



# **Caracterização de Revestimentos de Edifícios Antigos**

**Carlos Miguel Fernandes Xavier**

Licenciado em Engenharia Civil

Dissertação apresentada à Universidade da Madeira para cumprimento dos requisitos  
necessários à obtenção do Grau de Mestre em  
**Engenharia Civil**

**Presidente:**

***Doutor João Paulo Martins da Silva Lobo***

Professor Auxiliar da Universidade da Madeira

**Vogais:**

***Doutor João Baptista Pereira Silva***

Investigador da Unidade de Investigação GEOBIOTEC, FCT, Universidade de Aveiro

***Doutor Lino Manuel Serra Maia***

Professor Auxiliar da Universidade da Madeira

***Doutor César Esmeraldo Fernandes***

Técnico Superior do Laboratório Regional de Engenharia Civil



**Esta dissertação foi elaborada ao abrigo do protocolo UMa/LREC.**





## **Resumo**

Como é de conhecimento geral as argamassas de revestimento antigas diferem das argamassas atuais, tanto na sua produção, como nos seus constituintes e até na sua resistência e durabilidade.

O presente trabalho surge com o principal intuito de dissertar sobre a caracterização de algumas argamassas de revestimento e de enchimento antigas na Região Autónoma da Madeira.

Desta forma foram realizados vários ensaios como a difração de raios X, a análise termogravimétrica, a determinação da percentagem do resíduo insolúvel com ataque ácido e a análise granulométrica, podendo assim ficar-se com uma ideia dos seus minerais, a quantidade de carbonato de cálcio utilizada, a quantidade de material insolúvel no ácido clorídrico e a granulometria (tamanho/dimensões) das areias.

A escolha das amostras baseou-se nos critérios de maior longevidade dos edifícios, a não reabilitação destes e a possibilidade da realização do estudo dessas habitações (i.e. acessibilidade física e legal).

Quanto aos ensaios efetuados, a opção de os ter utilizado prende-se com as técnicas disponíveis no Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC).

## **Palavras-chave**

Argamassa

Carbonato de cálcio

Calcite

Ligante

Agregado



## **Abstract**

The old coating mortars differ from current mortars both in its production as in its constituent and even its strength and durability.

The primary purpose of this dissertation is the characterization of some ancient mortar coatings and fillings in the Autonomous Region of Madeira.

The samples were characterized by X-ray diffraction, thermogravimetric analysis, insoluble residue determination and aggregates particle size analysis. The results gave insights of the mineral composition, the calcium carbonate content, the amount of insoluble material after hydrochloric acid attack and the particle size distribution of the sands used.

Samples were selected based on longevity of the buildings, the non-replacement of original materials due to renovation processes and the accessibility (physical and legal) to the buildings.

The characterization tests performed were chosen based on their availability at the Regional Civil Engineering Laboratory (LREC).

## **Keywords**

Mortar

Calcium carbonate

Calcite

Ligand

Aggregate



## Agradecimentos

Ao longo da realização deste trabalho foram inúmeras as pessoas que prestaram um grande apoio quer diretamente quer indiretamente para que este pudesse ser efetuado. Desta forma, deixo o meu sentimento de gratidão às seguintes pessoas:

Em primeiro lugar ao meu orientador, o Doutor César Fernandes e à sua equipa de trabalho, a Dr.<sup>a</sup> Joana Pereira e ao Dr. Duarte Correia pelo seu constante apoio, ajuda, disponibilidade e orientação ao longo da dissertação.

Ao meu co-orientador, o engenheiro Amílcar Gonçalves pela sua ajuda e co-orientação.

Ao Laboratório Regional de Engenharia Civil (LREC) pela cedência dos recursos físicos e humanos que contribuíram para a realização deste estudo.

Aos meus amigos, tanto aos que me acompanharam ao longo da minha licenciatura e mestrado pelo apoio, estímulo e perseverança que transmitiram, bem como aos amigos que sem estarem ligados à via académica ouviram-me e apoiaram-me nas situações mais difíceis deste percurso.

Finalmente um agradecimento especial à minha família, pela paciência, apoio, encorajamento e por todos os valores que me transmitiram para poder tornar-me na pessoa que sou hoje em dia.



# Índice

Resumo .....	v
Palavras-chave .....	v
Abstract .....	vii
Keywords.....	vii
Agradecimentos.....	ix
Lista de figuras .....	xv
Lista de quadros .....	xix
Lista de abreviaturas.....	xxiii
1 – Introdução.....	1
1.1 – Objetivos e enquadramento geral.....	1
1.2 – Estrutura da dissertação.....	1
2 – Caracterização de materiais comuns utilizados em argamassas de revestimento .....	3
2.1 – Agregados.....	3
2.2 – Adjuvantes ou aditivos.....	3
2.3 – Ligantes.....	4
2.4 – Cal.....	4
2.4.1 – Cal aérea .....	5
2.4.2 – Cal hidráulica .....	7
2.5 - Cimento.....	8
2.6 - Gesso .....	9
3 – Aspectos históricos na evolução das argamassas.....	13
4 – Técnicas para a análise das argamassas .....	19
4.1 – Difração de raios X.....	19
4.2 – Análise termogravimétrica .....	20
4.3 – Resíduo insolúvel .....	22
5 – Método experimental .....	23
6 - Identificação da localização das casas .....	25
7- Casas estudadas.....	27
7.1 - Casa 1: Faial.....	27
7.1.1 - Amostragem .....	27
7.1.2 - Resultados.....	30
7.1.2.1 - Difração de raios X.....	30

7.1.2.2 - Análise termogravimétrica.....	34
7.1.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	36
7.1.2.4 - Análise granulométrica .....	37
7.2 – Casa 2: Santana .....	39
7.2.1 – Amostragem .....	39
7.2.2 – Resultados .....	41
7.2.2.1 - Difração de raios X .....	41
7.2.2.2 - Análise termogravimétrica.....	42
7.2.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	43
7.2.2.4 – Análise granulométrica.....	43
7.3 – Casa 3: São Jorge .....	45
7.3.1 – Amostragem .....	46
7.3.2 – Resultados .....	48
7.3.2.1 – Difração de raios X.....	48
7.3.2.2 – Análise termogravimétrica.....	50
7.3.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	50
7.3.2.4 – Análise granulométrica.....	51
7.4 – Casa 4: Boaventura .....	53
7.4.1 – Amostragem .....	54
7.4.2 – Resultados .....	56
7.4.2.1 – Difração de raios X.....	56
7.4.2.2 – Análise termogravimétrica.....	58
7.4.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	58
7.4.2.4 – Análise granulométrica.....	58
7.5 – Casa 5: Ponta Delgada .....	61
7.5.1 – Amostragem .....	61
7.5.2 – Resultados .....	63
7.5.2.1 – Difração de raios X.....	63

7.5.2.2 – Análise termogravimétrica .....	64
7.5.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	65
7.5.2.4 – Análise granulométrica .....	65
7.6 – Casa 6: Porto Santo – Camacha 1 .....	67
7.6.1 – Amostragem .....	68
7.6.2 – Resultados.....	70
7.6.2.1 – Difração de raios X.....	70
7.6.2.2 – Análise termogravimétrica .....	71
7.7 – Casa 7: Porto Santo – Camacha 2 .....	72
7.7.1 – Amostragem .....	72
7.7.2 – Resultados.....	74
7.7.2.1 – Difração de raios X.....	74
7.8 – Casa 8: Porto Santo – Farrobo 1 .....	75
7.8.1 – Amostragem .....	75
7.8.2 – Resultados.....	77
7.8.2.1 – Difração de raios X.....	77
7.8.2.2 – Análise termogravimétrica .....	80
7.9 – Casa 9: Porto Santo – Farrobo 2.....	81
7.9.1 – Amostragem .....	81
7.9.2 – Resultados.....	83
7.9.2.1 – Difração de raios X.....	83
7.10 – Casa 10: Porto Santo – Serra de Dentro 1 .....	84
7.10.1 – Amostragem.....	84
7.10.2 – Resultados.....	86
7.10.2.1 – Difração de raios X.....	86
7.10.2.2 – Análise termogravimétrica .....	87
7.10.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido .....	88
7.10.2.4 – Análise granulométrica .....	88
7.11 – Casa 11: Porto Santo – Serra de Dentro 2 .....	91
7.11.1 – Amostragem.....	91

7.11.2 – Resultados .....	93
7.11.2.1 – Difração de raios X.....	93
7.11.2.2 – Análise termogravimétrica.....	94
7.11.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido.....	95
7.11.2.4 – Análise granulométrica.....	95
8 – Conclusões gerais e recomendações/desenvolvimentos futuros .....	99
8.1 – Conclusões gerais .....	99
8.2 – Recomendações/desenvolvimentos futuros .....	100
9 – Bibliografia .....	103
10 - Anexos .....	105
10.1 – Anexo I – Lista da designação das abreviaturas das amostras .....	107
10.2 – Anexo II – Difractogramas.....	111
10.3 – Anexo III – Caracterização de alguns minerais e suas famílias encontrados neste trabalho.....	126
10.4 – Anexo IV – Fichas de resultados de cada amostra de cada habitação.....	135

## Lista de figuras

Figura 1 - Geometria de reflexão de raios X. Modificado a partir de Klein & Hurlbut Jr., 1999 (Cruz e Silva, 2006). .....	20
Figura 2 - Termograma tipo (Gabbott, 2008).....	22
Figura 3 - Mapa da ilha da Madeira com a localização das casas estudadas. ....	25
Figura 4 - Mapa da ilha do Porto Santo com a localização das casas estudadas. ....	25
Figuras 5 a) - d). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Faial, Maio de 2011. ....	27
Figura 6 - Amostra com referência F_PE1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior; Maio de 2011.....	28
Figura 7 – Amostra com referência F_PE1_A2; a) Face interior à vista; b) Face exterior à vista; c) Vista lateral; Maio de 2011. ....	28
Figura 8 - Amostra com referência F_PE2_A1; a) Face interior à vista; b) Face exterior à vista; c) Vista lateral com escala de dedos; Maio de 2011.....	29
Figura 9 - Amostra com referência F_PE2_A2; a) e b) Face exterior à vista; c) Lateral interior de perfil; d) Lateral interior; Maio de 2011.....	29
Figura 10 - Amostra com referência F_PI1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior de perfil; d) Lateral interior; Maio de 2011. ....	30
Figura 11 - Difrátograma da amostra F_PE1_A1 Camada 1 e Camada 2.....	31
Figura 12 - Termograma da amostra F_PE1_A1 Camada 2. ....	35
Figura 13 - Curvas granulométricas – a) amostra F_PE1_A1; b) amostra F_PE1_A2; c) amostra F_PE2_A2 e d) amostra F_PI1_A1.....	38
Figuras 14 a) - e). – Vários panoramas com diferentes orientações das fachadas do Solar do Pico do Tanoeiro, localizado em Santana, Maio de 2011.....	40
Figura 15 – Amostra com referência S_PE1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral interior com o pormenor de um fragmento de telha; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.....	40
Figura 16 – Amostra com referência S_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Laterais interiores de perfil; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.....	41
Figura 17 - Curvas granulométricas - a) amostra S_PE1_A1 e b) amostra S_PI1_A1. ....	44
Figuras 18 a) - d). – Vários planos com diferentes orientações das fachas da casa de São Jorge; c) outra perspetiva da casa com realce de um roda pé de argamassa; Maio de 2011. ....	45

Figura 19 – Amostra com referência SJ_PE1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.....	46
Figura 20 – Amostra com referência SJ_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	47
Figura 21 – Amostra com referência SJ_PI1_A2; a) Face exteriores à vista; Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral exterior com referência de dedos; Maio de 2011 .....	47
Figura 22 - Curvas granulométricas - a) amostra SJ_PE1_A1; b) amostra SJ_PI1_A1 e c) amostra SJ_PI1_A2. ....	52
Figuras 23 a) - d). – Diversas vistas com diferentes orientações das fachadas do solar da Silveira, situado na Boaventura, Maio de 2011.....	54
Figura 24 – Amostra com referência B_PE1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	55
Figura 25 - Amostra com referência B_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.....	55
Figura 26 - Amostra com referência B_PI2_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) e d) Lateral com escala de dedos; Maio de 2011.....	56
Figura 27 - Curvas granulométricas - a) amostra B_PE1_A1, b) amostra B_PI1_A1 e c) amostra B_PI2_A1. ....	60
Figuras 28 a) - f). – Vários planos com diferentes orientações das fachadas do edifício situado na Ponta Delgada, Maio de 2011.....	62
Figura 29 – Amostra com referência PD_PE1_A1; a) Face exterior à vista; Face interior à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	62
Figura 30 - Amostra com referência PD_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	63
Figura 31 - Curvas granulométricas - a) amostra PD_PE1_A1 e b) amostra PD_PI1_A1. ....	66
Figuras 32 a) - d). – Diferentes vistas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Camacha, Maio de 2011.....	67

Figura 33 - Amostra com referência PSC1_PE1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	68
Figura 34 - Amostra com referência PSC1_PE1_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	69
Figura 35 - Amostra com referência PSC1_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	69
Figuras 36 a) - d). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Porto Santo, Camacha, Maio de 2011. ....	72
Figura 37 - Amostra com referência PSC2_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior; Maio de 2011. ....	73
Figura 38 - Amostra com referência PSC2_PI1_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista, em que se nota a marcação das madeiras das paredes de tabique; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	73
Figuras 39 a) - d). – Diferentes perspetivas com diferentes orientações das fachadas da residência situada no Porto Santo, Farrobo, Maio de 2011. ....	75
Figura 40 - Amostra com referência PSF1_PE1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior de perfil; Maio de 2011. ....	76
Figura 41 - Amostra com referência PSF1_PE1_A2; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) e d) Lateral interior; Maio de 2011. ....	76
Figura 42 - Amostra com referência PSF1_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala dos dedos; d) Lateral exterior com escala dos dedos; Maio de 2011. ....	77
Figura 43 – Amostra com referência PSF1_PI1_A2; a) Face exterior à vista; Face interior à vista; c) Diversas posições das amostras; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	78
Figuras 44 a) - d). – Várias panorâmicas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Farrobo, Maio de 2011. ....	81
Figura 45 – Amostra com referência PSF2_PI1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	82
Figura 46 - Amostra com referência PSF2_PI1_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	82

Figuras 47 a) - f). – Várias perspectivas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Porto Santo, Serra de Dentro, Maio de 2011. ....	84
Figura 48 - Amostra com referência PSS1_PI1_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.....	85
Figura 49 - Amostra com referência PSS1_PI2_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) e d) Laterais interiores com escala de dedos; Maio de 2011.....	85
Figura 50 - Curvas granulométricas - a) amostra PSS1_PI1_A1 e b) amostra PSS1_PI2_A1. ....	89
Figuras 51 a) - f). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Serra de Dentro, Maio de 2011.....	91
Figura 52 - Amostra com referência PSS2_PI1_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011. ....	92
Figura 53 - Amostra com referência PSS2_PI2_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior; Maio de 2011. ....	92
Figura 54 - Curvas granulométricas - a) amostra PSS2_PI1_A1 e b) amostra PSS2_PI2_A1. ....	96

## Lista de quadros

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: F_PE1_A1, F_PE1_A2, F_PE2_A1, F_PE2_A2 e F_PI1_A1.....	32
Quadro 2 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: F_PE1_A1, F_PE1_A2, F_PE2_A2 e F_PI1_A1.....	36
Quadro 3 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: F_PE1_A1, F_PE1_A2, F_PE2_A2 e F_PI1_A1.....	36
Quadro 4 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: F_PE1_A1, F_PE1_A2, F_PE2_A2 e F_PI1_A1.....	37
Quadro 5 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: S_PE1_A1 e S_PI1_A1. ....	41
Quadro 6 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: S_PE1_A1 e S_PI1_A1. ....	42
Quadro 7 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: S_PE1_A1 e S_PI1_A1. ....	43
Quadro 8 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: S_PE1_A1 e S_PI1_A1. ....	45
Quadro 9 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: SJ_PE1_A1, SJ_PI1_A1 e SJ_PI1_A2. ....	48
Quadro 10 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: SJ_PE1_A1, SJ_PI1_A1 e SJ_PI1_A2. ....	50
Quadro 11 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: SJ_PE1_A1, SJ_PI1_A1 e SJ_PI1_A2.....	50
Quadro 12 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: SJ_PE1_A1; SJ_PI1_A1 e SJ_PI1_A2. ....	52
Quadro 13 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: B_PE1_A1, B_PI1_A1 e B_PI2_A1.....	57
Quadro 14 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: B_PE1_A1, B_PI1_A1 e B_PI2_A1. ....	58
Quadro 15 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: B_PE1_A1, B_PI1_A1 e B_PI2_A1. ....	58
Quadro 16 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: B_PE1_A1, B_PI1_A1 e B_PI2_A1. ....	59

Quadro 17 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PD_PE1_A1 e PD_PI1_A1. ....	64
Quadro 18 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: PD_PE1_A1 e PD_PI1_A1. ....	64
Quadro 19 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PD_PE1_A1 e PD_PI1_A1. ....	65
Quadro 20 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: PD_PE1_A1 e PD_PI1_A1.....	65
Quadro 21 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSC1_PE1_A1, PSC1_PE1_A2 e PSC1_PI1_A1.....	70
Quadro 22 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSC1_PE1_A1.....	71
Quadro 23 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSC2_PI1_A1 e PSC2_PI1_A2.....	74
Quadro 24 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSF1_PE1_A1; PSF1_PE1_A2; PSF1_PI1_A1 e PSF1_PI1_A2.....	79
Quadro 25 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSF1_PE1_A1.....	80
Quadro 26 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSF2_PI1_A1 e PSF2_PI1_A2.....	83
Quadro 27 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSS1_PI1_A1 e PSS1_PI2_A1. ....	86
Quadro 28 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSS1_PI1_A1 e PSS1_PI2_A1.....	88
Quadro 29 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PSS1_PI1_A1 e PSS1_PI2_A1. ....	88
Quadro 30 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: PSS1_PI1_A1 e PSS1_PI2_A1.....	90
Quadro 31 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSS2_PI1_A1 e PSS2_PI2_A1. ....	93
Quadro 32 - Teores de CaCO <sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSS2_PI1_A1 e PSS2_PI2_A1.....	94
Quadro 33 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PSS2_PI1_A1 e PSS2_PI2_A1. ....	95

Quadro 34 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras:  
PSS2\_PI1\_A1 e PSS2\_PI2\_A1. ....96



## Lista de abreviaturas

A	Argila
ATG	Análise termogravimétrica
Ar	Aragonite
APFAC	Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas de Construção
C	Calcite
CL	Cal Aérea Cálcica segundo as normas europeias
C(Mg)	Calcite Magnésiana
d	é a distância entre os planos
D	Dolomite
DL	Cal Aérea Dolomítica segundo as normas europeias
DRX	Difração de raios X
DSC	Calorimetria exploratória de diferencial
DTA	Análise térmica diferencial
DTG	Termogravimetria derivada
EGA	Análise de gás libertado
EMO	European Mortar Industry Organization
F	Feldspato
FL	Cal formulada segundo as normas europeias
G	Gesso
H	Hematite
Ha	Halite
HL	Cal hidráulica segundo as normas europeias
Hy	Hidrocalomite
ICTAC	International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry (Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimétrica)
K	Clinker segundo as normas europeias

LREC	Laboratório Regional de Engenharia Civil
Mg	Magnesite
Mh	Maghemite
MM	Massa Molar
n	número inteiro
NHL	Cal hidráulica natural
O	Olivinas
P	Plagioclases
PB	Pontos Brancos
Pi	Piroxenas
Po	Portlandite
PTN	Condições normais de pressão e temperatura
Q	Cal Viva segundo as normas europeias
Qz	Quartzo
R	Rutile
RAM	Região Autónoma da Madeira
S	Cal Apagada ou Hidratada segundo as normas europeias
Si	Siderite
TG	Termogravimetria
TMA	Termomecânica
V	Vaterite
$\theta$	ângulo de difração
$\lambda$	comprimento de onda dos raios X incidentes

# **1 – Introdução**

## **1.1 – Objetivos e enquadramento geral**

Este trabalho tem como principal objetivo a caracterização de algumas argamassas de revestimentos e enchimento em edifícios antigos construídos na Região Autónoma da Madeira (RAM).

