sup>1</sup> 0 – Ótimo; 5 – Péssimo

Nota: 1 - Polímero Pol1; 2 - Polímero do catálogo da Resiquímica Polidisp 7648.

A aplicabilidade foi avaliada segundo a resistência que oferecia ao barramento da argamassa. A formulação D1 e F1 por se apresentarem demasiado líquidas facilitavam o barramento e por isso a avaliação atribuída foi de boa aplicabilidade. A viscosidade das dispersões poliméricas pode ser uma das razões para a qualidade da aplicabilidade, em que a viscosidade da dispersão Pol1 (presente em todas as formulações com o número 1) é menor do que a viscosidade da dispersão pertencente ao catálogo da Resiquímica (presente em todas as formulações com o número 2), verificando-se que as argamassas com o número 2 têm uma aplicabilidade razoável ou má. Em relação à fissuração e rugosidade, avaliadas visualmente e ao toque respectivamente, é possível verificar que a introdução do granulado de 500 µm, como especificado na tabela 6, nas formulações H2, I2 e J2 produziram efeito positivos uma vez que atingiram o nível ótimo da classificação. Este resultado pode ficar a dever-se a uma melhor distribuição de cargas, maior preenchimento de vazios, tendo como consequência uma melhoria no comportamento do material. A cor é um fator estético e verificou-se que a maior influência na sua alteração provém da natureza do ligante. O brilho está relacionado com a natureza das cargas, em que o nível de cristalização dos carbonatos e a utilização de cargas à base de vidro, como é o caso das formulações H2, I2 e J2, terão impacto significativo no aspeto final. O objetivo da aplicação do produto com diluição em água foi o de melhorar a sua aplicabilidade, não resultando diferenças significativas na avaliação das restantes características.

Numa segunda fase e perante os resultados obtidos a partir da produção das primeiras formulações, foram definidas as formulações com mais potencial, sendo utilizada a emulsão produzida pela Resiquímica, Polidisp 7648, e a segunda emulsão sintetizada no âmbito do presente trabalho, denominado por Pol2, tendo por base o Polidisp 7648 com a adição de acrilato de butilo. As formulações selecionadas para esta segunda fase foram a H2 e J2. As

formulações preparadas nesta segunda fase, ilustradas na figura 22 e descritas na tabela 8, foram alvo de avaliação qualitativa, tal como as primeiras formulações, assim como testes de absorção de água, permeabilidade ao vapor de água e a resistência ao impacto avaliando de forma mais precisa o grau de eficácia atingido no desenvolvimento das formulações em questão.

Tabela 8. Descrição das matérias primas e quantidades utilizadas na segunda fase de fabrico.

Constituinte	A	B
<b>Emulsão ca. 50%</b>	<b>14,00</b>	<b>14,00</b>
Calgon N	0,05	0,05
Additol VXW 6200	0,60	0,60
NaOH a 10%	0,30	0,30
Additol VXW 6393	0,40	0,40
Preventol D12	0,20	0,20
Omyacarb 5 extra	15,00	15,00
Mikhart 130	40,00	37,50
Granulado 0,75	16,50	16,50
Granulado 0,3-1	10,00	10,00
Esferas de vidro 0,15-0,25 µm	---	2,50
Acetato de Butil Diglicol	0,50	0,50
<b>Total</b>	<b>97,55</b>	<b>97,55</b>

**Emulsões a testar:**

- 1 - Poldisp 7648 ca. 50%
- 2 - Poldisp 7648 ca. 50% LID 217024



Figura 22. Resultado do fabrico das argamassas produzidas na segunda fase.

Na tabela 9 estão especificados os valores medidos de algumas propriedades das quatro argamassas produzidas na segunda fase de desenvolvimento do projeto. A percentagem de resíduos sólidos dos produtos desenvolvidos, é ligeiramente superior à percentagem da argamassa padrão, podendo ser retificada através da diminuição da adição dos carbonatos presentes. No que diz respeito à viscosidade verifica-se que a introdução do acrilato de butilo na formulação de Pol2 tem influência na diminuição da viscosidade por comparação com a utilização do Poldisp 7648. Uma alteração das proporções dos monómeros utilizados poderá aproximar do valor da viscosidade da argamassa padrão. Quanto à medição de pH, os valores

são concordantes, não existindo desvios significativos. Em relação à densidade, verifica-se que a quantidade excessiva de cargas utilizadas faz com que seja superior à densidade padrão.

Tabela 9. Propriedades iniciais das argamassas produzidas na segunda fase de fabrico.

Característica	Form.A		Form.B		EPS
	P.7648 STD	P.7648 217024	P.7648 STD	P.7648 217024	
<b>Resíduo sólido (%)</b>	92,3	92,0	92,0	93,1	88,7
<b>Viscosidade</b>					
Brookfield a 23°C H7, 20rpm (mPa.s)	110000	85000	109000	79000	90000
<b>pH</b>	8,4	8,9	8,8	8,9	8,4
<b>Densidade a 23°C</b>	1,86	2,05	2,01	2,04	1,82

Nota: P.7648 STD - Polímero do catálogo da Resiquímica; P.7648 217024 - Pol2.

Em relação à avaliação qualitativa realizada a partir das aplicações ilustradas na figura 23, verifica-se uma melhoria ao nível da porosidade e da rugosidade e a manutenção da qualidade ao nível da fissuração como é possível verificar na tabela 10.

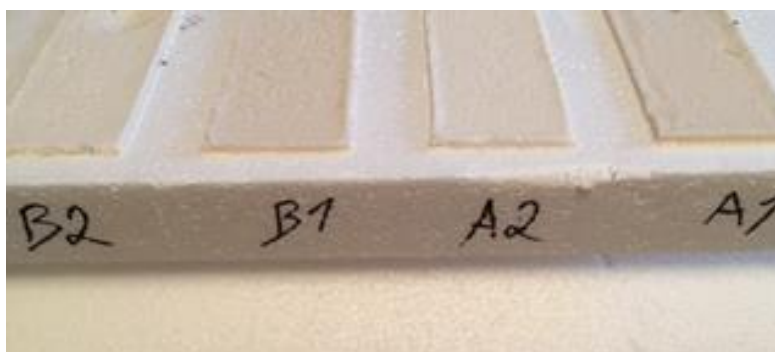


Figura 23. Aplicação das argamassas da segunda fase de fabrico.