Tendo em conta o isolamento de certas zonas das ilhas até há uns anos atrás, achou-se que era de grande interesse estudar os diferentes tipos de traços de argamassas visto os recursos serem limitados, resultantes de esse mesmo isolamento.

Caracterizou-se mineralógica e quimicamente os materiais utilizados e quantificou-se o teor de ligante nas argamassas analisadas, recorrendo a técnicas instrumentais e a métodos químicos clássicos, tais como a difração de raios X, a análise termogravimétrica, a análise química, através do resíduo insolúvel e a análise granulométrica.

Foram estudadas várias amostras provenientes de 11 casas, cinco na ilha da Madeira e seis na ilha do Porto Santo. As zonas escolhidas na ilha da Madeira incidiram mais no norte da ilha, uma vez que se trata da zona menos recuperada, sendo esses sítios: Faial, Santana, São Jorge, Ponta Delgada e Boaventura. Na ilha do Porto-Santo, foram escolhidas duas habitações de cada zona, sendo estas: Farrobo, Camacha e Serra de Dentro.

## **1.2 – Estrutura da dissertação**

De forma a simplificar a leitura e a compreensão desta dissertação decidiu-se dividir este trabalho nos seguintes capítulos:

- 1 – Introdução: O presente capítulo aborda de forma resumida a descrição da dissertação indicando os objetivos, métodos, locais de recolhas das amostras e uma breve apresentação do trabalho.
- 2 – Caracterização de materiais comuns utilizados em argamassas de revestimento: Neste capítulo define-se alguns dos materiais mais utilizados no fabrico de argamassas, define-se algumas expressões como: agregados, ligantes e adjuvantes ou aditivos e alguns casos são sugeridos as melhores opções dependendo do propósito de utilização e indica-se o processo de fabrico de alguns materiais como é caso da cal (quer aérea quer hidráulica), do cimento e do gesso.
- 3– Aspectos históricos na evolução das argamassas: Fez-se uma pequena revisão da literatura de forma a poder fazer um estudo resumido da evolução das argamassas ao longo do tempo.

- 4 – Técnicas para a análise das argamassas: Neste capítulo aborda-se as técnicas utilizadas neste trabalho (difração de raios X, análise termogravimétrica e a análise química através do resíduo insolúvel) para poder caracterizar as argamassas em estudo e como estas técnicas funcionam.
- 5 – Método experimental: Neste capítulo relata-se como foram realizados todos os ensaios, desde da recolha das amostras, até a preparação das amostras e à realização dos ensaios.
- 6 – Identificação da localização das casas: No capítulo 6 pretende-se mostrar onde foram retiradas as amostras e explicar as limitações encontradas na recolha e seleção destas.
- 7 – Casas estudadas: Provavelmente o capítulo mais importante desta dissertação, onde apresenta-se as imagens de cada habitação e das suas amostras, os seus resultados de todos os ensaios e faz-se uma leitura e compreensão desses resultados.
- 8 – Conclusões gerais e recomendações/desenvolvimentos futuros: Neste capítulo tenta-se fazer uma relação entre todas as habitações, entre as duas ilhas e realçar as amostras mais incomuns. Numa segunda parte sugere-se ideias para a continuação e alargamento deste trabalho.
- 9 – Bibliografia: Neste capítulo indica-se a bibliografia utilizada.

Anexaram-se 4 documentos a esta dissertação:

- 10.1 – Anexo I – Lista da designação das abreviaturas das amostras: Onde é explicado em forma de tabela como foram dadas as abreviaturas a cada amostra.
- 10.2 – Anexo II – Difractogramas: Neste anexo é apresentado os difratogramas de cada amostra individual, excepto o da amostra F\_PE1\_A1 que é apresentada no corpo da dissertação.
- 10.3 – Anexo III – Caracterização de alguns minerais e suas famílias encontrados neste trabalho: Neste anexo descreveu-se os minerais em forma de quadro e as famílias em texto.
- 10.4 – Anexo IV – Fichas de resultados de cada amostra de cada habitação: É o anexo mais importante pois contém as fichas resumo com todas as informações básicas de cada amostra desde do local de recolha, registo da amostra aos resultados de todos os ensaios.

## **2 – Caracterização de materiais comuns utilizados em argamassas de revestimento**

### **2.1 – Agregados**

Pode definir-se agregado como sendo um material constituído por partículas granulares provenientes de rochas, depósitos arenosos, ou por partículas artificiais fabricadas especificamente para esta função, ou ainda por partículas obtidas da reciclagem de certos materiais, que não intervêm na reação de endurecimento da argamassa (Coutinho, 1999; Martins e Assunção, 2010). Estas partículas contêm diferentes formas (roladas ou angulosas) e dimensões, geralmente inferiores a 4 mm (Paiva e Silva, 2004).

Segundo a norma NP EN 13139:2005, o termo agregado é definido como material granular utilizado na construção, podendo ser natural, artificial ou reciclado. O agregado natural é indicado como sendo agregado de origem mineral que apenas foi submetido a processamento mecânico, o agregado artificial também é definido como agregado de origem mineral, proveniente de um processo industrial que implica alterações térmicas ou outras, já o agregado reciclado é proveniente do processamento de materiais inorgânicos já usados na construção.

A areia de areeiro apresenta mais impurezas, garante uma menor resistência, sendo esta caracterizada por ser mais áspera e constituída por grãos mais angulosos, enquanto a areia de rio, não contém tanta percentagem de impurezas, concedendo maior resistência à argamassa, caracterizada por terem grãos mais rolados. As areias que transmitem melhor qualidade às argamassas são areias em que os espaços vazios entre os grãos de maior dimensão são preenchidos por grãos de menor dimensão.

A mesma norma, NP EN 13139:2005, designa agregado grosso como agregado de maiores dimensões em que  $D$  é maior ou igual a 4 mm e  $d$  é maior ou igual a 2 mm, agregado fino por agregados de menores dimensões em que  $D$  é menor ou igual a 4 mm e finos como toda a fração de agregado que passa no peneiro de 0,063 mm. Sendo  $D$  o tamanho da abertura do peneiro superior e  $d$  o tamanho do peneiro inferior.

### **2.2 – Adjuvantes ou aditivos**

Martins e Assunção (2010) definem aditivo como todo o produto não obrigatório à composição e finalidade da argamassa, que é colocado na betoneira para reagir com o ligante e o agregado. São utilizados em pequenas quantidades e bem homogeneizados e fazem realçar ou fortalecer determinadas características específicas. São usados tendo em conta a função pretendida, como melhorar a trabalhabilidade das argamassas,

modificar as suas resistências mecânicas, alterar o tempo de presa, melhorar as qualidades impermeabilizantes, etc. Na norma NP EN 934:2008 são estabelecidos os requisitos e a lista de adjuvantes em vigor.

### **2.3 – Ligantes**

A revisão da literatura é unânime quanto à definição de ligante, identificando um ligante como um produto que é caracterizado pela propriedade que tem de aglomerar, juntar, amontoar outros corpos. Este pode dividir-se em dois grupos: hidrófilos e hidrófobos (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010 e Paiva e Silva, 2004).

Os mesmos autores reconhecem um ligante hidrófilo como sendo constituído por material sólido finamente pulverizado, que tem afinidade com água e misturado com ela forma uma pasta que endurece. Os ligantes hidrófilos podem ser classificados em aéreos e hidráulicos. O ligante hidrófilo aéreo misturado com água forma uma pasta que endurece quando em contacto com a atmosfera. Por sua vez o ligante hidrófilo hidráulico misturado com água forma uma pasta que endurece, não só, quando em contacto com a atmosfera, mas também quando submerso em água, apresentando elevada resistência mecânica debaixo de água (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010; Paiva e Silva, 2004).

Um ligante hidrófobo é constituído por substâncias caracterizadas pela sua viscosidade que endurecem por arrefecimento, por evaporação dos seus dissolventes ou por reações químicas entre diferentes componentes. Neste tipo de ligante, a água não tem qualquer importância na produção e no endurecimento do aglomerante, a qual é 'repelida' após o endurecimento. Ao contrário dos outros ligantes, este apresenta-se sob a forma de líquidos viscosos ou soluções resinosas e ao endurecer formam estruturas coloidais rígidas como alcatrão, asfaltos e matérias plásticas ou sintéticas como resinas (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010).

### **2.4 – Cal**

A revisão da literatura é consensual (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010; Martins e Assunção, 2010; Paiva e Silva, 2004), ao identificar a cal como um ligante que advém da cozedura do calcário a altas temperatura, constituído essencialmente por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ). O calcário é uma das maiores e mais antigas fontes de ligantes (Coutinho, 2006; Martins e Assunção, 2010).

A norma NP EN 459:2011 indica que a cal é composta por óxidos de cálcio e óxidos ou hidróxidos de cálcio e magnésio obtidos por decomposição térmica de jazidas de carbonato de cálcio ou jazidas de carbonato de cálcio e magnésio. A cal de construção é composta por duas famílias: a cal aérea e a cal com propriedades hidráulicas.

Segundo Martins e Assunção (2010), as cais aéreas são obtidas através de calcários puros ( $\text{CaCO}_3$ ), com percentagem de impurezas inferiores a 5%, já as cais hidráulicas são obtidas a partir de calcários margosos, com teores de argila entre 5% a 20% e através das margas calcárias, com percentagem de argila entre 20% e 40%, temos os cimentos naturais.

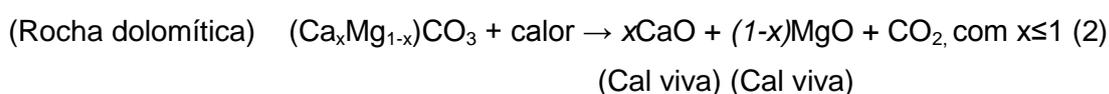
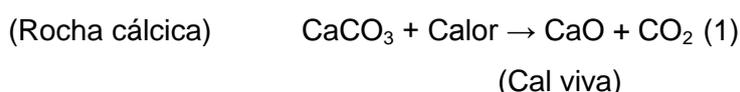
#### 2.4.1 – Cal aérea

Coutinho (2006), Martins e Assunção (2010) e Paiva e Silva (2004) referem que as cais aéreas podem ser cálcicas e dolomíticas. Esta separação dá-se devido ao facto do magnésio aparecer muitas vezes associado ao calcário sendo frequente encontrar na natureza calcários com certas percentagens de dolomite,  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ . De acordo com Coutinho (2006), uma cal aérea cálcica é uma cal constituída essencialmente por óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), recebendo a sigla CL, segundo a norma NP EN 459:2011, ou dolomítica quando é constituída por óxido de cálcio e óxido de magnésio, sendo atribuída a sigla DL.

Quanto ao teor de impurezas, temos cais gordas ou magras. As cais aéreas gordas são a resultante da calcinação de calcários praticamente puros com teores de impureza não superiores a 1% e são caracterizadas pela sua plasticidade (são macias e de fácil trabalhabilidade) e apresentam cor branca. As cais aéreas magras são formadas pela calcinação de calcários com teores de impureza de 1 a 5%, não são tão macias nem são de tão fácil trabalhabilidade e apresentam uma tonalidade acinzentada. Ambas têm a mesma reação de presa (Coutinho, 2006; Martins e Assunção, 2010; Martins e Paiva, 2010).

Com a cozedura do calcário a temperaturas entre 800 e 1000 °C, dá-se a reação de calcinação, que é uma reação endotérmica, obtendo como produto a cal viva (*quicklime*), designada pela norma NP EN 459:2011 pela sigla Q, que é essencialmente óxido de cálcio (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010; Paiva e Silva, 2004). De acordo com Paiva e Silva (2004) quando o material não é puro, a temperatura necessária para a decomposição do carbonato de cálcio pode ser inferior. Por exemplo, no caso de rochas dolomíticas a temperatura situa-se entre 400°C e 480°C.

Calcinação



A cal viva apresenta grãos de formato similar aos da rocha original, de cor branca, e não é usada diretamente na construção, pois é muito instável, sendo o seu tratamento perigoso porque liberta uma enorme quantidade de calor, quando em contacto com a água que pode queimar. Necessita, assim, de ser hidratada ou extinta, por imersão, aspersão, fusão em autoclaves ou de forma espontânea. As formas mais utilizadas são a imersão e a aspersão (Martins e Paiva, 2010).

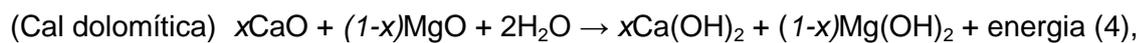
A imersão consiste em mergulhar a cal viva em água obtendo uma pasta e com a aspersão borrafa-se a cal viva com água (apenas a necessária para sua hidratação) obtendo também uma pasta (Coutinho, 2006).

O óxido de cálcio (CaO) e o óxido de magnésio (MgO) reagem com a água formando hidróxido de cálcio (Ca(OH)<sub>2</sub>) e hidróxido de magnésio (Mg(OH)<sub>2</sub>), respetivamente (Paiva e Silva, 2004).

#### Reação de Hidratação



(Cal apagada)



com  $0 < x < 1$

(Cal apagada) (Cal apagada)

Trata-se de uma reação exotérmica, com libertação de grande quantidade de calor (Martins e Paiva, 2010). A cal apagada ou hidratada (*hydrated lime*), designada pela sigla S, segundo a norma NP EN 459:2011, apresenta uma estrutura sólida, de cor branca (cal branca) ou de cor mais escura (cal parda ou preta) e é misturada com água e areia para a confeção de argamassas (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010).

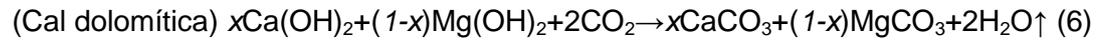
O seu endurecimento faz-se por dois processos:

- i) por evaporação da água em excesso, ficando esta resistente ao tato mas marcável com a unha;
- ii) por recarbonatação. A recarbonatação baseia-se na reação de carbonatação em que o hidróxido de cálcio e hidróxido de magnésio reagem com dióxido de carbono presente na atmosfera (daí a designação de cal aérea), obtendo-se carbonato de cálcio e carbonato de magnésio, respetivamente. Trata-se de uma reação lenta, podendo levar anos e depende da temperatura, da estrutura porosa e da humidade da pasta (Coutinho, 2006).

Reação de Carbonatação



(Carbonato de cálcio)



com  $0 < x < 1$

(Carbonato de magnésio)

#### 2.4.2 – Cal hidráulica

Como já foi referido a cal hidráulica provém da calcinação de calcários margosos à temperatura de cerca de 1000°C, segundo Martins e Paiva (2010) e Coutinho (2006) e entre os 1200 e os 1500°C de acordo com Martins e Assunção (2010).

A norma NP EN 459:2011 define cal com propriedades hidráulicas como sendo cal de construção essencialmente composta por hidróxido de cálcio, silicatos de cálcio e aluminatos de cálcio e que quando misturada ou imersa com água tem a propriedade de fazer presa e endurecer, fazendo parte da reação o dióxido de carbono atmosférico. Divide em três subfamílias cal hidráulica natural (NHL), cal formulada (FL) e cal hidráulica (HL).

Coutinho (2006) refere que entre 500 e 700°C dá-se a desidratação da argila. Aos 850°C o carbonato de cálcio decompõe-se em cal viva e em dióxido de carbono (reação de calcinação) (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010):



Coutinho (2006) e Martins e Paiva (2010) mencionam que perto dos 1000°C dá-se a decomposição da argila, que contém aluminatos e silicatos, que por sua vez, reagem com o óxido de cálcio formando aluminatos de cálcio e silicatos de cálcio:



Coutinho (2006) denota que o produto final da cozedura apresenta-se em pedaços de várias dimensões, constituídos por uma mistura de silicatos de cálcio, aluminatos de cálcio, cal viva (mais de 3%, sendo frequente os 10%)<sup>1</sup> e um pó de silicato bicálcico, formado por pulverização durante o arrefecimento (657°C).

---

<sup>1</sup> Porém Martins e Paiva (2010) refere que a cal viva apresenta-se em porções superiores a 10%.

<sup>2</sup> Os grappiers são grãos de material mais aquecido, de cor escura, ricos em silicatos bicálcicos e

Esta cal necessita de ser extinta para eliminar a cal viva, como no caso da cal aérea, para pulverizar toda a cal hidráulica e para hidratar o óxido de cálcio transformando-o em hidróxido, evitando possíveis expansões do material. Este processo de extinção é efetuado lentamente a temperaturas entre 130 e 400°C, sendo necessário ser mais prudente do que no caso da cal aérea se houver um excesso de água, esta pode reagir com os aluminatos e silicatos e não apenas com óxido de cálcio. Isto é um processo lento que pode demorar até três semanas, obtendo-se, no final, pó de silicatos e aluminatos de cálcio, hidróxido de cálcio, cal apagada e grappiers<sup>2</sup> (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010).

Em seguida é necessário separar os grappiers do pó e proceder a sua moagem. A cal hidráulica é obtida com a junção do pó com os grappiers moídos (Coutinho, 2006).

## **2.5 - Cimento**

Como já podemos verificar o cimento natural também deriva da calcinação do calcário, mas neste caso, são necessários calcários com mais percentagem de argila, entre 20 a 40% (marga calcária) e de elevar a temperatura, que segundo Coutinho (2006) deve se situar entre os 1050°C e os 1300°C<sup>3</sup>, geralmente em fornos rotativos.

A norma NP EN 197:2012 define o cimento como um ligante hidráulico, material inorgânico finamente moído que quando misturado com água, devido a reações e processos de hidratação forma uma pasta que endurece e faz presa, e depois do seu endurecimento, mantém a sua resistência mecânica e estabilidade mesmo debaixo de água.

Devido à dificuldade de encontrar margas calcárias, com a composição desejada, tem de se recorrer a misturas artificiais para atingir a composição adequada. Assim se faz a distinção entre cimentos naturais e cimentos artificiais (Martins e Paiva, 2010), isto é, os cimentos naturais são obtidos a partir de margas calcárias com a composição pretendida e os cimentos artificiais são obtidos através de misturas específicas para obter a composição desejada. Os cimentos mais utilizados são os cimentos artificiais (Martins e Paiva, 2010).

---

<sup>2</sup> Os grappiers são grãos de material mais aquecido, de cor escura, ricos em silicatos bicálcicos e com propriedades idênticas às dos cimentos. São comercializados como cimento grappier (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010).

<sup>3</sup> A mesma autora no mesmo documento, refere que a temperatura é de 1450°C, valor que é confirmado por Martins e Paiva (2010); Martins e Assunção (2010), por sua vez, afirmam que a temperatura deve variar entre os 1400 e 1500°C.

A estas temperaturas, as matérias-primas reagem, sendo auxiliadas pela fase líquida derivada da fusão de 20% da matéria-prima, dando origem a novos compostos, um processo denominado clínquerização. Ao arrefecerem, estes compostos aglomeram-se em pequenos pedaços de 2 a 20 mm de dimensão, chamados de clínquer, designados pela sigla K segundo a norma NP EN 934:2012. Os clínqueres são arrefecidos e moídos juntamente com uma pequena percentagem de gesso até obter-se um pó de granulometria muito fina, o cimento (Coutinho, 2006).

Nos tempos de hoje pode-se adicionar outros materiais em diferentes proporções, quer nos centros de produção de cimento, quer em obra obtendo vários tipos de cimento, como o cimento Portland composto, cimento de alto-forno, entre outros (Coutinho, 2006).

## 2.6 - Gesso

O gesso apresenta-se na natureza sob a forma de anidrite (sulfato de cálcio –  $\text{CaSO}_4$ ) ou sob a forma de pedra de gesso (sulfato de cálcio dihidratado –  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ), podendo conter certas impurezas (Coutinho, 2006; Martins e Paiva, 2010).

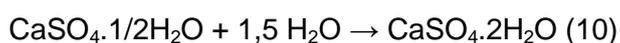
Submetendo a pedra de gesso a um tratamento térmico em fornos especiais, em geral rotativos, obtemos vários compostos:

- Segundo Coutinho (2006), no intervalo compreendido entre 130 a 160°C dá-se uma grande parte da desidratação da pedra de gesso, perdendo 1,5 moléculas de água por unidade de fórmula, formando-se sulfato de cálcio semi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ), conhecido como gesso de Paris, gesso para estuque ou gesso calcinado. Já Martins e Paiva, 2010 indicam a mesma reação, mas num intervalo de temperaturas entre 150 a 180° C. Acrescentam, também, que pulverizando este produto obtém-se o gesso mais usual. Branco (1981), indica um intervalo de temperaturas mais alargado (110 a 200°C) e refere que se obtém um gesso semi-hidratado de presa rápida;
- Entre os 180 a 250° C dá-se a desidratação completa, perdendo-se 0,5 moléculas de água por unidade de fórmula e originado anidrite solúvel ( $\text{CaSO}_4$ ) de presa rápida (Martins e Paiva, 2010). Coutinho (2006) alarga o intervalo de temperatura (170 a 280°C) e refere que, na presença de água, volta a transformar-se no gesso de Paris, gesso para estuque ou gesso calcinado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ );
- Entre 400 e 600°C (ou 500 e 700°C, de acordo com Branco (1981)) obtém-se a anidrite insolúvel, ou seja, uma anidrite que não faz qualquer tipo de reação com a água, não ganhado presa (Coutinho, 2006 e Martins e Paiva, 2010);
- O gesso hidráulico é formado entre os 900 e os 1200°C, trata-se de uma anidrite de presa lenta (Martins e Paiva, 2010). Branco (1981) (refere

temperaturas entre os 800° e os 1000°C) afirma que o resultado é um gesso hidráulico com grande resistência e com inúmeras aplicações. Por sua vez Coutinho (2006) menciona que aos 1100°C origina-se o gesso para pavimentos, uma anidrite de presa lenta, com superior resistência e dureza e inferior porosidade e sensibilidade à água que o gesso de Paris, gesso para estuque ou gesso calcinado.

O gesso usado na construção, gesso comercial, é essencialmente uma mistura com aproximadamente 60 a 70% de sulfato de cálcio semi-hidratado ( $\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) e complementando com anidrite ( $\text{CaSO}_4$ ), podendo conter impurezas e adjuvantes. Porém um estudo efetuado pelo LNEC concluiu que em Portugal o gesso apresenta um teor de sulfato de cálcio semi-hidratado na ordem dos 77 a 97% (Coutinho, 2006 e Martins e Paiva, 2010).

A presa do gesso faz-se por reação inversa à do seu fabrico, ou seja quando os sulfatos de cálcio hemi-hidratado e anidro se misturam com a água e voltam a originar sulfato de cálcio bi-hidratado, como exemplifica a seguinte reação:



Trata-se de uma reação exotérmica, expansiva, que provoca o aparecimento de cristais que são responsáveis pela coesão do conjunto (Coutinho, 2006 e Martins e Paiva, 2010).

Coutinho (2006) e Martins e Paiva (2010) são unânimes quanto ao listar os vários fatores que afetam a presa e o endurecimento do gesso, nomeadamente:

- a natureza dos conjuntos desidratados produzidos pela temperatura e tempo de calcinação, como foi visto atrás;
- a finura, quanto mais moído estiver o gesso, mais rápida será a sua presa e maior será a sua resistência, devido a ter uma maior superfície específica;
- a quantidade de água de amassadura, que influencia negativamente a presa e endurecimento, quer em falta, quer em demasia. Em excesso, levará a um maior tempo de presa, se utilizarmos apenas a quantidade mínima, terá uma presa demasiado rápida, dificultando o manuseamento da argamassa, logo na prática se utiliza uma quantidade maior de água;
- a presença de impurezas, o que provoca o aumento de tempo de presa e endurecimento;
- a presença de adjuvantes, neste caso podem ser retardadores ou aceleradores dependendo do tipo de adjuvante utilizado e função pretendida.

A resistência mecânica do gesso não depende diretamente da quantidade de água de amassadura, mas sim da quantidade de água embebida, ou seja a quantidade de água existente na rede porosa e que não foi necessária na formação do sulfato de cálcio di-hidratado  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ . Desta forma a resistência do gesso vai aumentando conforme esta água embebida vai evaporando.

Devido ao facto de presa do gesso se dar com um acréscimo de volume, torna-o um excelente material para enchimento de moldes, pois reduz em grande quantidade o número de falhas dentro destes (Coutinho, 2006 e Martins e Paiva, 2010), mas por outro lado não é aconselhado o seu uso em argamassas de assentamento, o que levaria a deformações e impulsos comprometendo a segurança da estrutura (Martins e Pereira, 2005).

Depois de endurecido e se em contacto com a água este pode reduzir a sua resistência à compressão até 1/4 ou 1/6 da inicial. O que se conclui é que este não oferece resistência à humidade, podendo decompor-se, não sendo, por isso, indicada a sua utilização no exterior (Coutinho, 2006 e Martins e Paiva, 2010).



### 3 – Aspetos históricos na evolução das argamassas

Desde do início dos tempos que o Homem teve a necessidade de recorrer a abrigos, quer devido ao clima, quer devido a ataques de outras espécies ou mesmo de outros seres humanos e até como uma forma de melhorar a qualidade de vida. Esses abrigos começaram por ser em grutas, por baixo ou em cima de árvores, cabanas improvisadas por ramos entrelaçados, por sobreposição de pedras e por mistura dos vários materiais disponíveis (Almeida, 2010).

A argila terá sido um dos primeiros ligantes a ser utilizado na produção de argamassas. O ser humano começou por usar finas camadas de argila seca e depois uma pasta de argila molhada com a função de minimizar as fendas entre os materiais utilizados. Há cerca de 8 mil anos, começaram a utilizar tijolos de adobino<sup>4</sup> ou pedras utilizando argamassas de argila para sua fixação (Almeida, 2010 e Paulo, 2006). Segundo Veiga (2009) foram encontrados vestígios de argamassas de origem argilosa na Turquia referentes ao ano 6000 a.C.. Guerreiro e Silva (2006) evidencia a utilização destas argamassas no Egipto com a finalidade de unir tijolos e por sua vez o gesso para unir blocos de rochas.

O Gesso, além de terem sido encontrados sinais no Egipto, foi encontrado também em outros países de médio oriente, no norte da Alemanha, datados da idade média e em catedrais góticas de Paris, França, sendo encontrado mais em zonas secas devido à sua fraca resistência à água (Veiga, 2009). Segundo Guerreiro e Silva (2006), algumas civilizações utilizavam as argamassas de gesso como lubrificante em vez de fixante na colocação de blocos de rocha, aumentando a mestria do encaixe. Veiga (2009) refere também a utilização do gesso na Turquia, em Çatal Hüyük, por volta de 8000 a 7000 a.C. como reboco de paredes.

Segundo Almeida (2010), com a invasão Árabe sobre a península ibérica, a partir do século VIII, estes influenciaram as argamassas ocidentais com a introdução do gesso. Por volta desta altura criou-se uma argamassa característica desta zona chamada de trabadillos. Trata-se de uma argamassa constituída por uma proporção de gesso, cal viva, areia calcária e aditivos tais como gorduras animais, ceras, resinas e azeite. Era muito usada em juntas, estuques e rebocos tanto para interiores como para exteriores, demonstrando desta forma que os árabes possuíam técnicas de impermeabilização do

---

<sup>4</sup> Os tijolos de adobino eram constituídos por terra argilosa amassada com água e ervas secas sendo posteriormente seca ao sol (Almeida, 2010 e Paulo, 2006).

gesso, impedindo a dissolução dos sulfatos em água (Almeida, 2010 e Alvarez et al., 2005).

Segundo certas bibliografias, a cal começou a ser usada de forma muito primitiva há 10 mil anos atrás, no paleolítico (Almeida, 2010; Alvarez et al., 2005; Margalha, 2007; Sousa, 2010). Veiga (2009) diz ainda que existe uma cal no piso de um terraço na Turquia cuja data de construção presume situar-se entre 12000 a 5000 a.C., já Margalha, 2007 faz referência a um estudo que comprova a sua utilização de cal em pavimentos no mesmo sítio, mas com datas prováveis de 10000 a 8000 a.C..

Foram encontrados vestígios de uma técnica mais evoluída na Babilónia, com cerca de 6000 anos, em que utilizavam cal, gesso, areia, pedras, fragmentos de tijolo e água que conseqüentemente dava maior segurança aos edifícios, chegando a durarem séculos (Almeida, 2010).

No Egipto, apesar de ser comum a construção de pedra sobre pedra sem o uso de argamassas, na altura de 4000 a 2000 a.C., encontra-se sinais de estuque nas pirâmides (Margalha, 2007; Paiva e Silva, 2004).

Também em Khafaje, Mesopotâmia encontrou-se destroços de um forno que supostamente seria utilizado para fabricar cal (Guerreiro e Silva, 2006).

Pensa-se que os gregos (ca. 800 a.C.), devido ao seu empenho em quererem construir obras perduráveis e à sua arquitetura monumental tornaram-se nuns dos grandes impulsionadores no desenvolvimento de materiais e técnicas no ramo das argamassas. Foram os primeiros a utilizar a cal como argamassa de revestimento; inicialmente, faziam uma mistura de cal com areia, mas com o tempo adicionaram a pedra de Santorini (pozolana natural, rica em sílica) obtendo um ligante hidráulico em que a sua principal característica é a de ganhar presa debaixo de água. Porém a sua utilização na Grécia foi limitada, pois nesta altura era preferível a técnica de construção coluna-lintel, onde não era aplicado qualquer tipo de ligante (Margalha, 2007; Paiva e Silva, 2004).

Entre 300 a.C. e 500 d.C., os romanos foram os “grandes engenheiros da antiguidade” ao difundirem as suas grandiosas obras pelo extenso império e inovando inúmeras técnicas de construção, como o arco de volta perfeita, a abóbada e a cúpula, produzindo gigantescos anfiteatros, longos aquedutos, basílicas entre outras construções (Margalha, 2007; Paiva e Silva, 2004).

No tempo do império romano, registou-se uma erupção vulcânica em Pozzuoli, Nápoles o que contribuiu para que existisse uma certa abundância de pozolanas naturais, reforçando, assim, a utilização das cinzas (pozolanas) no fabrico de argamassas (Sousa, 2010).

Com a junção de pozolanas antes do cozimento da cal obtiveram argamassas com grande durabilidade. Adicionavam também aditivos e adjuvantes às argamassas, sendo estes: sabões, resinas, proteínas, cinzas e até sangue, leite e banha obtendo uma certa coloração, melhor trabalhabilidade, maior coesão, impermeabilização, resistência aos gelos e degelos e conseqüentemente melhores resultados finais (Almeida, 2010; Paulo, 2006). Segundo Almeida (2010), atualmente conhece-se cerca de duzentos e quarenta aditivos orgânicos utilizados pelos romanos. Quanto a aditivos inorgânicos, juntamente com a cal acrescentavam areia vulcânica ativa, pozolana artificial proveniente do barro moído, pó de telha e argila caolítica calcinada aproximadamente a 800° C.

A utilização de argamassas como revestimento proporcionou uma escolha menos rigorosa de pedras, pois com os revestimentos conseguiam obter melhores acabamentos disfarçando os defeitos deixados pelas pedras irregulares (Margalha, 2007; Paiva e Silva, 2004).

Estas argamassas sofreram imensas perturbações quer climáticas, quer mecânicas, mas em muitos casos resistiram e chegaram ao nosso tempo.

Almeida (2010) e Sousa (2010) referem que após os gloriosos tempos do império romano, deu-se uma perda da qualidade das argamassas, que persistiu durante a idade média sendo justificado pela crise financeira vivida na época e ao desconhecimento técnico. As argamassas desse período eram constituídas à base de areia e argila, uma vez que o processo de preparação da cal era mais oneroso.

Por sua vez Guerreiro e Silva (2006) indicam que na idade média eram utilizados mais calcários impuros oriundos de pedreiras selecionadas, que possuíam a característica de endurecer rapidamente debaixo de água, sendo pouco usual a adição de materiais pozolânicos.

Já Veiga (2009) enuncia que entre a idade média e a idade moderna o principal ligante era a cal área. Reforça ainda a ideia dizendo que, desde o império romano até aos séculos XVI-XVII, a tecnologia das argamassas de revestimento não difere muito.

Guerreiro e Silva (2006) enunciam que os tratados do renascimento apontam para um retorno às técnicas antigas de preparação e seleção de materiais para as argamassas, dando especial ênfase à cal escura (cal hidráulica), substituindo os materiais pozolânicos, alterando superficialmente a razão entre ligante/agregado e suas técnicas de aplicação. Referem ainda que a literatura Iluminista e Neoclássica do século XVIII sugerem também o regresso às técnicas antigas.

No sul de Portugal, a utilização de cal como revestimento de paredes deve-se muito à ocupação muçulmana que prevaleceu durante cerca cinco séculos nesta zona. A cal era utilizada quer como pintura (dai o hábito de cair anualmente as casas que ainda

hoje permanece em algumas povoações), quer como ligante de argamassas (Margalha, 2007). Este hábito cair as casas também foi trazido para as ilhas, nomeadamente, a da Madeira, a de Santa Maria, a de São Miguel, a da Graciosa e a da Terceira.

No século XVIII apareceu um novo material, intitulado erradamente por “cimento romano”, pois tratava-se de uma cal. John Smeaton, em 1756, a partir da calcinação dum calcário com uma certa percentagem de argila descobre a cal hidráulica (Margalha; Paiva e Silva, 2004).

Por sua vez Veiga (2009) indica que a cal hidráulica foi descoberta no século XVI, mas só nos séculos XVIII e XIX começou a ser mais utilizada.

James Parker, em 1793 decidiu elevar as temperaturas usadas por Smeaton na calcinação de calcários com percentagens de argila entre 20 a 40% obtendo um cimento hidráulico natural, em que as suas propriedades variavam muito devido ao facto das porções de calcário e argila serem irregulares, pois são feitas pela própria natureza (Paiva e Silva, 2004).