Tabela 10. Avaliação qualitativa das argamassas produzidas na segunda fase de fabrico.

Característica	Form.A		Form.B		EPS
	P.7648 STD	P.7648 217024	P.7648 STD	P.7648 217024	
<b>Aplicabilidade</b> (B–boa; R–razoável; M–má)	R	R	R	R	B
<b>Aspecto da aplicação</b> <sup>1</sup>					
Fissuração	0	0	0	0	0
Cor	3	2	3	2	0
Rugosidade	1	2	4	3	0
Porosidade	1	1	1	2	0
Brilho	2	2	2	2	0

Nota: P.7648 STD - Polímero do catálogo da Resiquímica; P.7648 217024 - Pol2.

## 4.8 Absorção de água

O teste de absorção à água permitiu avaliar a capacidade de impermeabilização da argamassa aplicada sobre a placa de poliestireno expandido, sendo uma ferramenta útil na avaliação da durabilidade do produto uma vez que o transporte de água é um dos principais responsáveis pela deterioração das argamassas.

Nos resultados obtidos e presentes na tabela 11 é possível verificar, relativamente à percentagem de absorção de água cíclica, que os quatro produtos fabricados na segunda fase do projeto obtiveram menores percentagens relativamente à argamassa padrão (EPS), quer no ciclo de um dia, quer no ciclo de três dias.

Tabela 11. Resultados do teste de absorção de água cíclica.

Característica	Form.A		Form.B		EPS
	P.7648 STD	P.7648 217024	P.7648 STD	P.7648 217024	
<b>Absorção de água cíclica (%)</b>					
1 d	28,8	25,2	36,1	29,7	39,0
3 d	27,9	31,0	33,7	33,0	43,8
<b>Perda de peso (%)</b>					
1 d	0,0	0,6	0,0	0,7	0,0

Nota: P.7648 STD - Polímero do catálogo da Resiquímica; P.7648 217024 - Pol2.

Este resultado permite concluir que a rede porosa das argamassas produzidas é mais eficaz do que a rede da argamassa padrão. Esta eficácia poderá dever-se ao equilíbrio da distribuição das cargas e conseqüentemente da rede porosa e da própria ligação entre o ligante e as cargas, criando uma malha mais impermeável. Em relação à percentagem da perda de peso verificou-se uma ligeira perda nas argamassas que contêm na sua formulação a emulsão Pol2, ao contrário das restantes argamassas produzidas e da argamassa padrão. A perda de peso pode relacionar-se com o nível de secagem da espessura da argamassa. Quanto menor for a secagem obtida mais água irá absorver levando à lixiviação da película concluindo que o filme ainda se encontrava em processo de formação. Verifica-se que as argamassas que têm na sua formulação o polímero fabricado pela Resiquímica têm maior facilidade de secagem, reiterando a importância do processo de cura na proteção deste tipo de materiais.

## 4.9 Permeabilidade ao vapor de água

Para a realização do ensaio da permeabilidade ao vapor de água adicionou-se 150 g da solução saturada de fosfato de amónio dihidrogenado nas respetivas cápsulas devidamente tapadas com a argamassa sobre o substrato de cartolina já referenciado. De seguida pesou-se o conjunto e

colocou-se durante 7 dias numa sala climatizada. Após 7 dias registou-se o peso do conjunto com o objetivo de calcular a diferença de massa, o coeficiente de permeabilidade ao vapor de água e a espessura equivalente de ar.

O teste de permeabilidade ao vapor de água permitiu avaliar a capacidade que o material tem em libertar o vapor de água existente no interior do mesmo através do cálculo da espessura de ar equivalente. Quanto maior for a espessura de ar equivalente ( $S_d$ ), maior é a dificuldade em libertar o vapor de água existente. De acordo com a norma utilizada, a PVA é classificada de acordo com três classes distintas especificadas na tabela 12:

Tabela 12. Classificação segundo a PVA e  $S_d$ .

Classe	PVA ( $\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$ )	$S_d$ (m)
I (elevada)	> 150	< 0,14
II (média)	15 a 150	0,14 a 1,4
III (baixa)	< 15	> 1,4

Embora a classificação presente na tabela 12 só seja viável para um teste de 14 dias (o teste aqui apresentado é de 7 dias), segundo os resultados obtidos na tabela 13, e admitindo a hipótese de se manterem constantes durante mais 7 dias, é possível concluir que existe uma relação direta entre o tipo de polímero utilizado e a classe obtida. No que diz respeito às amostras A1 e B1 (utilizam o polímero do catálogo da Resiquímica) verifica-se a obtenção da classe III, enquanto que as amostras A2 e B2 (utilizam o polímero Pol2) a classe obtida é a classe II. Em comparação com a argamassa padrão, que possui classe III, as formulações A2 e B2 obtiveram um melhor desempenho, permitindo concluir que o polímero produzido durante a segunda fase do projeto estabelece uma melhor ligação entre as várias cargas e o ligante, que significa menor quantidade de poros. Também é possível concluir que a quantidade de cargas utilizadas é suficiente para garantir uma boa permeabilidade ao vapor de água, assim como a qualidade do processo de secagem.

Tabela 13. Resultados do teste de permeabilidade ao vapor de água.

Característica	Form.A		Form.B		EPS
	P.7648 STD	P.7648 217024	P.7648 STD	P.7648 217024	
Permeabilidade ao vapor de água Espessura de ar equivalente - $S_d$ (m) 7 d	2,00	0,16	2,30	0,16	1,97

## 4.10 Resistência ao Impacto

De acordo com os resultados obtidos descritos na tabela 14 e ilustrados na figura 24 é possível concluir que a amostra que possui maior resistência ao impacto é a amostra fornecida pela EPS, seguida pela amostra que contém o polímero pertencente ao catálogo da Resiquímica e que possui esferas de vidro na sua formulação. Verifica-se que as formulações que não possuem esferas de vidro têm uma resistência ao impacto inferior a 40 cm, fator que se conclui ser determinante no comportamento do material. Outra das conclusões que poderá ser retirada após a análise dos resultados é a proporção das composições dos monómeros utilizadas no polímero sintetizado no âmbito da presente da tese (Pol2), uma vez que mesmo contendo esferas de vidro a amostra não cumpriu o requisito mínimo imposto pela norma para a altura da queda da esfera.

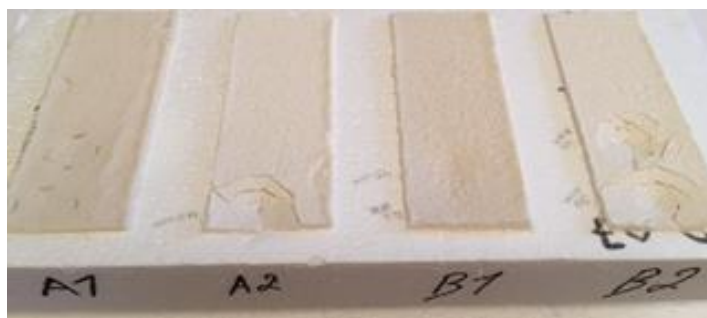


Figura 24. Ilustração do teste de resistência ao impacto.

Tabela 14. Valores obtidos do teste de resistência ao impacto.

Característica	Form.A		Form.B		EPS
	P.7648 STD	P.7648 217024	P.7648 STD	P.7648 217024	
<b>Resistência ao choque Directa (cm)</b>	<40	<40	40	<40	45

MR527

MR - Método de Ensaio Resiquímica

## 5 Conclusões

As análises efetuadas permitiram concluir que a argamassa de referência continha três monómeros diferentes, o estireno, o metil metacrilato e o acrilato de butilo. O estireno e o metil metacrilato são monómeros que pelas suas características conferem dureza ao material, propriedade atenuada pelo acrilato de butilo devido à sua maleabilidade. A conjugação da natureza e das proporções das cargas, assim como o tipo de dispersante utilizado é importante para garantir uma viscosidade ótima, aliado à capacidade que o polímero em emulsão tem de ser miscível com as cargas adicionadas, conferindo uma boa consistência à massa final. Sabendo que o resultado da determinação do teor de ligante foi de 7% a conjugação exata dos monómeros ganha especial importância dada a quantidade elevada de cargas, cerca 80%, presente na formulação.

Nos testes realizados verificou-se a pouca eficácia aquando da utilização do polímero com elevada quantidade de estireno, pois tornou a massa final pouco viscosa e pouco consistente, refletindo-se na aplicação que revelou ser bastante quebradiça. A relação mais equilibrada entre os monómeros, como é o caso da emulsão já presente no catálogo da Resiquímica, contendo apenas estireno e metacrilato de metilo, revelou ser uma solução mais eficaz originando uma massa mais consistente e uma maior resistência ao impacto.

Verificou-se também que a presença de grãos finos é bastante superior aos grãos mais grossos, conferindo uma maior área superficial, facilitando a miscibilidade entre os vários compostos, em que os grãos mais grossos são responsáveis pela rugosidade e pelo auxílio na proteção do material. As cargas identificadas são à base de carbonato de cálcio, atenuando a elevada inflamabilidade do ligante, para além da resistência mecânica que conferem.

Os resultados dos testes de absorção de água e de permeabilidade ao vapor de água permitiram verificar a qualidade da rede porosa presente no material face à argamassa padrão. Permite concluir que a escolha das cargas foi bem efetuada, assim como a definição das suas quantidades. O tipo de monómeros presentes influencia de forma determinante as propriedades após a secagem do material, e uma vez que os resultados obtidos são satisfatórios por comparação com o material de referência, comprova a eficácia dos ligantes utilizados na segunda fase do projeto. Em relação ao processo de cura, que é responsável por maximizar as reações que levam ao endurecimento, impermeabilidade e ausência de fissurações, verifica-se a validade do mesmo face aos resultados obtidos, tendo como referência a argamassa EPS.

A resistência ao impacto determina a capacidade do material em absorver a energia resultante do impacto, relacionando-se com a tenacidade, que se caracteriza pela capacidade de absorção

de energia até à fratura do material, e com a ductilidade que mede a extensão da deformação até ocorrer a fratura.

De acordo com os resultados obtidos é possível concluir que o tipo de monómeros utilizados (MMA/PS) conjugados com o reforço de cargas através da introdução de esferas de vidro produz melhores resultados (fórmula B - Polidisp 7648 STD) relativamente à capacidade de absorção de energia até ocorrer fratura. Relacionando a formulação com melhores resultados no teste ao impacto com os testes de absorção de água e de permeabilidade ao vapor, verifica-se também que maior presença de poros, uma vez que a formulação em causa tem maior facilidade na absorção da água e maior dificuldade na permeabilidade ao vapor de água, tem influência positiva no que diz respeito à resistência ao impacto.

Perante os resultados obtidos conclui-se que a fórmula B - Polidisp 7648 STD é a formulação ótima em comparação com a argamassa referência (EPS), tendo como pior desempenho a permeabilidade ao vapor de água (num ciclo de 7 dias), não sendo algo vinculativo pois, para a obtenção de classe PVA o teste deverá ter uma duração de 14 dias. Como tal, fica por esclarecer a classe PVA dos vários materiais, assim como o estudo completo da absorção cíclica da água para o ciclo de 3 dias e para o ciclo de 7 dias.

## 5.1 Limitações e Trabalho Futuro

Como trabalho futuro é proposto a avaliação com diferentes proporções de monómeros utilizados na síntese do polímero em emulsão, e alterando também o tipo e proporção de cargas utilizadas, incorporando cargas à base de vidro e avaliando o respetivo impacto na formulação final e o desempenho da mesma, numa tentativa de melhorar os testes de absorção de água, de PVA e de impacto realizados.

Propõe-se também o estudo e utilização de retardantes de fogo com o objetivo de obter a classe de reação ao fogo mais elevada possível, assim como a realização de ensaios que completem o mais possível a caracterização do comportamento mecânico do material.

O estudo específico da reologia da argamassa é outro dos temas que pode ser abordado em trabalhos futuros, assim como o fabrico em escala industrial e a devida simulação da aplicação em sistema numa fachada obtendo dados mais reais sobre o comportamento do produto final.