Vicat foi o descobridor do cimento artificial entre 1812 a 1818, criando-o a partir de misturas sintéticas de calcário e argila, cozido a 1000°C (Guerreiro e Silva, 2006; Margalha, 2007; Paiva e Silva, 2004)

O cimento portland apareceu em 1824 graças a Joseph Aspdin, que o criou aquecendo uma mistura previamente definida de calcário e argila a uma temperatura de cerca de 1400° C (Guerreiro e Silva, 2006; Paiva e Silva, 2004).

Segundo Almeida (2010), Joseph Aspdin em conjunto com o seu filho patentearam o cimento portland dando-lhe esse nome devido à sua cor ser semelhante à da pedra da ilha Portland. Eles não revelaram o seu segredo, que não era mais que o aquecimento dos fornos que lhes permitia temperaturas mais elevadas no processo de cozedura. Mas em 1853, o cimenteiro Emile Dupon e o químico Charles Demarle, obtiveram uma boa pasta, usando moinhos verticais e água, que após a secagem e cozedura no forno era transformada em cimento portland, acabando com a exclusividade britânica.

Este novo cimento difundiu-se rapidamente pelos séculos XIX e XX, devido às suas propriedades como maior resistência, redução do tempo de presa, alto grau de plasticidade, necessidade de menor espaço de estaleiro, de menos mão-de-obra, resultando num encurtamento do tempo das obras, tornando-o num material mais competitivo e económico (Almeida, 2010; Guerreiro e Silva, 2006; Paiva e Silva, 2004; Sousa, 2010).

A primeira patente de fabricação de argamassas secas foi registada em 1893. Todavia até 1950 o cimento era enviado para os estaleiros das obras separadamente dos

agregados (em particular de areias de quartzo), onde ficavam armazenados até à sua utilização (misturados juntamente com água tendo em conta as suas proporções). Isto implicava ocupação de espaço no estaleiro, quer para o armazenamento das matérias-primas, quer para efetuar a sua mistura e um acréscimo de mão-de-obra instruída para dosear e preparar as mesmas (Paulo, 2006).

Na Europa central e nos Estados Unidos, entre 1950 e 1960 começou-se a recorrer às argamassas secas prontas a ser aplicadas, devido a uma certa exigência na qualidade e rápida execução em obra. Estas eram transportadas a granel (Paulo, 2006).

Por volta de 1970 começa-se a utilizar as chamadas argamassas retardadas ou estabilizadas, que são argamassas preparadas em fábrica e transportadas para obra em camiões cisterna (Paulo, 2006).

Paiva e Silva (2004) indicam que a primeira fábrica de cimento portland em Portugal foi fundada em 1894.

Sousa (2010) por sua vez refere que a indústria de argamassas aparece na década de sessenta do século passado e que as primeiras indústrias desta área aparecem em Portugal por volta de 1970, especializadas essencialmente em cimentos cola. Nesta altura, este ramo também sentiu uma grande influência francesa na produção de monomassas, rebocos em uma única camada com cor da massa.

Na mudança de século, do século XX para o século XXI começou a surgir em Portugal um grande número de empresas dedicadas à fabricação de argamassas. Em 2002 criou-se a Associação Portuguesa de Fabricantes de Argamassas de Construção (APFAC), sendo esta filiada à Federação Europeia de Fabricantes de Argamassas (European Mortar Industry Organization – EMO) sediada em Duisburg, Alemanha (Sousa, 2010).

A partir do que relata Margalha (2007) o cimento começou por ser usado em obras com constante contacto com água, fossas sépticas, infraestruturas de águas e esgotos, devido à sua hidraulicidade. Posteriormente foi utilizado juntamente com cais e areias, designando-se de argamassas bastardas. O cimento tornou-se no principal ligante utilizado nas argamassas a partir dos anos 50 e por sua vez a cal caiu em desuso a partir dos anos 70. Atualmente está a criar-se uma tendência para voltar às argamassas bastardas e aos poucos às argamassas de cal aérea e areia.

### **A exploração de calcário na região autónoma da Madeira**

A exploração de calcário também marcou o arquipélago da Madeira, na ilha da Madeira, a exploração de calcários ocorria apenas em São Vicente, enquanto na ilha do

Porto Santo existiam mais jazidas, a do vale da Ribeira da Serra de Dentro, a das Lapeiras, a do ilhéu de Cima ou Farol e a do ilhéu de Baixo ou da Cal, no Campo de Cima e no sítio do Espírito Santo (Neves, 1993; Mestre, 2001/2002).

Esta abundância de calcários na ilha do Porto Santo e o facto de na ilha da Madeira apenas se registar um sítio onde se podia extrair calcário dá-se devido à formação das ilhas. A ilha do Porto Santo originou-se após uma atividade vulcânica submarina no período Miocénico, há cerca de 18 milhões anos. Depois ocorreram movimentos verticais de levantamento em bloco de todo aparelho vulcânico dando a origem à atividade de um vulcão correspondente ao atual Pico da Juliana. Deu-se também um basculamento generalizado da ilha no sentido norte-sul originando o afloramento de calcários (Neves, 1993).

No caso de São Vicente, na ilha da Madeira, segundo uma notícia elucidativa da carta geológica da ilha da Madeira, dos Serviços Geológicos de Portugal de 1975, esta cita a intercalação calcária marinha, fossilífera, miocénica do vale de São Vicente. Relata que na Achada do Furtado do Bairrinho existe uma lentícula de miocénico superior marinho intercalada no complexo vulcânico antigo, Trata-se de calcários recifais, de tufos castanho-avermelhados e de aglomerados, com numerosos restos de lamelibrânquios, gastrópodos, equinídeos e crustáceos. Por outras palavras trata-se de uma fauna do Vindoboniano avançado com muitas espécies passando pelo Pliocénico, semelhante com a das ilhas de Santa Maria e Porto Santo (Ribeiro, 1990).

Na ilha da Madeira a sua exploração foi limitada devido à pouca quantidade de calcário relativamente à ilha do Porto Santo e ao difícil transporte deste para outras regiões (Mestre, 2001/2002). Sendo assim foi no ilhéu de Baixo ou da Cal no Porto Santo onde extraíam a maioria da pedra de calcário que fornecia a matéria-prima para o fabrico de cal nas construções madeirenses e porto-santenses (Neves, 1993). Este produto, que chegou a ser uma das principais fontes de rendimento da ilha do Porto Santo, era transportado do ilhéu da cal para ilha do Porto Santo e posteriormente para a ilha da Madeira em embarcações próprias designadas de Carreiros (Neves, 1993)

Na ilha da Madeira existiram vários fornos de cal sem ser em São Vicente, nomeadamente no Funchal, Santa Cruz e Câmara de Lobos (Mestre, 2002). Nos finais do século XVIII existiam pelo menos três fornos de cal em São Vicente. (Ribeiro, 1990).

Com o tempo a exploração do calcário no ilhéu de Baixo ou da Cal foi perdendo força, devido ao difícil trabalho que era no local, e aos elevados custos de transporte deste, passando esta exploração a ser efetuada na própria ilha, nas Lapeiras, apesar da cal produzida através do calcário do ilhéu da Cal ser considerado melhor, chegou a ser conhecida como uma cal de 1ª categoria (Neves, 1993).

## 4 – Técnicas para a análise das argamassas

Existem inúmeras técnicas para a análise físico-química, que podemos aplicar no estudo de argamassas. A seleção destas, depende dos objetivos definidos, tais como caracterização, manutenção, consolidação, reparação ou substituição das argamassas (Paiva e Silva, 2004).

Neste trabalho pretende-se fazer apenas a caracterização de argamassas. Portanto as técnicas aplicadas, foram selecionadas tendo em conta a caracterização das argamassas e os equipamentos disponíveis. Estas técnicas são: difração de raios X, determinação da percentagem do resíduo insolúvel e análise térmica (termogravimetria).

### 4.1 – Difração de raios X

A difração de raios X é uma técnica muito eficaz para identificar as fases cristalinas existentes nos materiais, isto porque na maioria dos cristais os átomos organizam-se em planos cristalinos separados entre si por distâncias equivalentes aos comprimentos de onda dos raios X (Albers *et al.*, 2002).

Um tubo moderno de raios X é constituído por uma fonte de eletrões (filamento aquecido) e um alvo metálico (como Cu) em uma câmara de vácuo. Os raios X são produzidos quando os eletrões em alta velocidade chocam com a atmosfera de uma outra substância. Fazendo incidir um feixe de raios X sobre um cristal este irá interagir com os átomos criando o fenómeno de difração (Albers *et al.*, 2002). Este fenómeno acontece segundo a Lei de Bragg, que relaciona o ângulo de difração com a distância entre os planos que a produzem, sendo traduzida pela seguinte equação:

$$n\lambda = 2d \sin \theta$$

em que:

$n$  – é um número inteiro;

$\lambda$  – é o comprimento de onda dos raios X incidentes;

$d$  – é a distância entre os planos;

$\theta$  – é o ângulo de difração.

O detetor e a amostra são girados por um goniómetro de forma a passar pelas faixas de ângulo necessário, de 3 a 75°. As amostras podem ser usadas como filme depositado ou em pó (técnica utilizada neste trabalho).

Segundo este método, a amostra é colocada num porta amostras, já em pó e este conjunto é colocado no trajeto de raios X monocromático. O feixe de raios X ao incidir na

amostra faz com que o plano atômico assuma todas as orientações possíveis. Desta forma há uma incidência sobre um certo ângulo que satisfaz a Lei de Bragg. A radiação difratada é detetada por detectores de radiação (Figura 1) (Cruz e Silva, 2006).

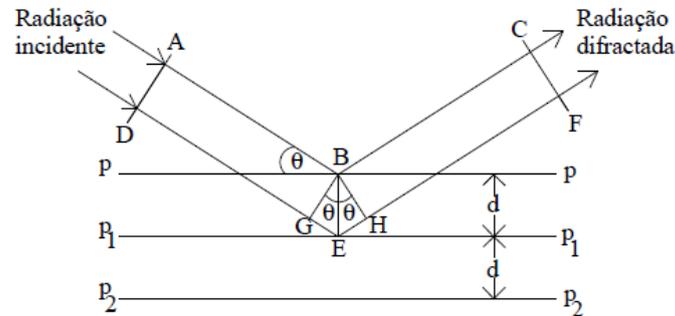


Figura 1 - Geometria de reflexão de raios X. Modificado a partir de Klein & Hurlbut Jr., 1999 (Cruz e Silva, 2006).

A difração de raios X é um método muito vantajoso pois é simples, rápido e seus resultados tem um bom grau de credibilidade, para além disso permite analisar vários compostos na mesma amostra e quantifica-los (Albers *et al.*, 2002).

#### 4.2 – Análise termogravimétrica

A análise térmica é um conjunto de técnicas analíticas que monitorizam as mudanças físicas e/ou químicas de uma amostra quando esta é submetida a um aquecimento controlado (Ionashiro, 2004; James *et al.*, 2005).

A Confederação Internacional de Análise Térmica e Calorimetria (International Confederation for Thermal Analysis and Calorimetry – ICTAC) define análise térmica como: “Um grupo de técnicas nas quais uma propriedade física de uma substância e/ou seus produtos de reação é medida como função da temperatura, enquanto a substância é submetida a um programa controlado de temperatura” (Ionashiro, 2004; Brown e Gallacher, 2008).

Entre as técnicas de análise térmica disponíveis, as mais utilizadas são: a termogravimetria (TG), a termogravimetria derivada (DTG), a análise térmica diferencial (DTA), a calorimetria exploratória diferencial (DSC), a detecção de gás desprendido (EGA) e a termomecânica (TMA) (Ionashiro, 2004).

Neste trabalho, as técnicas utilizadas foram a termogravimetria (TG) e a termogravimetria derivada (DTG).

A termogravimetria permite medir variações de massa de uma amostra continuamente em função da temperatura, quando esta está sob o efeito de um programa

de temperatura controlado (Rodrigues e Marchetto, s.d.; Paiva e Silva, 2004; James *et al.*, 2005). São conhecidos três tipos de análise termogravimétrica: termogravimetria isotérmica, termogravimetria quase-isotérmica e termogravimetria dinâmica. Na primeira, a massa é registada em relação ao tempo a temperatura constante, na segunda, o sistema é aquecido por intervalos de temperatura constantes até que a massa também fique constante, e finalmente na terceira, o usado neste trabalho, a massa da amostra é registada conforme é aquecida com variações de temperatura lineares (Paiva e Silva, 2004).

Este tipo de análises é feito numa termobalança, instrumento a partir do qual se obtém uma pesagem contínua de uma amostra quando esta é submetida a uma variação de temperatura, sendo constituída por: um sistema de pesagem (balança), uma fonte de calor (forno), um suporte para a amostra (cadinho), um sistema de controlo da atmosfera, um sensor de temperatura (termopar), um programador de temperatura do forno e uma unidade de registo, geralmente controlados por um computador (James *et al.* 2005; Ionashiro, 2004; Rodrigues e Marchetto, s.d.).

É aconselhado a utilização de baixas quantidades de amostra finamente moída pois facilita a corrente de calor e a remoção dos produtos de reação, fazendo desta forma com que as perdas sejam mais fáceis de se notar (Paiva e Silva, 2004).

As curvas obtidas, termogramas ou curvas termogravimétricas, fornecem dados relativos a estabilidade térmica e composição da amostra. O seu registo é feito com as ordenadas em variação de massa e abcissas com variação de temperatura (Paiva e Silva, 2004; James *et al.*, 2005).

Num termograma ideal quando a massa é constante este apresenta-se sobre uma linha praticamente reta e quando há variação de massa apresenta ramos decrescentes, bem delimitados em que se consegue distinguir bem as diferentes reações e suas temperaturas. Na realidade elas acabam por não ser assim tão bem definidas, pois acabam por se sobrepor por causa da ocorrência de reações a temperaturas muito próximas (Cruz e Silva, 2006).

As curvas de termogravimetria derivada (DTG), correspondem à derivada da massa em relação ao tempo ou à temperatura ou seja a primeira derivada do TG é obtida por diferenciação eletrónica do sinal TG, isto é, sua amplificação, resultando numa gama de picos onde as suas áreas são diretamente proporcionais à perda de massa. Desta forma uma determinada zona com massa constante corresponde a um valor na curva de DTG constante, o máximo da curva DTG é obtido quando a curva do TG apresenta um ponto de inflexão, ou seja uma zona onde a massa é rapidamente perdida. Como

consequência as curvas de DTG proporcionam uma análise mais fácil e acessível (Figura 2) (Paiva e Silva, 2004; Rodrigues e Marchetto, s.d.)-

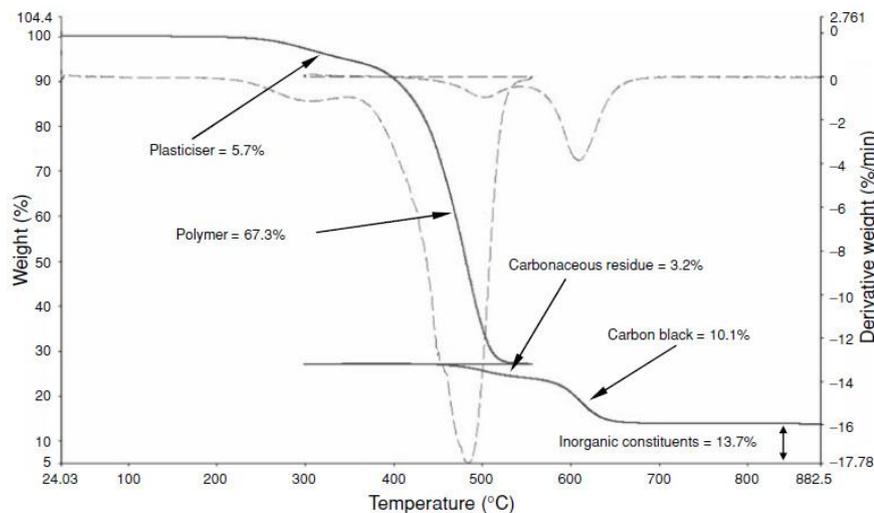
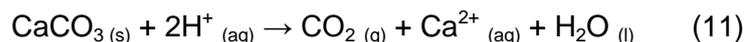


Figura 2 - Termograma tipo (Gabbott, 2008).

#### 4.3 – Resíduo insolúvel

O ensaio do resíduo insolúvel é realizado com o intuito de separar o ligante dos agregados não calcários e quantificá-los. Este ensaio baseia-se num ataque ácido à amostra, podendo ser utilizado o ácido clorídrico (HCl) ou ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>).

Sendo, em geral, os ligantes de argamassa carbonatos de cálcio estes reagem com o ácido diluído formando dióxido de carbono no estado gasoso, que provoca a formação de espuma, conforme a equação seguinte:



E desta forma fica-se apenas com a fração não solúvel (resíduo insolúvel) que após a lavagem, filtração e secagem podem ser quantificados fornecendo assim informação aproximada da quantidade de ligante. Pode-se ainda proceder à análise granulométrica e observação à lupa binocular do resíduo insolúvel.

Devido à possibilidade de haver agregados da família dos carbonatos ou outros compostos que se possam dissolver perante estes ácidos, esta técnica não funciona com argamassas constituídas por agregados contendo carbonatos (Santos Silva, 2003).

## 5 – Método experimental

Na recolha das amostras foi efetuado um registo fotográfico do edifício e do local específico de recolha destas. Chegando ao laboratório, as amostras foram observadas individualmente à vista desarmada seguindo-se de um registo fotográfico e uma descrição sucinta, indicando cores, aspetos, texturas, número de camadas aparentes e outras informações relevantes.

Posteriormente preparou-se as amostras consoante as técnicas de análise que se iria realizar.

Para análise por difração de raios X e para a análise termogravimétrica, primeiro separou-se as amostras em diferentes camadas (identificação feita à vista desarmada). Para isso recorreu-se ao auxílio de espátulas, martelo, navalha, escopro e num caso específico utilizou-se uma máquina de corte manual Buehler Delta Abrasimet.