## 6 Referências

1. Bayer, R. . H. L. em *Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry* (Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA., 2000).
2. Branco, J. P. *Manual do Pedreiro*. (LNEC, 1981).
3. A. Moropoulou, A.B., S. A. Composite materials in ancient structures. *Cem. Concr. Compos.* **27**, 295-300 (2005).
4. Sabbioni, C.B., A.; Zappia, G. Damage on hydraulic mortars: the Venice Arsenal. *J. Cult. Herit.* **3**, 83-88 (2002).
5. Lanas, J.P.-B., J.L.; Bello, M.A.; Alvarez Galindo, J. . Mechanical properties of natural hydraulic lime-based mortars. *Cem. Concr. Res.* **34**, 2191-2201 (2004).
6. Veiga, M. R. Comportamento de argamassas de revestimento de paredes - Contribuição para o estudo da sua resistência à fendilhação. *Laboratório Nac. Eng. Civ.* (1998).
7. Benett, B. Lime Plaster and render reinforcement. *Build. Conserv. Dir.* (2002).
8. Marzo, J. . Evolucion en la fabricacion de mortero para la construccion. *Rev. Hormig.* **40**, (1997).
9. Coutinho, A. S. *Fabrico e propriedades do betão Volume I*. (1998).
10. Organization, E. M. I. Dicionário Técnico.
11. Moropoulou, A.; Bakolas, A.; Bisbikou, K. Investigation of the technology of historic mortars. *J. Cult. Herit.* **1**, 45-58 (2000).
12. Warren, J. Conservation of Brick. *Mortars, Render. Plaster*. (1999).
13. EN 998-1:2003. em *CEN* (2003).
14. EN 998-2:2003. *Specification for mortar for masonry Part 2: Masonry mortar*. (2003).
15. Falcão Bauer, L. A. *Materiais de Construção 1*. (LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora, 1994).
16. <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano3/mc2/Aulas/Aula4.pdf>.
17. <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano3/mc2/Aulas/Aula2.pdf>.
18. <http://civil.fe.up.pt/pub/apoio/ano3/mc2/Aulas/Aula1.pdf>.
19. Edmeades, Rodney M.; Hewlett, P. C. em *Cement Admixtures* (Butterworh Heinemann, 1998).
20. Ohama, Y. *Handbook of polymer modified concrete and mortars*. (Properties and Process Technology - Noyes Publications, 1995).
21. Ribeiro, C. em *Construção com novos materiais* (2006).
22. Ribeiro, M. C. dos S. New Polymer Mortar Formulations: Development, Characterization and Applications Forms. (Faculty of Engineering of University of Porto, 2006).
23. Ferreira, A. J. M. em *Apontamentos Disciplina Novos materiais* (2001).
24. *PATOLOGIAS DE SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR DO TIPO ETICS*. (2014).
25. Freitas, V. P. de. *Manual de dimensionamento e aplicação de sistemas de isolamento térmico pelo exterior do tipo ETICS*. (2011).
26. Isolamento térmico de fachadas pelo exterior. Disponível em: [http://www.ecivilnet.com/artigos/isolamento\\_termico\\_de\\_fachadas\\_pelo\\_exterior.ht](http://www.ecivilnet.com/artigos/isolamento_termico_de_fachadas_pelo_exterior.ht)

- m. (Acedido: 10.<sup>a</sup> Fevereiro 2016)
27. Freitas, V. P. de. *SISTEMAS DE ISOLAMENTO TÉRMICO PELO EXTERIOR DO TIPI ETICS*. (2015).
  28. Veiga, M.R.; Malanho, S. *ETICS e argamassas térmicas: novos desafios de desempenho e sustentabilidade*. (2006).
  29. Sistema ETICS (Capoto). (2015). Disponível em: <http://estuquesfechas.pt/site/?p=51>. (Acedido: 12.<sup>a</sup> Fevereiro 2016)
  30. *Fachadas Ventiladas - Dossier Técnico - Económico*. (2006).
  31. Sierra-Pérez, Jorge; Boschmonart-Rives, Jesús; Gabarrell, X. Environmental assessment of façade-building systems and thermal insulation materials for different climatic conditions. *J. Clean. Prod.* **113**, 102-113 (2016).
  32. SOUSA, Augusto Vaz Serra e; FREITAS, V. & Peixoto de; SILVA, J. A. R. M. da. *Manual de aplicação de revestimentos cerâmicos*. (2003).
  33. Mendes, S. *DETERMINAÇÃO DO TEOR DE LIGANTE, PIGMENTOS E CARGAS EM TINTAS AQUOSAS. DETERMINAÇÃO QUANTITATIVA DO TEOR EM DIÓXIDO DE TITÂNIO*. (2014).
  34. Laser Diffraction Particle Size Analyzers. Disponível em: <https://www.beckmancoulter.com>. (Acedido: 12.<sup>a</sup> Fevereiro 2016)
  35. *FT-IR SPECTROSCOPY*.
  36. Medeiros, A. R. B. de. Uso de ATR/FTIR e FTNIR associado a técnicas quimiométricas para quantificação de aditivos em gasolina automotiva. (Universidade de Brasília).
  37. *TÉCNICAS DE CARACTERIZAÇÃO DE REVESTIMENTOS FINOS*.
  38. Telo, J. P. *Espectroscopia*.
  39. Kantoviscki, A. R. em *Materiais Poliméricos* (2011).
  40. Passatore, C. R. *QUÍMICA DOS POLÍMEROS*. (2013).

## Anexo 1 Resultado da separação efetuada para a determinação do teor de ligante e de cargas

Teor de cargas

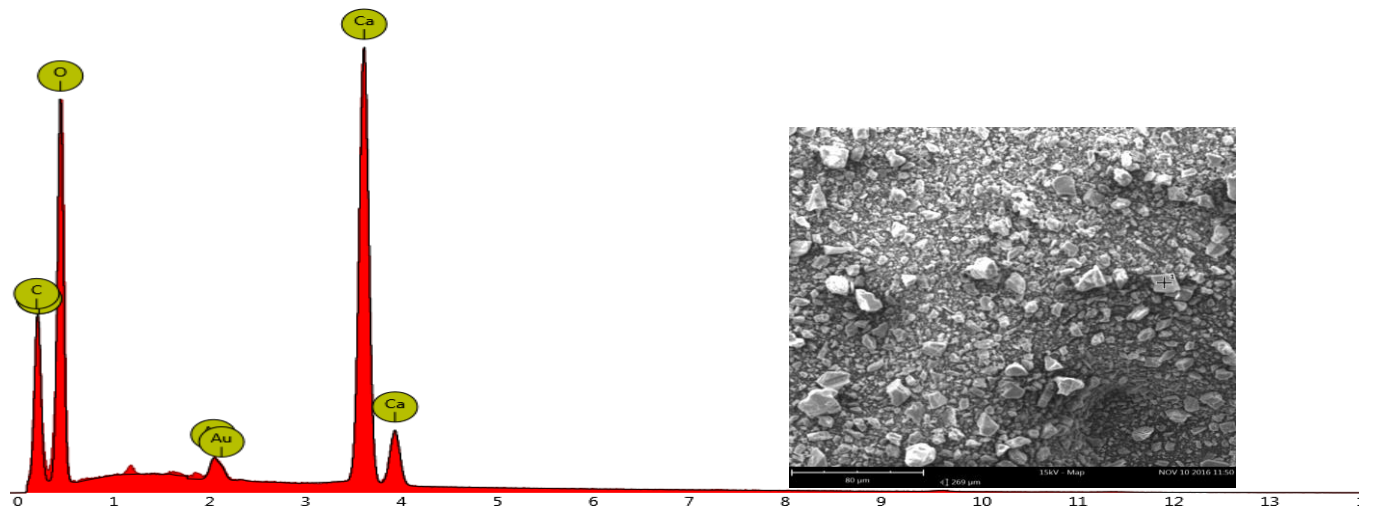


Teor de ligante

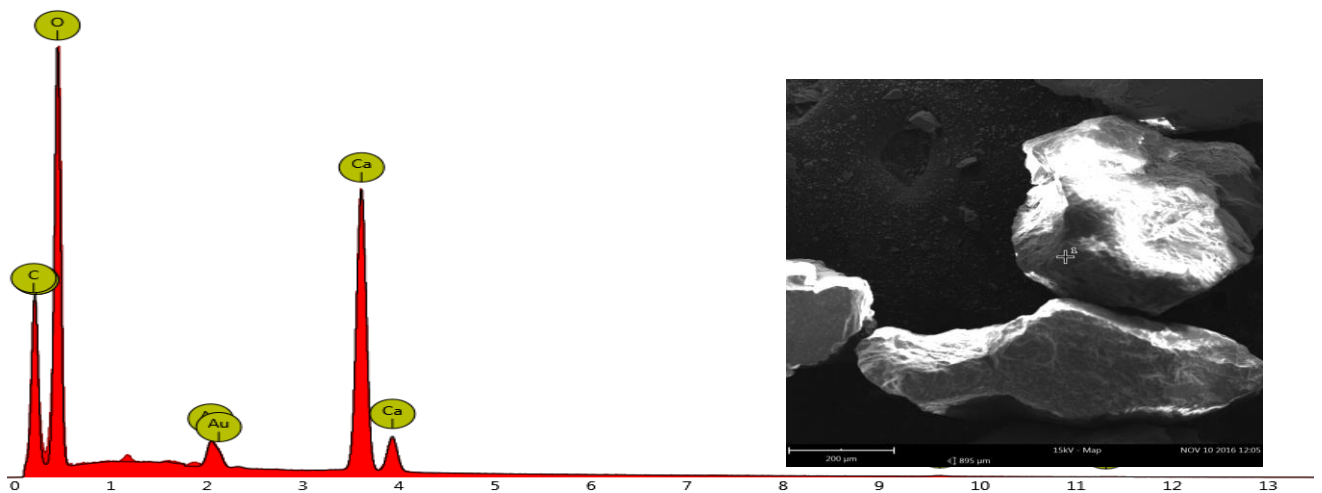


## Anexo 2 Análise SEM-EDS às Cargas utilizadas nas formulações

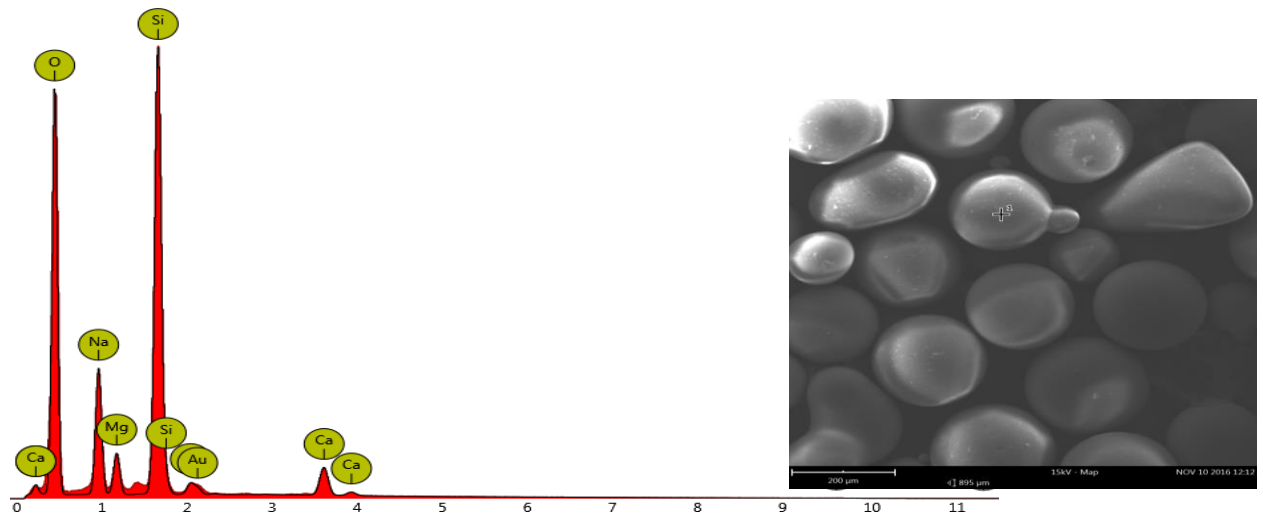