Após a separação por camadas procedeu-se à sua moagem. Regra geral as “camadas 1”, que são as de acabamento, foram moídas manualmente com almofariz e um pilão de porcelana. As restantes camadas foram moídas num moinho de bolas da marca Retsch, modelo PM 100, durante 3 minutos a 400 rpm, com 12 bolas de 2 cm de diâmetro cada. Desta forma ficou-se com as amostras reduzidas a pó e separadas em camadas, aptas para serem analisadas por difração de raios X, e por análise termogravimetria.

Os registos difractométricos foram efetuados utilizando a radiação  $K\alpha$  do cobre produzida por uma unidade de difração de raios X Bruker D8 Advance com detetor LynxEye nas seguintes condições de ensaio: varrimento entre 5 e  $100^\circ 2\theta$ , incrementos de  $0.01^\circ 2\theta$ , tensão e corrente do filamento, respetivamente de 30 kV e 40 mA. A identificação dos minerais constituintes das amostras foi realizada por comparação com a base de dados PDF2 da ICDD e a quantificação das fases cristalinas foi efetuada com o método de Rietveld, computacionalmente recorrendo ao software TOPAS® da Bruker. O software realiza um ajuste entre o difratograma calculado (próprio programa) e o real, minimizando o resíduo através do método dos mínimos quadrados.

Os registos térmicos foram obtidos num sistema de análise térmica STA 409PC da Netzsch, sob atmosfera de azoto, com velocidade de aquecimento  $10^\circ\text{C}/\text{min}$ , desde a temperatura ambiente até aos  $1000^\circ\text{C}$ .

Para a determinação da percentagem do resíduo insolúvel da amostra com ataque ácido, pesou-se cerca 50 g de amostra completa, ou seja, amostra com todas as suas camadas, sem ter sido separada, e desfragmentou-se o máximo possível a amostra

à mão sem alterar a granulometria dos seus agregados, enquanto isso, preparou-se uma solução de ácido clorídrico (1:3)<sup>5</sup>.

Num copo de 1000 ml colocou-se a amostra desagregada e humedeceu-se com água quente. Em seguida juntou-se lentamente 300 ml de solução de ácido clorídrico, tendo em atenção a libertação do dióxido de carbono. Após término da libertação do dióxido de carbono aqueceu-se o conjunto até ao ponto de ebulição durante 15 minutos, agitando-se simultaneamente com uma vareta de vidro e deixou-se a amostra sedimentar durante aproximadamente 24 horas. Depois de esta ter sedimentado completamente, decantou-se e filtrou-se em vácuo para um cadinho de porcelana previamente pesado e lavou-se bem com água destilada quente. Em seguida deixou-se secar o cadinho numa estufa a 105° C durante cerca de 24 horas e arrefeceu-se durante aproximadamente 50 minutos num exsiccador.

Finalmente procedeu-se à pesagem do conjunto e efetuou-se a peneiração com o seguinte conjunto de peneiros: 4 mm, 2,5 mm, 1 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm e 0,063 mm, pesando as frações individuais obtidas.

---

<sup>5</sup> 1:3 significa que na solução de ácido clorídrico existe um volume de ácido clorídrico para três volumes de água.

## 6 - Identificação da localização das casas

Para a realização deste trabalho foram estudadas argamassas de onze casas antigas, cinco na ilha da Madeira e seis na ilha do Porto Santo, não recuperadas, localizadas como indicado nas figuras (Figura 3 e Figura 4).



Figura 3 - Mapa da ilha da Madeira com a localização das casas estudadas.



Figura 4 - Mapa da ilha do Porto Santo com a localização das casas estudadas.

A escolha das casas baseou-se em critérios de livre acessibilidade às mesmas, da ausência de evidências da sua recuperação e de aparentarem uma antiguidade apreciável. Na ilha da Madeira a escolha das casas acabou por ser mais restrita à zona norte da ilha uma vez que se trata da zona menos desenvolvida. Sendo que a zona sul é a zona mais desenvolvida (é onde está situada a capital e a maior parte do comércio), a zona este é tipicamente industrial e a zona oeste é cada vez mais uma zona preferencial para a construção e recuperação de casas antigas.

Há que salientar que não foi possível determinar as datas de construção da maioria das casas, apesar de se ter recorrido a vários meios (e.g. Câmaras Municipais, registo predial, referências bibliográficas, nomeadamente o Elucidário Madeirense e Ilhas de Zarco e depoimentos da população).

## 7- Casas estudadas

### 7.1 - Casa 1: Faial

Casa antiga ou provavelmente secular situada no concelho de Santana, freguesia do Faial, sítio da Longueira. Trata-se de uma casa simples, familiar, em ruínas, o seu estado avançado de degradação e a inúmera vegetação em redor demonstra estar abandonada há já algum tempo (Figuras 5 a) – d)).



Figuras 5 a) - d). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Faial, Maio de 2011.

#### 7.1.1 - Amostragem

Foram retiradas cinco amostras desta habitação, sendo que quatro são de paredes exteriores, recolhidas em duas paredes (duas por parede) e uma de uma parede interior.

Apenas foi recolhida uma amostra da parede interior devido ao difícil acesso ao interior da habitação e tendo em conta o estado de degradação, havia também o risco de colapso da estrutura.

*Amostra com referência F\_PE1\_A1<sup>6</sup>*

É constituída por duas camadas, uma de argamassa de tom cinzento e outra de acabamento em cal com pigmentação de tom esverdeado com cerca de 1 mm de espessura (Figura 6).

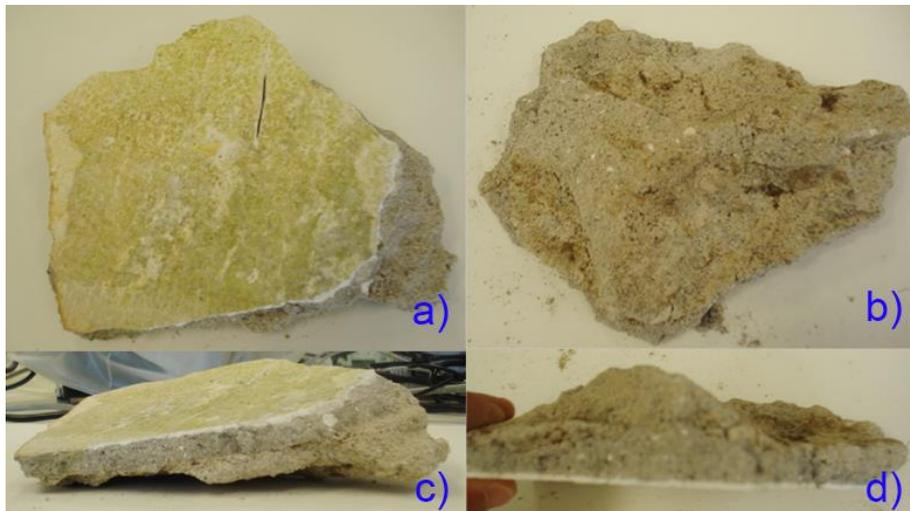


Figura 6 - Amostra com referência F\_PE1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior; Maio de 2011.

*Amostra com referência F\_PE1\_A2*

Constituída por duas camadas, uma de argamassa de tom cinzento e outra a camada de acabamento em cal com pigmentação tom negro, em que a sua espessura varia entre 0,5 a 1 mm (Figura 7).

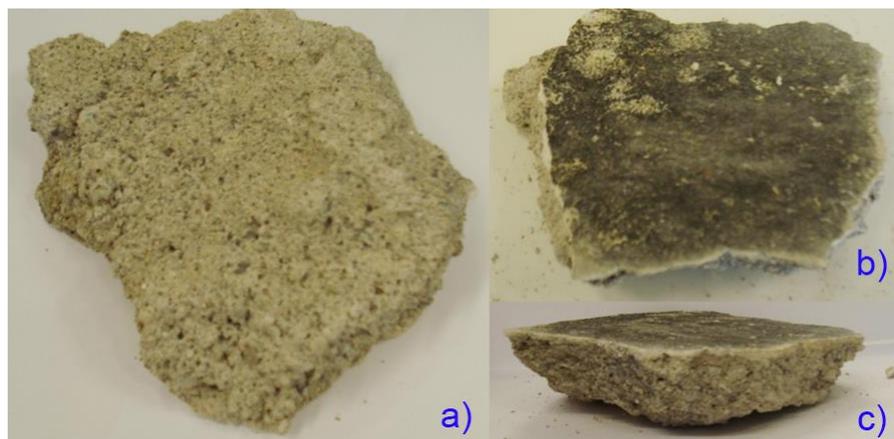


Figura 7 – Amostra com referência F\_PE1\_A2; a) Face interior à vista; b) Face exterior à vista; c) Vista lateral; Maio de 2011.

<sup>6</sup> As siglas utilizadas para designar cada amostra obedecem ao seguinte esquema: local\_tipo de parede\_amostra. Neste caso F\_PE1\_A1 significa: Faial, parede exterior 1, amostra 1. A listagem completa das amostras recolhidas está discriminada no anexo I.

*Amostra com referência F\_PE2\_A1*

Esta amostra não contém uma camada de revestimento em cal ou de pintura, é apenas uma argamassa única de cor cinzenta, mas repleta de nódulos brancos (Figura 8).

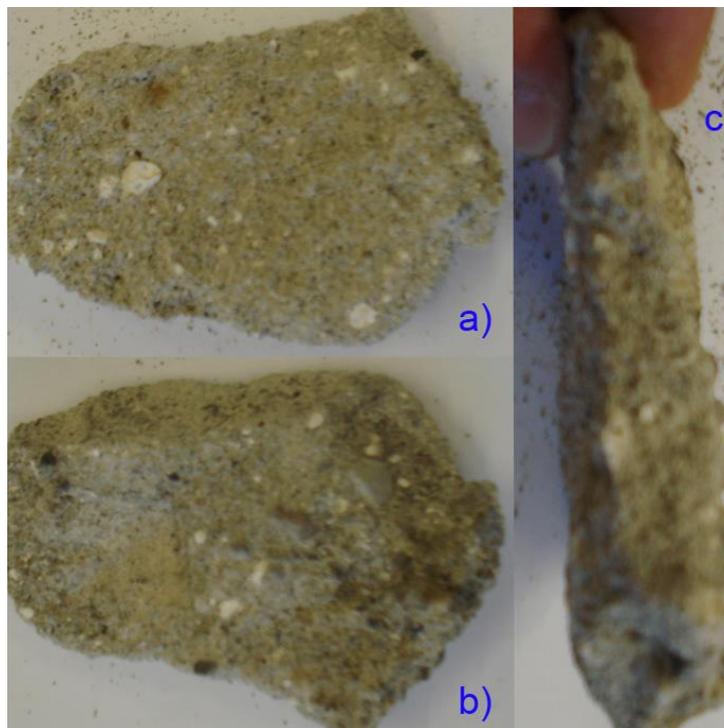


Figura 8 - Amostra com referência F\_PE2\_A1; a) Face interior à vista; b) Face exterior à vista; c) Vista lateral com escala de dedos; Maio de 2011.

*Amostra com referência F\_PE2\_A2*

É constituída por duas camadas em que a primeira é uma camada fina de acabamento de cor negra com alguns tons de verde com uma espessura entre 1 a 1,5 mm e a segunda camada é uma argamassa de cor cinzenta e também com vários nódulos brancos (Figura 9).

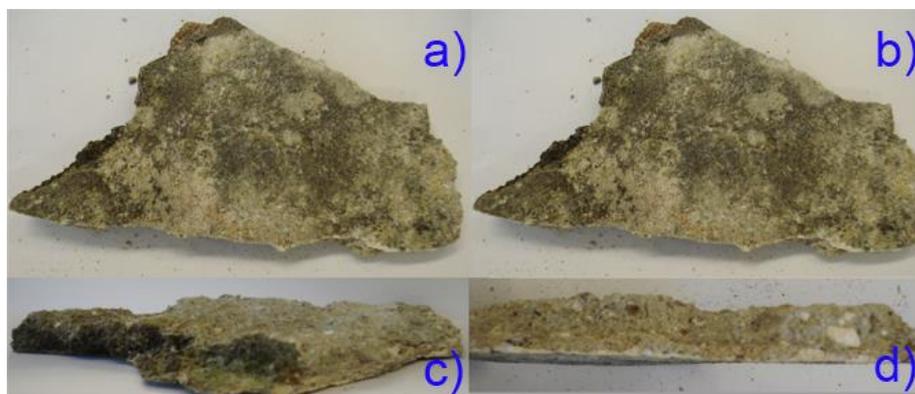


Figura 9 - Amostra com referência F\_PE2\_A2; a) e b) Face exterior à vista; c) Lateral interior de perfil; d) Lateral interior; Maio de 2011.

### Amostra com referência F\_PI1\_A1

Trata-se de uma argamassa cinzenta com vários nódulos brancos e com uma espécie de caiação em tom branca (Figura 10).

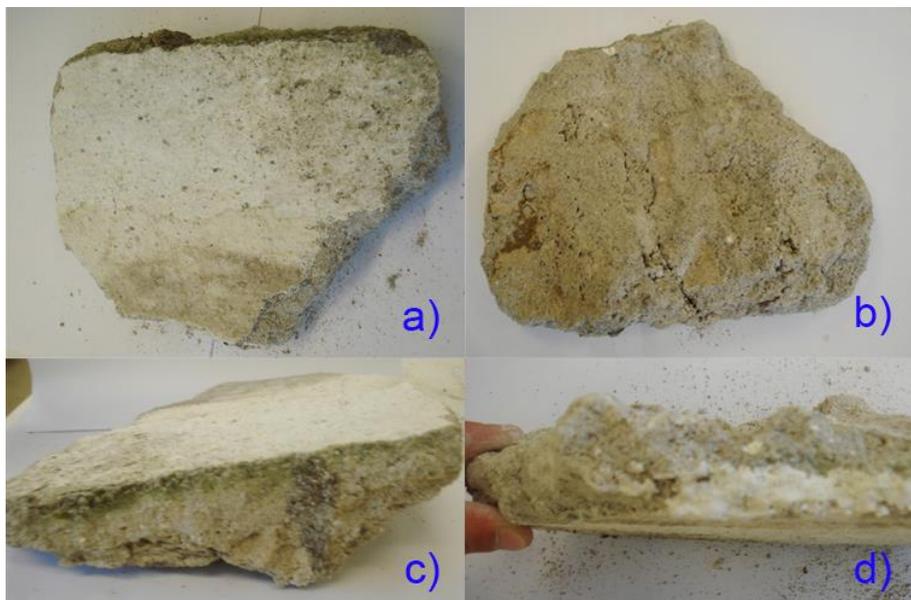


Figura 10 - Amostra com referência F\_PI1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior de perfil; d) Lateral interior; Maio de 2011.

## 7.1.2 - Resultados

### 7.1.2.1 - Difração de raios X

Na amostra F\_PE1\_A1 a análise do difratograma de raios X mostra que a camada 1 é essencialmente constituída por calcite (aproximadamente 93 %<sup>7</sup>), enquanto a camada 2 é maioritariamente constituída por plagioclases, piroxenas e olivinas<sup>8</sup>, que em conjunto representam cerca de 81 % desta camada, e calcite, ca. 15 %<sup>9</sup> (Figura 11 e Quadro 1).

<sup>7</sup> O método de separação das diferentes camadas (manual) e a aderência dos materiais não garante uma separação integral efetiva das camadas, ocorrendo contaminação cruzada. Assim se explica porque é que a camada de acabamento (integralmente constituída por cal) apresenta vestígios de agregados, quando se analisa os resultados obtidos por difração de raios X.

<sup>8</sup> Neste trabalho os minerais encontrados nestes grupos foram:

- No caso das plagioclases: a albite, a labradorite e a anortite;
- Nas piroxenas: a augite e a diopside;
- E finalmente nas olivinas a forsterite.

<sup>9</sup> Os resultados de quantificação de fases obtidos por modulação dos difratogramas de raios X devem ser considerados como semi-quantitativos, visto que resultam da adaptação de uma curva teórica à curva experimental e implicam uma série de cálculos e simplificações.

Esta amostra ainda contém pequenas quantidades de hematite e na camada 2 detetou-se maghemite em quantidade reduzida<sup>10</sup>.

A argamassa é constituída por calcite (constitui maioritariamente o ligante desta argamassa), enquanto o perfil de plagioclases, piroxenas e olivinas identificados é típico dos agregados basálticos originários da ilha da Madeira.

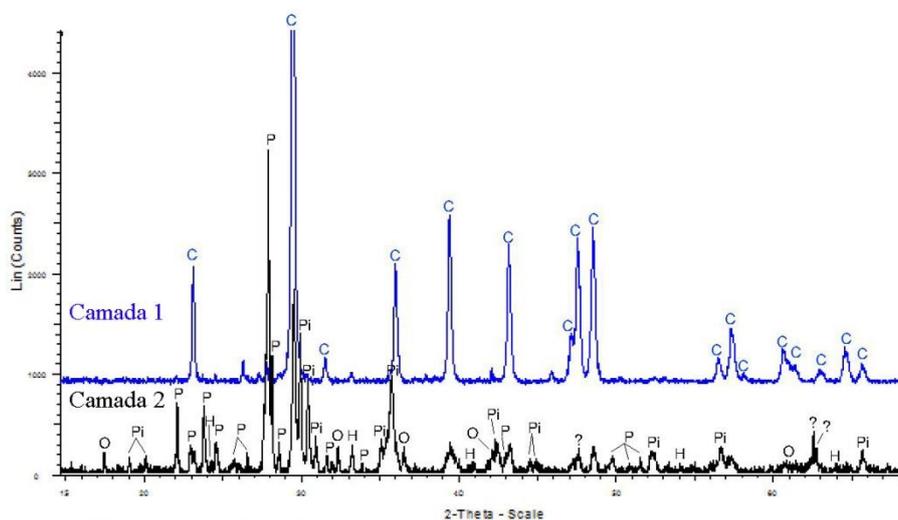


Figura 11 - Difratograma da amostra F\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.<sup>11</sup>

Acerca da amostra F\_PE1\_A2, observando o difratograma pode-se verificar que a camada 1, camada de acabamento, é principalmente constituída por calcite (cerca de 78 %); já a camada 2 é composta sobretudo por plagioclases, piroxenas e olivinas (constituindo 83% da camada) e por 14 % de calcite. Ainda contém pequenas porções de óxido de ferro (hematite) (Figura\_All 1 e Quadro 1).