Carbonato de cálcio 5 µm



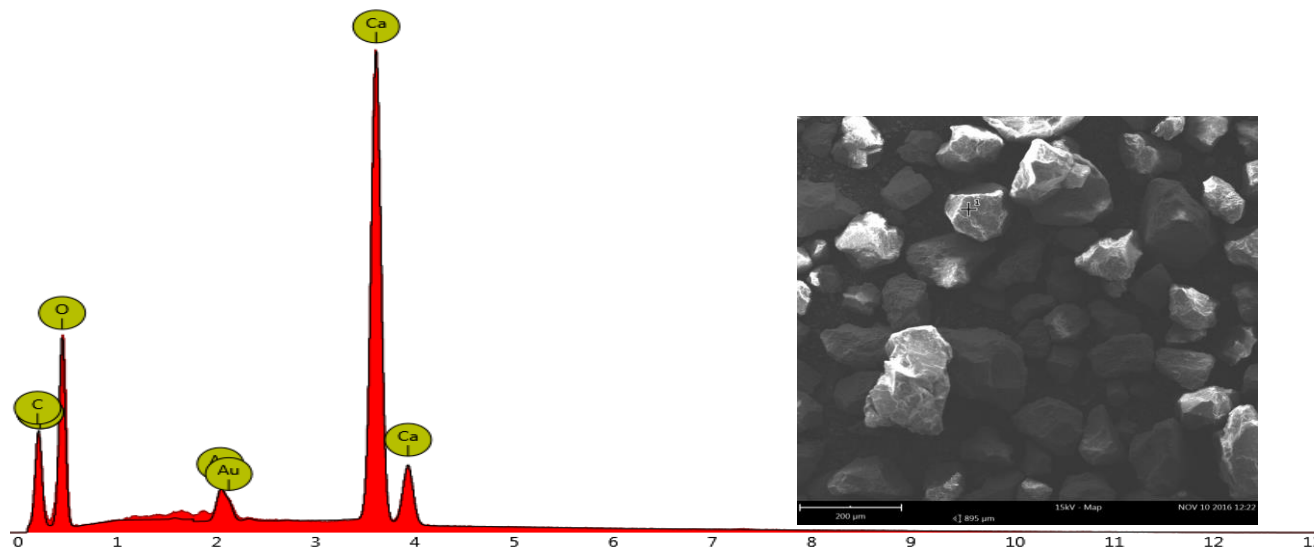
Granulado de cálcio 250 µm



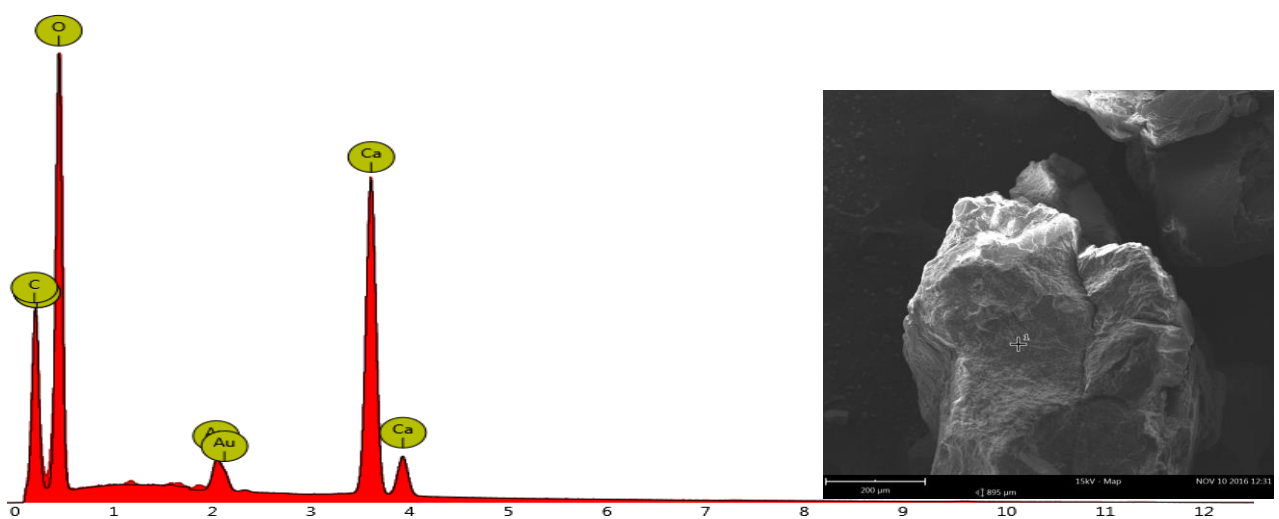
### Esferas de vidro 0,15-0,25 µm



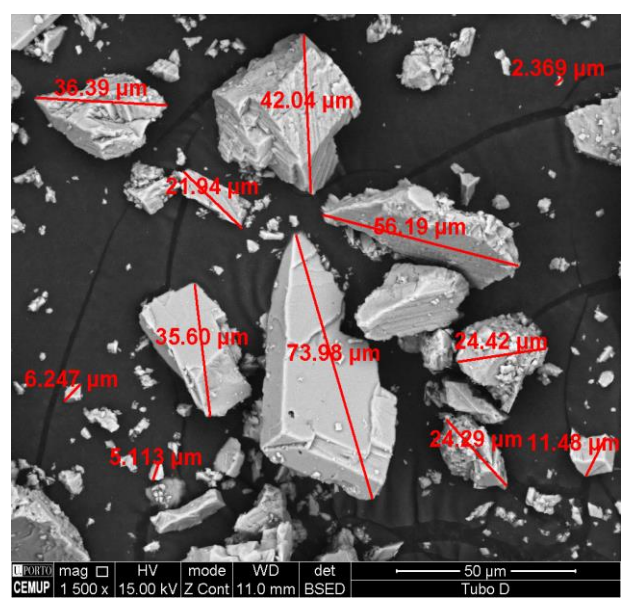
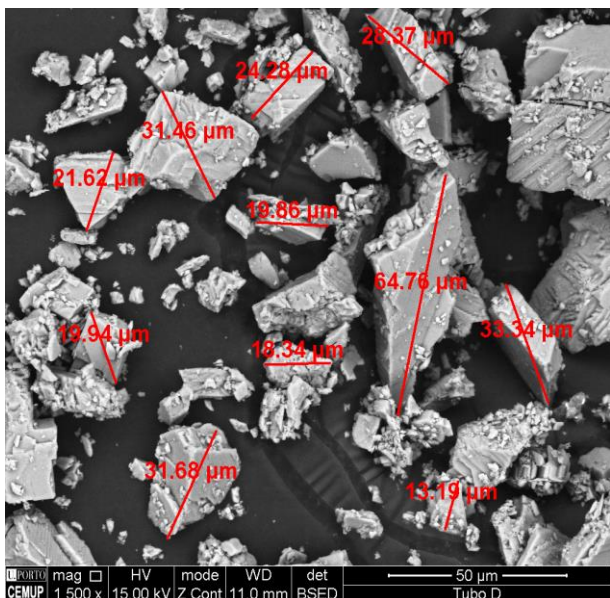
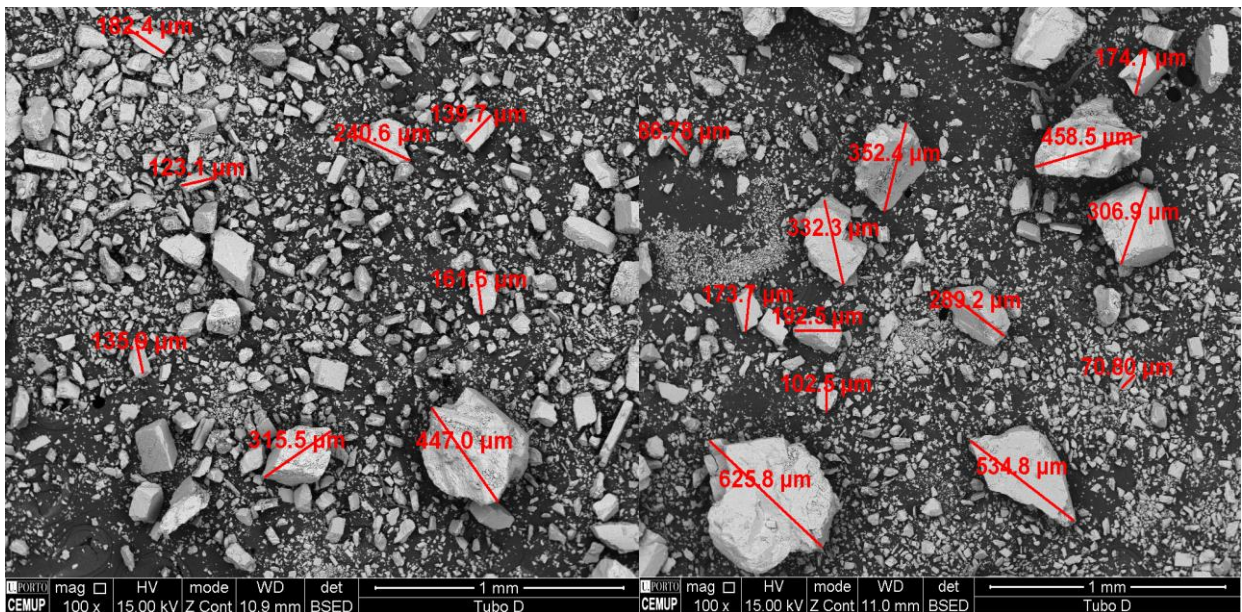
### Carbonato de cálcio 130 µm



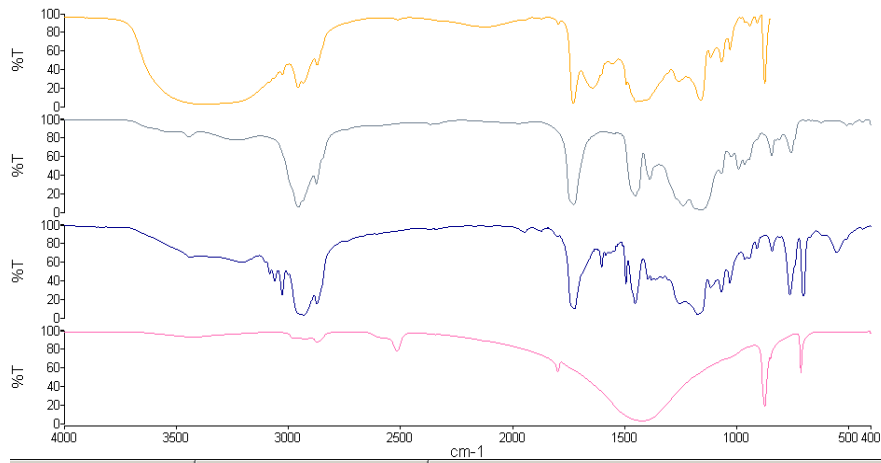
### Granulado de cálcio 500 µm



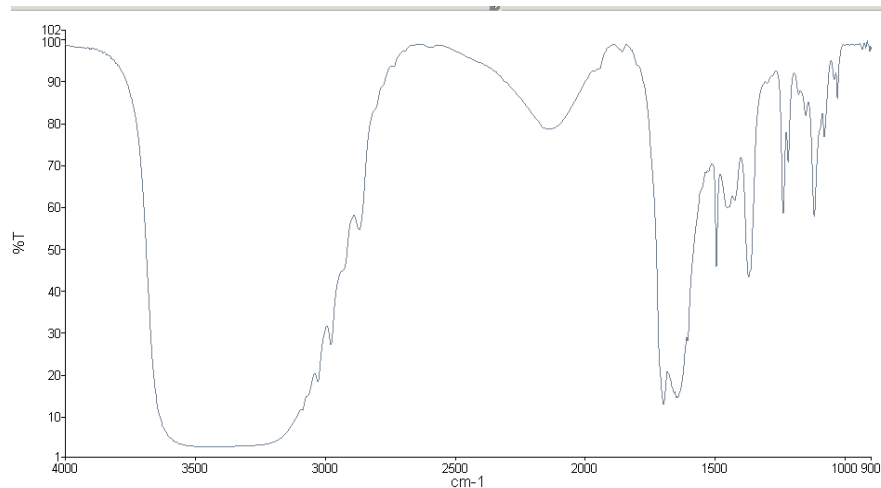
## Anexo 3 Granulometria das cargas através do software da análise de SEM-EDS