Quanto à amostra F\_PE2\_A1, por observação do difratograma (Figura\_All 2), pode-se verificar que a camada 1 PB (nódulos brancos no interior da argamassa) é essencialmente formada por plagioclases, calcite e piroxenas. Olhando para a amostra pode-se afirmar que a presença de plagioclases e piroxenas deve-se à presença de finos dos agregados, não visíveis à vista desarmada nos clusters de calcite (cf. Figura 8 a). O problema já referido da separação efetiva das camadas também afeta o resultado da análise difratométrica.

<sup>10</sup> A hematite e a maghemite são diferentes formas minerais de óxido de ferro.

<sup>11</sup> Os difratogramas das restantes amostras estão apresentados no anexo II.

Quadro 1 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: F\_PE1\_A1, F\_PE1\_A2, F\_PE2\_A1, F\_PE2\_A2 e F\_P11\_A1.

Minerais	Referência das amostras											
	F_PE1_A1		F_PE1_A2		F_PE2_A1		F_PE2_A2		F_P11_A1		Camada 2 PB	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2		
Aragonite [Ar]	---	---	---	---	0,4%	1%	---	---	---	---	---	---
Calcite [C]	93%	15%	78%	14%	12%	31%	35%	17%	39%	13%	30%	---
Hematite [H]	0,8%	3%	1%	3%	2%	2%	2%	2%	3%	3%	2%	---
Maghemite [Mh]	---	2%	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Olivinas [O]	3%	12%	3%	10%	10%	8%	8%	10%	6%	12%	10%	---
Piroxenas [Pi]	1%	27%	7%	30%	32%	25%	23%	29%	19%	29%	21%	---
Plagioclases [P]	2%	42%	11%	43%	45%	34%	31%	41%	33%	43%	37%	---
Portlandite [Po]	---	---	---	---	0,2%	0,2%	---	---	---	---	---	---
Quartzo [Qz]	---	---	---	---	---	---	0,02%	0,03%	---	---	---	---

Quanto à amostra F\_PE2\_A1, na camada 1 verifica-se que os principais constituintes são plagioclases, piroxenas e olivinas (ca. 87% de agregados) e calcite (aproximadamente 12 %) (Figura\_All 2 e Quadro 1). Nesta amostra a camada 1 corresponde às camadas 2 das outras amostras, dada a ausência de camada de acabamento. Encontrou-se ainda na mesma amostra (F\_PE2\_A1) aragonite, portlandite e hematite, em quantidades reduzidas. O primeiro é um variante mineralógico do carbonato de cálcio, enquanto o segundo, é hidróxido de cálcio presente no cimento, podendo indicar pequenas reparações no edifício original com técnicas mais modernas.

Quanto a amostra F\_PE2\_A2, a camada 1 (camada de acabamento) é composta por uma mistura de calcite, plagioclases, piroxenas e olivinas, correspondentes a 35 % de ligante e 62 % de agregado (areias finas). O teor relativamente baixo de calcite presente nesta camada de acabamento deve-se, não só à contaminação por deficiente separação de camadas, mas também à utilização de uma camada de acabamento menos suave (com presença de areia) como foi constatado por observação direta da amostra (cf. Figura 9 c). A camada 2 é maioritariamente constituída por plagioclases, piroxenas e olivinas que em conjunto representam cerca de 80% da amostra e por 17 % de calcite. De notar que nesta argamassa encontrou-se hematite e quartzo em pequenas quantidades. (Figura\_All 3 e Quadro 1).

Na amostra interior, F\_PI1\_A1, analisando o difratograma da Figura\_All 4 verifica-se que a camada 1 é formada essencialmente por calcite (39 %) e por plagioclases, piroxenas e olivinas (em conjunto 58 %). Neste caso, por observação da amostra nota-se que esta camada 1 é apenas uma camada de pintura, daí poder-se afirmar que o aparecimento de plagioclases, piroxenas e olivinas deve-se simplesmente à contaminação durante o processo separativo (cf. Figura 10 c). A camada 2 é constituída principalmente por plagioclases, piroxenas e olivinas ca. 84% e calcite, cerca de 13 %. (Figura\_All 4 e Quadro 1). Quanto à camada 2 PB (nódulos brancos, cf. Figura 10), a sua composição é semelhante à encontrada para o provete equivalente da amostra F\_PE2\_A1. De realçar a presença em pequenas quantidades de hematite.

### **Difração de raios X: Análise comparativa**

Comparando as camadas 1 das amostras F\_PE1\_A1 e F\_PE1\_A2 (Quadro 1) verifica-se que são semelhantes, no que se refere à presença claramente maioritária de calcite. As diferenças estarão relacionadas com a natureza semiquantitativa do método

de quantificação, com a deficiente separação de camadas e com a não homogeneidade das amostras analisadas.

Quanto às camadas 2 destas amostras (F\_PE1\_A1 e F\_PE1\_A2), as composições mineralógicas calculadas são muito semelhantes. A principal diferença nas camadas 2 das amostras F\_PE1\_A1 e F\_PE1\_A2 é o fato de na amostra F\_PE1\_A1 ter sido encontrado maghemite, (cerca de 2 %); este resultado reflete a presença de óxidos de ferro em pontos isolados da argamassa e é uma consequência da sua presença em nódulos isolados nos agregados utilizados. Conclui-se, como esperado, que as duas amostras correspondem à mesma argamassa.

Quanto às amostras da parede exterior 2 (cf. colunas da camada 1 da amostra F\_PE2\_A1 e camada 2 da amostra F\_PE2\_A2 do Quadro 1), a sua composição também pode ser considerada idêntica, se atender às limitações já referidas da metodologia utilizada.

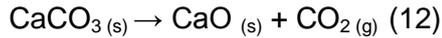
Quando se comparam os resultados obtidos para as paredes exteriores com a parede interior, (comparar, por exemplo, os resultados obtidos para as amostras F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1 no Quadro 1), verifica-se que as composições são muito idênticas (mesmos minerais, percentagens semelhantes).

Podemos ainda notar que as argamassas 'internas' (geralmente as camadas 2: F\_PE1\_A1 Camada 2, F\_PE1\_A2 Camada 2, F\_PE2\_A2 Camada 2 e F\_PI1\_A1 Camada 2 e camada 1 no caso da amostra F\_PE2\_A1) apresentam composições semelhantes. São essencialmente constituídas por plagioclases, piroxenas, e olivinas (composições que rondam os 80%), por calcite (teores de 15%, em média) e óxido de ferro (hematite). Em alguns casos encontra-se mais alguns minerais diferentes como é o caso da amostra F\_PE1\_A1 que contém maghemite, a amostra F\_PE2\_A1 que contém aragonite e portlandite e as amostras F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1 que contêm quartzo.

#### **7.1.2.2 - Análise termogravimétrica**

O termograma da camada 2 da amostra F\_PE1\_A1 está apresentado na Figura 12. A análise do termograma demonstra a ocorrência de três eventos térmicos distintos. O primeiro ocorre a cerca de 100 °C, correspondente à evaporação de água (perda de massa de 1,78 %). O segundo (450 °C, ca. 1,67 %) correspondente à desidratação do Ca(OH)<sub>2</sub>. Finalmente, acima dos 550 °C, a amostra perde 7,97 % de massa, o que é atribuído à libertação de dióxido de carbono devido à decomposição dos carbonatos.

Para este último caso, considerando que todo o dióxido de carbono libertado resulta da reação de decomposição do carbonato de cálcio presente na amostra, de acordo com a equação (1),



é possível calcular o teor de carbonato de cálcio (calcite) presente na argamassa original, a partir das massas molares do carbonato de cálcio ( $\text{MM}(\text{CaCO}_3) = 100,0875 \text{ g/mol}$ ) e dióxido de carbono ( $\text{MM}(\text{CO}_2) = 44,00964 \text{ g/mol}$ )<sup>12</sup>

$$\Delta(\text{CaCO}_3) = (7,97 \times 100,0875) / 44,00964$$

$$\Delta(\text{CaCO}_3) = 18,13 \%$$

Desta forma segundo o método termogravimétrico a amostra F\_PE1\_A1 Camada 2 continha 18,13 % de calcite.

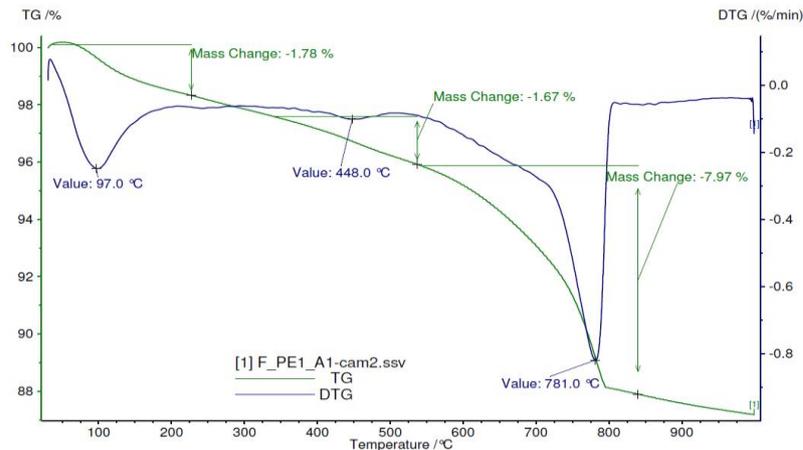


Figura 12 - Termograma da amostra F\_PE1\_A1 Camada 2.<sup>13</sup>

No Quadro 2, indica-se os resultados obtidos para as restantes amostras analisadas. A análise termogravimétrica permite demonstrar que a quantidade de ligante utilizado nas quatro amostras não difere muito sendo que a máxima quantidade descoberta foi de 18,13 % na amostra F\_PE1\_A1 Camada 2 e que a mínima foi 15,15 % na amostra F\_PI1\_A1 Camada 2, ou seja temos uma diferença de 2,98 %, que não é grande (Quadro 2).

<sup>12</sup> O método implica algumas aproximações, nomeadamente considerar que todos os carbonatos presentes são puros de cálcio e não permitir distinguir a presença de outras fontes de carbonato de cálcio como, por exemplo, a presença de conchas ou agregados de natureza carbonatada.

<sup>13</sup> Os termogramas das restantes amostras estão apresentados no anexo IV – Ficha de resultados de cada amostra de cada habitação.

Quadro 2 - Teores de CaCO<sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: F\_PE1\_A1, F\_PE1\_A2, F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1.

Amostras	Referência das amostras			
	F_PE1_A1 Camada 2	F_PE1_A2 Camada 2	F_PE2_A2 Camada 2	F_PI1_A1 Camada 2
CaCO <sub>3</sub>	18%	18%	16%	15%

Estes resultados demonstram que as misturas de cal e os seus processos de mistura e utilização nesta casa não variaram muito, inclusivamente quando se comparam as composições da argamassa utilizadas no exterior e no interior.

Comparando os resultados semiquantitativos obtidos por difração de raios X (Quadro 1) com os obtidos por análise termogravimétrica (Quadro 2), verifica-se que a quantidade de calcite determinada é semelhante (aproximadamente, 14 %, em média para o primeiro e 16,7 %, em média, para o segundo).

### 7.1.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

Determinou-se a percentagem de resíduo insolúvel após ataque ácido de amostras selecionadas. Os resultados obtidos, refletem, de forma aproximada, o teor de agregados não solúveis em ácido, presentes na argamassa original. Os resultados estão resumidos no Quadro 3.

Quadro 3 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: F\_PE1\_A1, F\_PE1\_A2, F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1.

Amostra	F_PE1_A1	F_PE1_A2	F_PE2_A2	F_PI1_A1
Resíduo insolúvel	65,1%	72,8%	69,5%	72,4%

Segundo o Quadro 3 nota-se que as percentagens de resíduo insolúvel não têm grandes variações (variam entre 65 e 73 %), o que indica que as quantidades de agregados utilizados nas várias paredes são equivalentes. Como consequência, a quantidade de ligante, cal, utilizada também é substancialmente a mesma. Este resultado reforça a conclusão sobre a uniformidade dos revestimentos utilizados, quer no exterior quer no interior da habitação.<sup>14</sup>

<sup>14</sup> No caso da determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido não é possível realizar uma comparação com os ensaios da difração de raios X e análise termogravimétrica uma vez que nestes dois casos as amostras foram estudadas em camadas e na determinação da percentagem de resíduo insolúvel foram estudadas como um todo.

#### 7.1.2.4 - Análise granulométrica

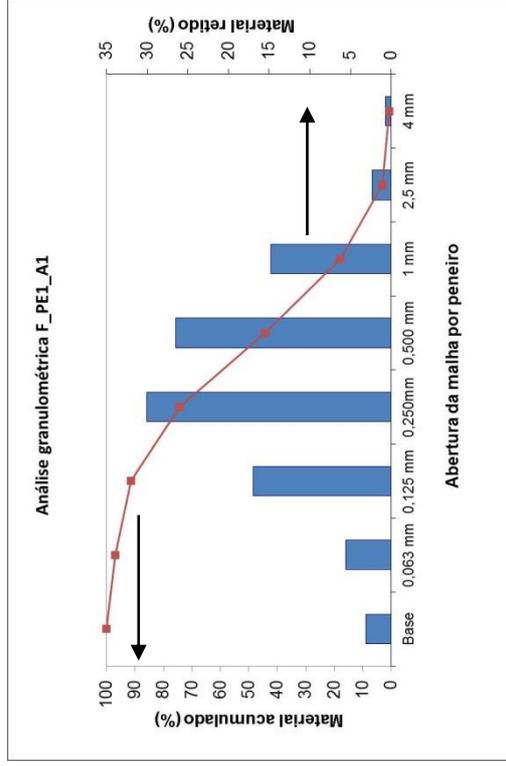
Analisando as curvas granulométricas verifica-se que as amostras mostram o mesmo perfil granulométrico, com exceção da amostra F\_PE1\_A2, em que se encontra um pouco mais de agregado graúdo (Figura 13).

Pode-se afirmar que a maior parte do material retido situa-se entre os peneiros de 1 mm e 0,125 mm com a exceção da amostra F\_PE1\_A2, que já começa a reter uma quantidade considerável de material nos peneiros de 4 mm e 2,5 mm (justificado por, no caso específico da amostra recolhida, ser constituída por grãos maiores, dada a não homogeneidade natural das argamassas) (Figura 13 e Quadro 4).

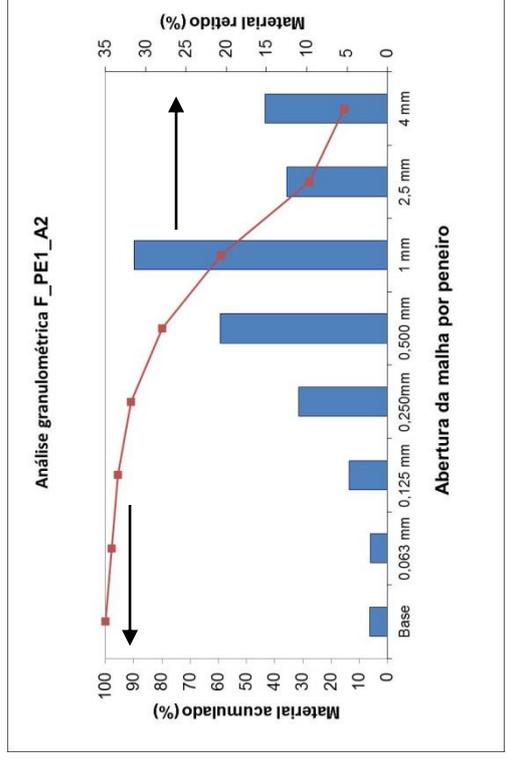
Quadro 4 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: F\_PE1\_A1, F\_PE1\_A2, F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1.

Material retido (%)				
Peneiro	F_PE1_A1	F_PE1_A2	F_PE2_A2	F_PI1_A1
4 mm	0,72	15,19	5,50	3,09
2,5 mm	2,32	12,45	5,25	3,41
1 mm	14,81	31,48	12,71	16,56
0,500 mm	26,50	20,78	19,89	26,61
0,250 mm	30,04	11,03	38,08	28,83
0,125 mm	16,96	4,77	13,83	14,39
0,063 mm	5,57	2,11	2,50	4,20
Base	3,07	2,19	2,24	2,90
Material acumulado (%)				
4 mm	0,72	15,19	5,50	3,09
2,5 mm	3,04	27,64	10,75	6,50
1 mm	17,85	59,12	23,46	23,06
0,500 mm	44,35	79,90	43,35	49,67
0,250 mm	74,40	90,93	81,43	78,51
0,125 mm	91,36	95,70	95,26	92,90
0,063 mm	96,93	97,81	97,76	97,10
Base	100,00	100,00	100,00	100,00

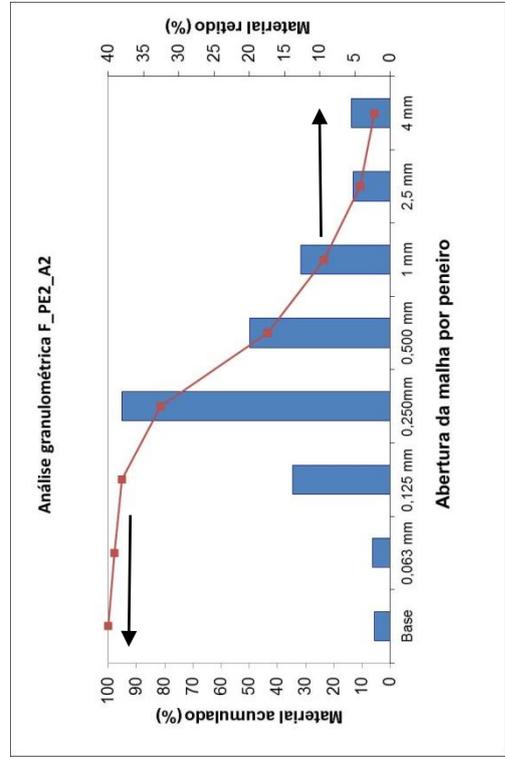
Pode-se concluir que a granulometria das amostras F\_PE1\_A1, F\_PE2\_A2 e F\_PI1\_A1 situa-se entre 1 mm e 0,125 mm, simbolizando agregado fino e o da amostra F\_PE1\_A2 está entre 4 mm e 0,250 mm sendo caracterizado entre agregado fino /grosso (Figura 13 e Quadro 4).