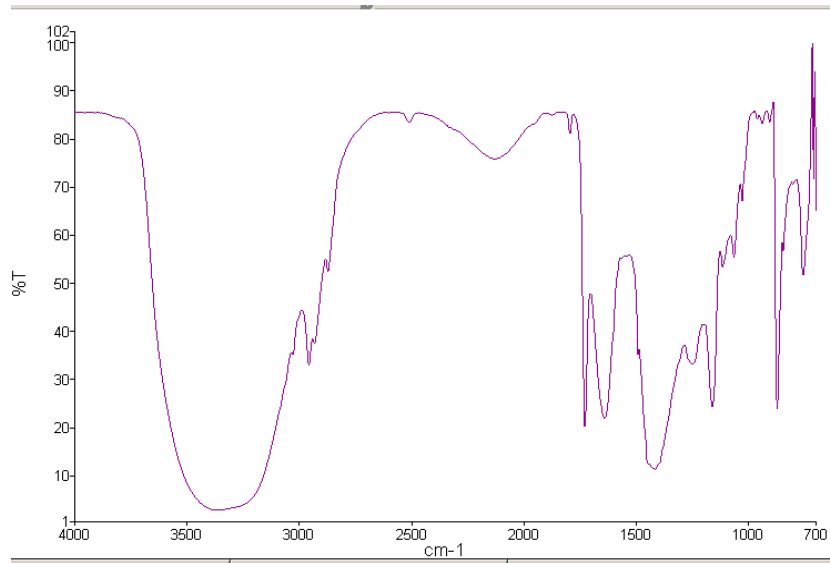
## Anexo 4 Análise FTIR



Name	Description
EPS PT 2016-082 ATR_1_1_1	EPS PT 2016-082 ATR
7778	7778, lote 20016961, filme de 100microns
Polidisp 7648 10066807	Polidisp 7648 PT2014-143
Carbonato Calcio (20016207)	Carbonato Calcio (20016207)

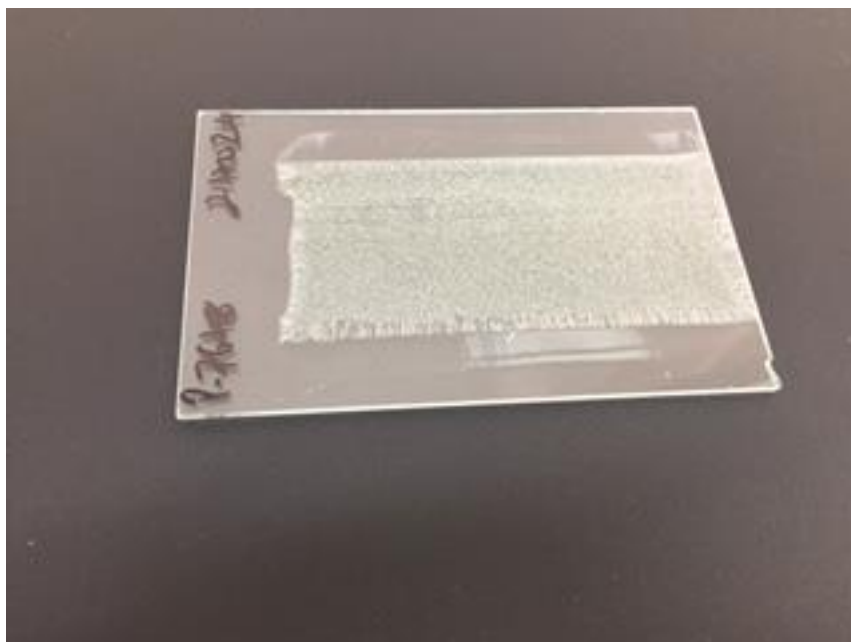


Name	Description
EPS Fase líquida C_1_1_1...	EPS Fase líquida C



Name	Description
Formulação teste A120-16 ...	Formulação teste A120-16 PT2016-082 ATR

## Anexo 5 Ilustração da medição da viscosidade, densidade e da película do polímero sintetizado



## Anexo 6 Teste de absorção à água e PVA

Amostra	Massa (g)				Absorção H <sub>2</sub> O 1d (%)	Perda de peso 1d (%)	Absorção H <sub>2</sub> O 3d (%)
	P0	A1	P1	A3			
A1/1	28,3700	36,5500	28,3700	36,5750	28,8	0,0	28,9
A1/2	26,8000	34,5290	26,8000	34,0130	28,8	0,0	26,9
<b>Média</b>	---	---	---	---	<b>28,8</b>	<b>0,0</b>	<b>27,9</b>
A2/1	23,0500	28,9800	22,9220	30,0640	25,7	0,6	31,2
A2/2	24,7900	30,9200	24,6510	32,2400	24,7	0,6	30,8
<b>Média</b>	---	---	---	---	<b>25,2</b>	<b>0,6</b>	<b>31,0</b>
B1/1	23,1600	30,7790	23,1600	30,8300	32,9	0,0	33,1
B1/2	20,1200	28,0130	20,1200	27,0340	39,2	0,0	34,4
<b>Média</b>	---	---	---	---	<b>36,1</b>	<b>0,0</b>	<b>33,7</b>
B2/1	20,6200	26,6770	20,4610	27,3100	29,4	0,8	33,5
B2/2	22,6200	29,4200	22,4600	29,7590	30,1	0,7	32,5
<b>Média</b>	---	---	---	---	<b>29,7</b>	<b>0,7</b>	<b>33,0</b>
EPS/1	21,8600	29,9250	21,8600	31,2210	36,9	0,0	42,8
EPS/2	21,0600	29,7160	21,0620	30,4720	41,1	0,0	44,7
<b>Média</b>	---	---	---	---	<b>39,0</b>	<b>0,0</b>	<b>43,8</b>

Amostra	Massa (g)		Diferença Massa 7d (g)	PVA 7d (g/(m <sup>2</sup> .h))	Sd 7d (m)
	P0	P7			
A1/1	331,6000	331,0700	0,5	0,628	1,348
A1/2	333,6500	333,3800	0,3	0,320	2,647
<b>Média</b>	<b>332,6250</b>	<b>332,2250</b>	---	<b>0,474</b>	<b>1,997</b>
A2/1	334,6900	330,0400	4,6	5,514	0,154
A2/2	337,0100	332,6200	4,4	5,205	0,163
<b>Média</b>	<b>335,8500</b>	<b>331,3300</b>	---	<b>5,360</b>	<b>0,158</b>
B1/1	333,6100	333,3300	0,3	0,332	2,552
B1/2	327,6100	327,2600	0,4	0,415	2,042
<b>Média</b>	<b>330,6100</b>	<b>330,2950</b>	---	<b>0,374</b>	<b>2,297</b>
B2/1	330,8500	326,1900	4,7	5,526	0,153
B2/2	333,9000	329,8100	4,1	4,850	0,175
<b>Média</b>	<b>332,3750</b>	<b>328,0000</b>	---	<b>5,188</b>	<b>0,164</b>
EPS/1	323,7000	323,2400	0,5	0,545	1,553
EPS/2	327,4400	327,1400	0,3	0,356	2,382
<b>Média</b>	<b>325,5700</b>	<b>325,1900</b>	---	<b>0,451</b>	<b>1,968</b>