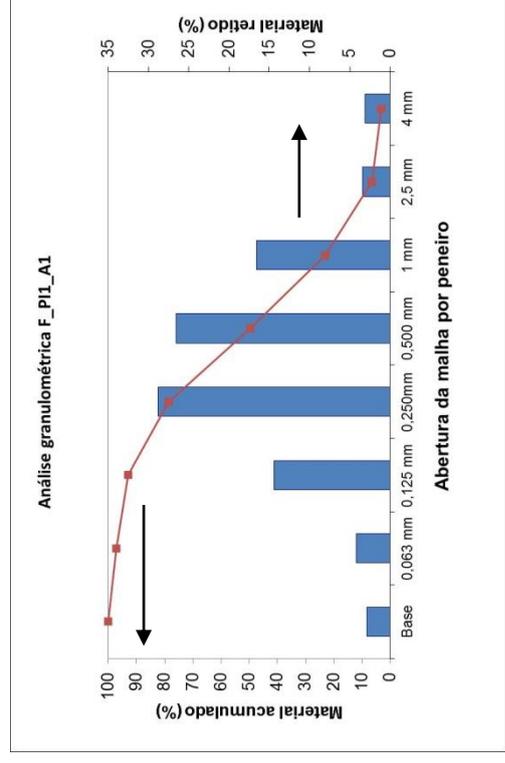
a)



b)



c)



d)

Figura 13 - Curvas granulométricas – a) amostra F\_PE1\_A1; b) amostra F\_PE1\_A2; c) amostra F\_PEZ\_AZ e d) amostra F\_P11\_A1.

### Comentários finais:

Conclui-se que a habitação tem um revestimento semelhante nas fachadas, constituído por duas camadas, sendo a primeira camada uma camada de acabamento de cal aérea, e a segunda camada é uma argamassa consistente em que o ligante é a cal aérea e os agregados são de origem basáltica, a rocha predominante na ilha da Madeira.

Este edifício não aparenta ter havido reabilitação, com a exceção da parede exterior 2 na amostra F\_PE2\_A1, que contém pequenas percentagens de portlandite (cerca de 0,2 % em cada camada) e curiosamente é a amostra que não contém a típica camada 1 de acabamento em cal, o que possivelmente representa uma pequena intervenção nesta zona, mais recentemente.

Verifica-se ainda que a granulometria dos agregados desta habitação varia desde agregado fino até agregado grosso.

## **7.2 – Casa 2: Santana**

Solar do Pico do Tanoeiro, situado no conselho de Santana, freguesia de Santana, sítio do Pico do Tanoeiro. Trata-se de uma grande moradia, uma casa senhorial. Segundo as informações recolhidas com os locais, este pertencia a senhores de grandes posses, proprietários da maior parte dos terrenos daquela zona.

Apresenta-se com um elevado nível de deterioração, em que algumas fachadas já não existem, o piso do andar superior também não, nem contém a cobertura, o que demonstra estar abandonado já há algum tempo (Figuras 14 a) – e)).

### **7.2.1 – Amostragem**

Foram retiradas apenas duas amostras, uma de uma parede exterior já muito danificada, em que a maior parte da parede já tinha desaparecido e a outra de um parapeito de uma janela, devido à impossibilidade de entrar no solar.

#### *Amostra com referência S\_PE1\_A1*

Baseia-se numa argamassa de cor cinzenta envolvida com restos de telha, revestida por uma camada de cal com ocre de tom avermelhado/acinzentado com uma espessura de cerca de 0,5 mm (Figura 15).

*Amostra com referência S\_PI1\_A1*

É constituída por uma argamassa de cor cinzento claro e revestida por uma considerável camada de cal que contém ocre do tom rosa, com uma espessura de cerca de 0,5 mm. (Figura 16).



Figuras 14 a) - e). – Vários panoramas com diferentes orientações das fachadas do Solar do Pico do Tanoeiro, localizado em Santana, Maio de 2011.

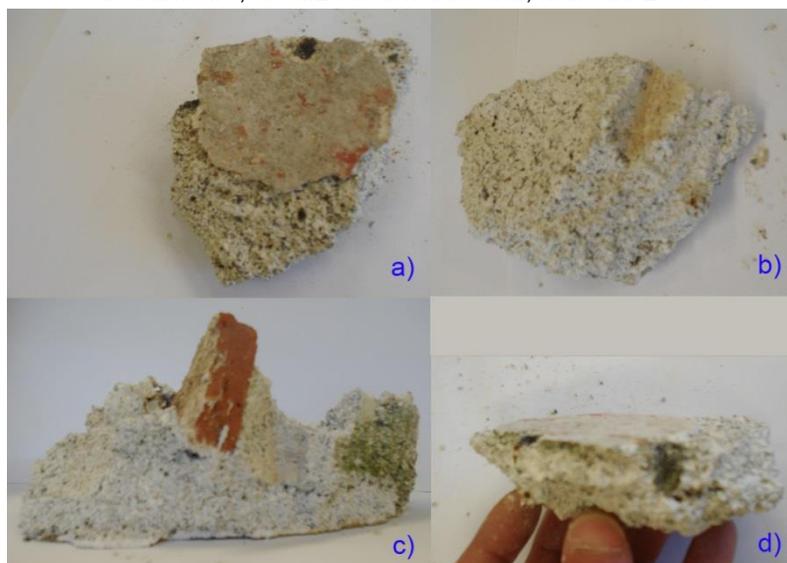


Figura 15 – Amostra com referência S\_PE1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral interior com o pormenor de um fragmento de telha; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

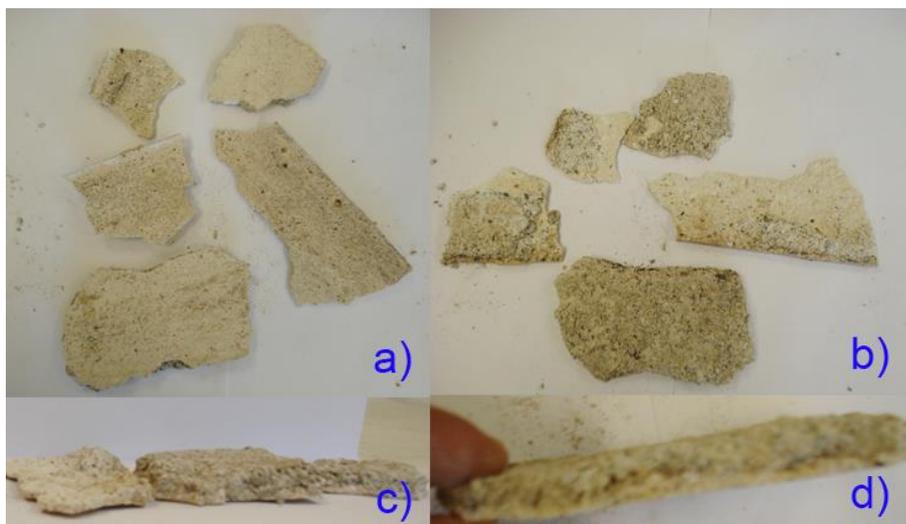


Figura 16 – Amostra com referência S\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Laterais interiores de perfil; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.2.2 – Resultados

### 7.2.2.1 - Difração de raios X

A análise do difratograma de raios X demonstra que a camada 1 da amostra S\_PE1\_A1 é essencialmente constituída por calcite, aproximadamente 89 %. Já a camada 2 é composta particularmente por plagioclases, piroxenas, olivinas (ca. 78 % da amostra) e calcite (20%) (Figura\_All 5 e Quadro 5). Ainda nesta amostra encontrou-se pequenas percentagens de hematite e quartzo.

Quadro 5 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: S\_PE1\_A1 e S\_PI1\_A1.

Minerais	Referência das amostras			
	S_PE1_A1		S_PI1_A1	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	89%	20%	87%	26%
Gesso [G]	---	---	1%	0,9%
Hematite [H]	0,7%	3%	1%	3%
Olivinas [O]	1%	9%	0,04%	2%
Piroxenas [Pi]	3%	25%	4%	26%
Plagioclases [P]	6%	44%	5%	41%
Quartzo [Qz]	0,02%	0,04%	---	---

Na amostra interior (S\_PI1\_A1), observando o difratograma verifica-se que a camada 1 é basicamente formada por calcite, a rondar os 87 %, enquanto na camada 2 os principais constituintes são plagioclases, piroxenas, olivinas que representam a maior parte do agregado (ca. 69 %) e calcite, sensivelmente 26 % (Figura\_All 6 e Quadro 5). De realçar a identificação de hematite e gesso nesta amostra.

### **Difração de raios X: Análise comparativa**

Pode-se verificar que as composições mineralógicas de ambas as amostras são semelhantes. As camadas 1 são basicamente formadas por calcite e as camadas 2 são maioritariamente constituídas por agregados: olivinas, piroxenas e plagioclases (em média 74 %) e por calcite (em média 23 %). A amostra S\_PE1\_A1 contém ainda vestígios de quartzo e a amostra S\_PI1\_A1 contém pequenas quantidades de gesso, material bom para ser utilizado no interior e péssimo para o exterior.

#### **7.2.2.2 - Análise termogravimétrica**

No Quadro 6 apresenta-se os resultados do teor de calcite determinados a partir dos valores de perda de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Analisando este quadro pode-se verificar que a amostra interior (S\_PI1\_A1) contém mais ligante do que a amostra exterior, S\_PE1\_A1.

Quadro 6 - Teores de CaCO<sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica nas amostras: S\_PE1\_A1 e S\_PI1\_A1.

Gama de temperatura de 700 - 890 (°C)		
Amostras	S_PE1_A1	S_PI1_A1
Camada	Camada 2	Camada 2
CaCO <sub>3</sub>	18%	25%

Fazendo-se uma comparação entre os valores obtidos de calcite nas camadas 2 através da análise de difração de raios X e da análise termogravimétrica pode-se dizer que os valores são satisfatórios pois os resultados são próximos, na amostra S\_PE1\_A1 segundo a análise por difração de raios X obteve-se cerca de 20 % de calcite e a partir da análise termogravimétrica cerca de 18 % e na amostra S\_PI1\_A1, pela mesma ordem de ensaios, 26 % e 25 % (Quadro 5 e Quadro 6).

### 7.2.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

Com a realização do ataque ácido obteve-se as percentagens de resíduo insolúvel, indicadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: S\_PE1\_A1 e S\_PI1\_A1.

Amostra	S_PE1_A1	S_PI1_A1
Resíduo insolúvel	70,8%	43,1%

Note-se que nesta habitação as percentagens de resíduo insolúvel variam razoavelmente. Na parede exterior (amostra S\_PE1\_A1) obteve-se 70,8 %, o que significa que apenas cerca de 29 % de material desta amostra é que é solúvel em ácido clorídrico e na parede interior (amostra S\_PI1\_A1) chegou-se a um resultado de 43,1 %, que por sua vez demonstra que cerca de 57 % de material é solúvel no ácido clorídrico.

Apesar de estas diferenças de resíduo insolúvel serem aceitáveis, pois é normal que a parede exterior contenha mais material insolúvel no ácido, uma que está sujeita a mais ataques, há que realçar também que a amostra interior (S\_PI1\_A1) foi retirada de um parapeito de uma janela ou seja de uma zona em que provavelmente esta argamassa era mais uma argamassa de fingimento.

### 7.2.2.4 – Análise granulométrica

Analisando as curvas granulométricas apresentadas na Figura 17 pode-se verificar que apresentam uma certa diferença nos seus perfis granulométricos.

Em ambas amostras pode-se observar que o peneiro que retém mais material é o peneiro de 1 mm, mas nota-se que na amostra S\_PI1\_A1 existe uma maior distribuição de material pelos peneiros, em que cerca de 87 % do material está distribuído entre os peneiros de 4 mm a 0,250 mm. Por sua vez, na amostra S\_PE1\_A1, aproximadamente 91 % do material está dividido nos peneiros de 2,5 mm a 0,500 mm (Figura 17 e Quadro 8).

Pode-se afirmar que a granulometria das areias da amostra S\_PE1\_A1 varia entre os 2,5 mm e os 0,500 mm sendo designado por agregado fino e a da amostra S\_PI1\_A1 varia entre os 4 mm e os 0,250 mm, sendo representados por agregado fino/grosso (Figura 17 e Quadro 8).

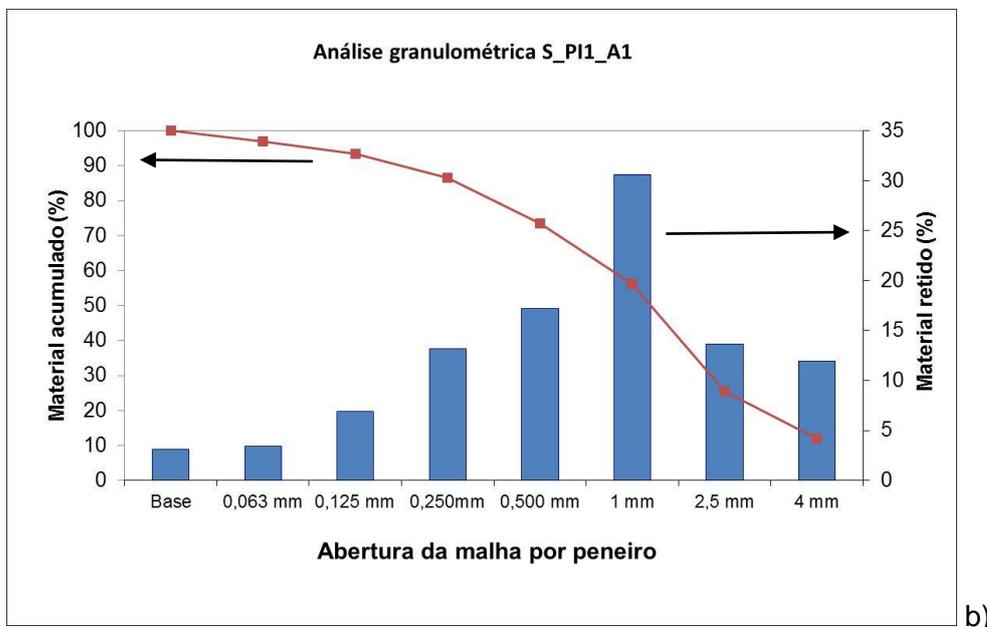
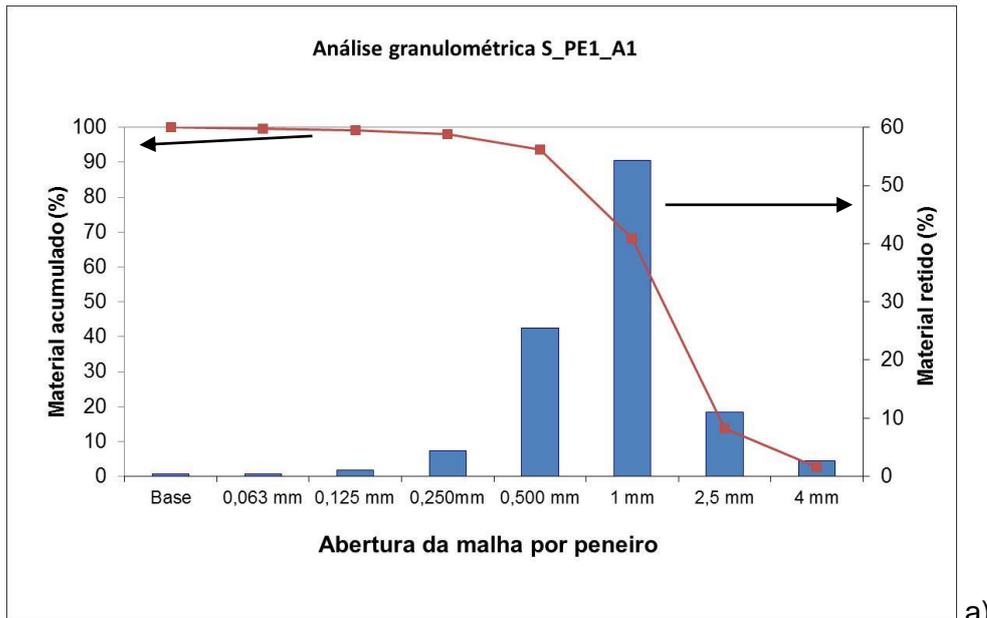


Figura 17 - Curvas granulométricas - a) amostra S\_PE1\_A1 e b) amostra S\_PI1\_A1.

Comentários finais:

Conclui-se que os revestimentos da habitação, quer exterior, quer interior são parecidos na sua constituição. São ambos constituídos por duas camadas, em que a primeira camada, a camada de acabamento é formada por cal aérea e a segunda camada é constituída por agregados de origem vulcânica, com um ligante de cal aérea.

Quadro 8 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: S\_PE1\_A1 e S\_PI1\_A1.

Abertura da malha	Referência das amostras			
	Material retido (%)		Material acumulado (%)	
	S_PE1_A1	S_PI1_A1	S_PE1_A1	S_PI1_A1
4 mm	2,73	11,90	2,73	11,90
2,5 mm	11,05	13,66	13,78	25,56
1 mm	54,34	30,61	68,12	56,17
0,500 mm	25,51	17,22	93,63	73,39
0,250 mm	4,40	13,17	98,03	86,56
0,125 mm	1,11	6,90	99,14	93,46
0,063 mm	0,47	3,43	99,61	96,89
Base	0,39	3,11	100,00	100,00

A granulometria das areias de ambas amostras é semelhante, variando entre agregado fino e agregado grosso.

### 7.3 – Casa 3: São Jorge

Habitação de grandes dimensões, localizada junto à praia de São Jorge (próximo da foz da ribeira de São Jorge).

Apesar da sua estrutura resistente em pedra, apresenta-se já muito danificada, faltando algumas fachadas e a laje do piso superior (Figuras 18 a) – d)).



Figuras 18 a) - d). – Vários planos com diferentes orientações das fachas da casa de São Jorge; c) outra perspetiva da casa com realce de um roda pé de argamassa; Maio de 2011.

### 7.3.1 – Amostragem

Foram retiradas três amostras, uma da fachada exterior (SJ\_PE1\_A1) e duas interiores, uma de uma fachada (SJ\_PI1\_A2) e outra de um rodapé (SJ\_PI1\_A1) (Figuras 18 c)).

#### *Amostra com referência SJ\_PE1\_A1*

A amostra exterior é de cor branca com saliências negras e contém uma textura irregular, dando a ideia de que foi deixada dessa forma propositadamente para fins decorativos, a espessura desta camada de acabamento é de cerca de 1,5 mm. É uma argamassa que se desfaz com o tato e a sua camada interior também contém tons mais negros (Figura 19).

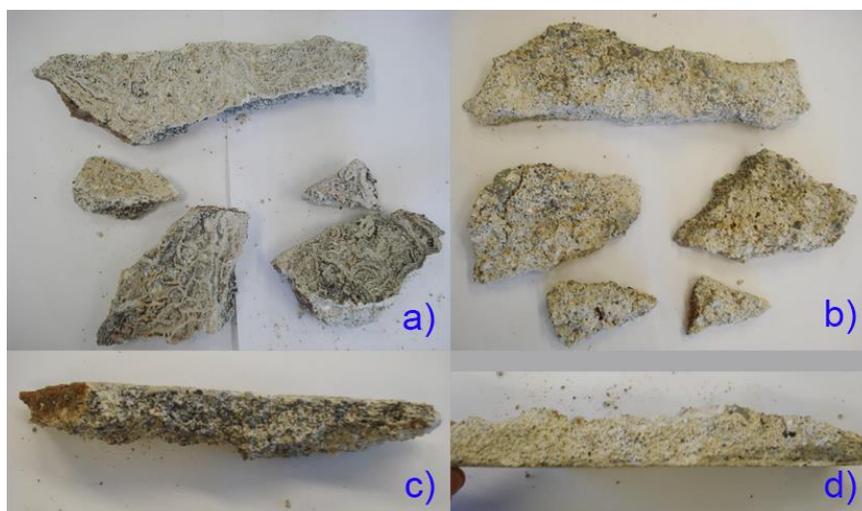


Figura 19 – Amostra com referência SJ\_PE1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

#### *Amostra com referência SJ\_PI1\_A1*

A amostra SJ\_PI1\_A1, retirada de um rodapé é uma argamassa de revestimento muito resistente, sendo constituída por quatro camadas muito resistentes e bem fixas umas às outras e cuja separação revelou-se difícil. A primeira camada foi pintada com ocre de tom de vermelho, contém uma espessura de cerca de 5 mm (Figura 20).

#### *Amostra com referência SJ\_PI1\_A2*

Quanto à amostra SJ\_PI1\_A2 é constituída por uma argamassa de cor clara e revestida por cal com pigmentos de tom preto, com a espessura de cerca de 1 mm (Figura 21).



Figura 20 – Amostra com referência SJ\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

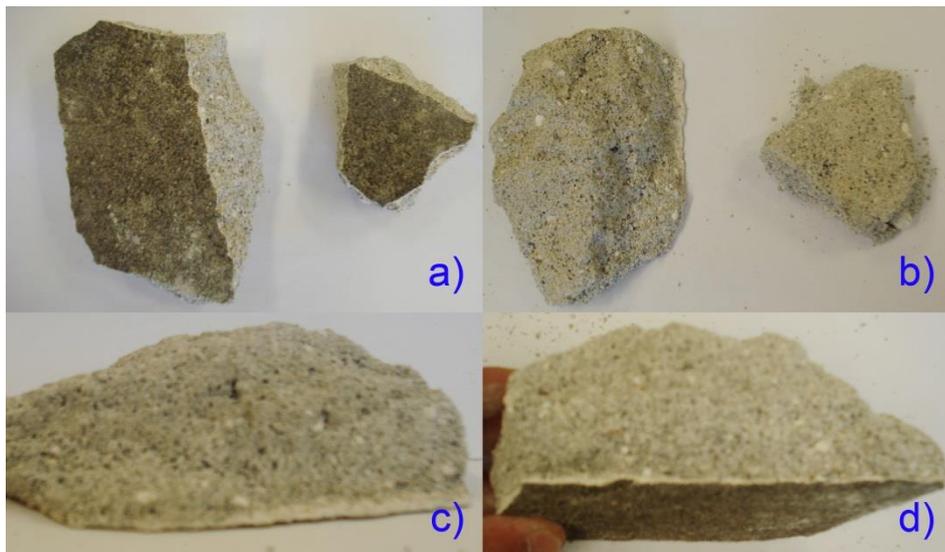


Figura 21 – Amostra com referência SJ\_PI1\_A2; a) Face exteriores à vista; Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral exterior com referência de dedos; Maio de 2011

## 7.3.2 – Resultados

### 7.3.2.1 – Difração de raios X

Por observação do difratograma de raios X verifica-se que a camada 1 da amostra SJ\_PE1\_A1 é essencialmente constituída por calcite, ca. 84 % e por sua vez a camada 2 é basicamente composta por plagioclases, piroxenas, olivinas, constituindo cerca de 78 % da camada, por calcite, aproximadamente 20 % e por óxido de ferro (hematite) (Figura\_All 7 e Quadro 9).

Quadro 9 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: SJ\_PE1\_A1, SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2.

Minerais	Referência das amostras							
	SJ_PE1_A1		SJ_PI1_A1				SJ_PI1_A2	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	84%	20%	20%	9%	23%	18%	80%	20%
Gesso [G]	---	---	---	2%	0,2%	0,9%	---	---
Hematite [H]	0,6%	2%	4%	4%	3%	3%	1,2%	3%
Magnesite [Mg]	---	---	5%	5%	2%	2%	---	---
Olivinas [O]	0,2%	1%	1%	3%	2%	3%	0,7%	3%
Piroxenas [Pi]	5%	31%	30%	36%	29%	30%	6%	30%
Plagioclases [P]	10%	46%	38%	40%	40%	42%	12%	44%
Portlandite [Po]	---	---	0,04%	---	0,03%	---	---	---
Rutile [R]	---	---	1%	2%	0,8%	0,7%	---	---

O difratograma correspondente à amostra SJ\_PI1\_A1 indica que a camada 1 é constituída por vários minerais, nomeadamente plagioclases, piroxenas e olivinas (cerca de 69 %) e calcite (ca. 20 %) com alguns vestígios de portlandite (aproximadamente 0,04 %).

O ligante da camada 2 é uma mistura de calcite (ca. 9 %), gesso (ca. 2 %). Os agregados (plagioclases, piroxenas e olivinas) em conjunto, constituem 79 % da camada.

Na camada 3, o ligante é principalmente a calcite, cerca de 23 %, contendo ainda vestígios de gesso e portlandite, já os agregados continuam a ser plagioclases, piroxenas e olivinas, constituindo cerca de 71% da camada 3.

A camada 4 é idêntica em termos mineralógicos à camada 3 apesar de já não haver vestígios de portlandite. A calcite também é o ligante principal (ca. 18 %), contendo

pequenas quantidades de gesso (ca. 0,9 %) e os agregados também são constituídos principalmente por plagioclases, piroxenas e olivinas, formando 75 % desta camada.

Em todas as camadas verifica-se a existência de hematite, magnesite e rutilo (Figura\_All 8 e Quadro 9).

Na amostra SJ\_PI1\_A2, por análise do difratograma conclui-se que a camada 1 é principalmente constituída por calcite, cerca de 80% e na camada 2 os seus principais minerais são as plagioclases, piroxenas, olivinas que constituem a maior parte dos agregados, na sua totalidade aproximadamente 77% e a calcite que represente o ligante, simbolizando cerca de 20% desta camada. Esta amostra ainda contém óxido de ferro, sob a forma de hematite (Figura\_All 9 e Quadro 9).

### **Difração de raios X: Análise comparativa**

Observando os três difratogramas (Figura\_All 7 a 9) e o Quadro 9 verifica-se que as camadas 1 das amostras SJ\_PE1\_A1 e SJ\_PI1\_A2 são muito parecidas, ambas são essencialmente constituídas por calcite variando em pequenas quantidades, devido à deficiente separação das amostras, a heterogeneidade das mesmas e à natureza do método.

Já a amostra SJ\_PI1\_A1 não pode-se fazer a mesma afirmação, nesta amostra a camada 1 assimila-se às camadas 2 das amostras SJ\_PE1\_A1 e SJ\_PI1\_A2 e às camadas 3 e 4 da própria amostra (SJ\_PI1\_A1). Os seus principais minerais são as plagioclases, piroxenas e olivinas, o ligante é a calcite e ambas contêm pequenas quantidades de óxido de ferro sob a forma de hematite.

Nas camadas 3 e 4 da amostra SJ\_PI1\_A1 já não se pode afirmar que o ligante é apenas a cal, mas sim uma mistura de calcite com gesso e no caso da camada 3 ainda contém pequenas quantidades de portlandite. Estas camadas são muito semelhantes deixando a ideia de que são basicamente a mesma argamassa mas aplicada em tempos diferentes. Na camada 1 desta mesma amostra (SJ\_PI1\_A1) é uma mistura de calcite com pequenas porções de portlandite. A amostra SJ\_PI1\_A1 ainda contém magnesite e rutilo em todas as suas camadas.

A camada 2 da amostra SJ\_PI1\_A1 é composta pelos mesmos minerais que as restantes camadas desta amostra mas apresenta um caso particular pois apresenta uma quantidade relativamente baixa de calcite, cerca de 9 %. O seu ligante é composto por calcite, gesso e portlandite.

### 7.3.2.2 – Análise termogravimétrica

O teor de calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) foi obtido a partir da perda de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e afigura-se no Quadro 10. Nota-se que a amostra SJ\_PI1\_A1 é a amostra que tem menos de teor de carbonato e a amostra exterior (SJ\_PE1\_A1) é a que tem mais, existindo uma diferença de 6 % entre elas.

Quadro 10 - Teores de  $\text{CaCO}_3$  determinados por análise termogravimétrica nas amostras: SJ\_PE1\_A1, SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2.

Gama de temperatura de 700 - 890 (°C)			
Amostras	SJ_PE1_A1	SJ_PI1_A1	SJ_PI1_A2
Camada	Camada 2	Camada 2	Camada 2
$\text{CaCO}_3$	21%	15%	18%

Comparando-se os resultados obtidos pela análise de difração de raios X e por análise termogravimétrica verifica-se que os valores são satisfatórios, pois na amostra SJ\_PE1\_A1 com a análise de difração de raios X obteve-se cerca de 20 % de carbonato de cálcio e pela análise termogravimétrica cerca de 21 %, na amostra SJ\_PI1\_A1 por DRX chegou-se a um valor de 14 % (9 % de calcite + 5 % de magnesite) e por ATG cerca de 15 % e na amostra SJ\_PI1\_A2 pela mesma ordem de ensaios 20 % de  $\text{CaCO}_3$  no primeiro e cerca de 18 % no segundo método.

Há que frisar que a amostra SJ\_PI1\_A1 é uma amostra muito particular, pois foi retirada de um rodapé e é constituída por quatro camadas.

### 7.3.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

No Quadro 11 estão indicadas as percentagens de resíduo insolúvel, após o ataque ácido.

Quadro 11 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: SJ\_PE1\_A1, SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2.

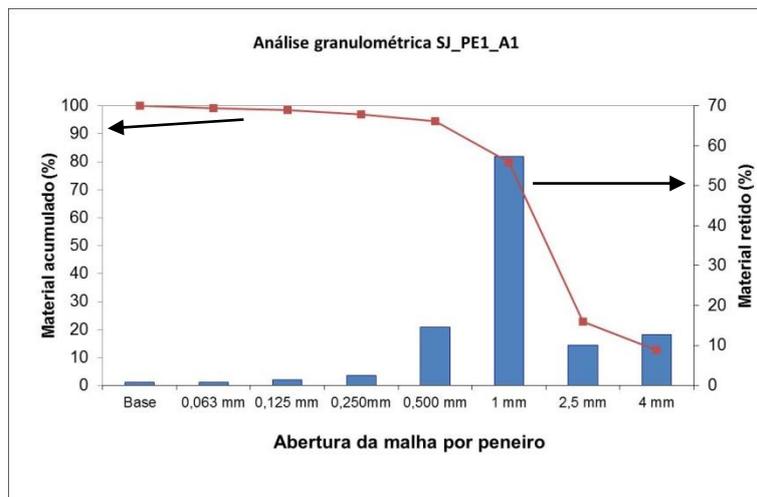
Amostra	SJ_PE1_A1	SJ_PI1_A1	SJ_PI1_A2
Resíduo insolúvel	63,8%	50,7%	53,4%

Pode-se verificar que nesta habitação não existem grandes diferenças na percentagem do resíduo insolúvel entre as paredes interiores, cerca de 50 % do material é solúvel em ácido (SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2), mas na fachada exterior (SJ\_PE1\_A1) já se nota um pequeno aumento da percentagem de resíduo insolúvel, sendo que cerca de

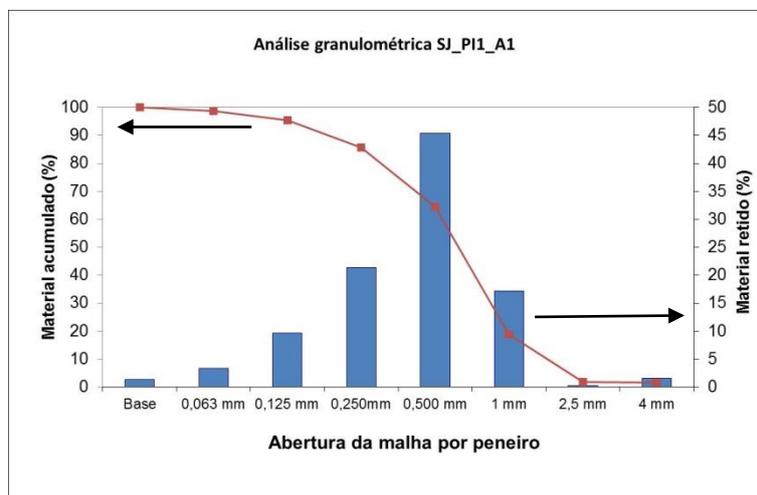
36 % do material é solúvel, havendo uma diferença de cerca 14 % de material solúvel em ácido entre as fachadas interiores e exteriores.

### 7.3.2.4 – Análise granulométrica

Examinando as curvas granulométricas pode-se verificar que as paredes interiores (SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2) apresentam um perfil granulométrico semelhante (Figura 22). A amostra da parede exterior (SJ\_PE1\_A1) é constituída por agregados de maiores dimensões.



a)



b)

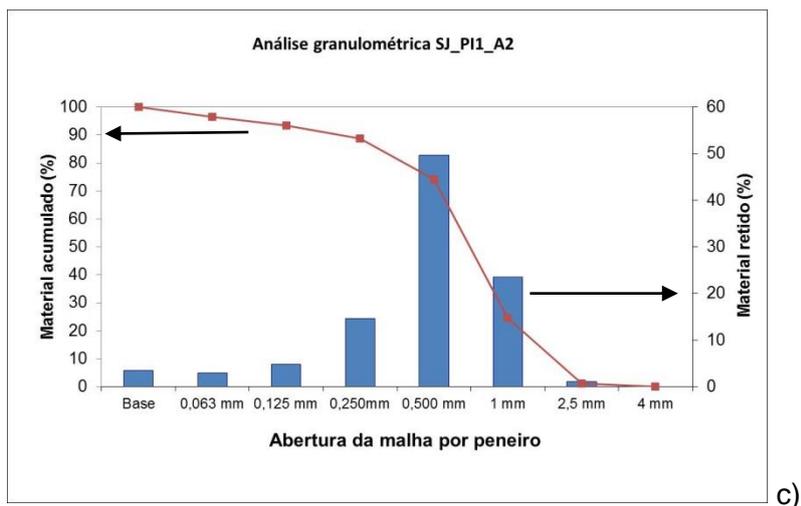


Figura 22 - Curvas granulométricas - a) amostra SJ\_PE1\_A1; b) amostra SJ\_PI1\_A1 e c) amostra SJ\_PI1\_A2.

Analisando a Figura 22 e o Quadro 12 verifica-se que na amostra SJ\_PE1\_A1 a maioria do material é retido nos peneiros de 4 mm a 0,500 mm, enquanto na amostra SJ\_PI1\_A1 é entre o 1 mm e os 0,125mm e na amostra SJ\_PI1\_A2 são nos peneiros de 1 mm a 0,250 mm.

Quadro 12 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: SJ\_PE1\_A1; SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2.

Abertura da malha	Referência das amostras					
	Material retido (%)			Material acumulado (%)		
	SJ_PE1_A1	SJ_PI1_A1	SJ_PI1_A2	SJ_PE1_A1	SJ_PI1_A1	SJ_PI1_A2
4 mm	12,67	1,53	0,00	12,67	1,53	0,00
2,5 mm	10,04	0,25	1,03	22,71	1,79	1,03
1 mm	57,30	17,13	23,50	80,01	18,92	24,53
0,500 mm	14,57	45,41	49,65	94,58	64,33	74,18
0,250 mm	2,48	21,36	14,56	97,06	85,69	88,74
0,125 mm	1,37	9,68	4,73	98,43	95,36	93,47
0,063 mm	0,80	3,29	3,00	99,23	98,65	96,47
Base	0,77	1,35	3,53	100,00	100,00	100,00

Portanto a granulometria das areias da amostra exterior (SJ\_PE1\_A1) localiza-se entre 4 mm e 0,500 mm, ou seja, varia entre agregado fina a agregado grosso. Quanto às amostras interiores, a amostra SJ\_PI1\_A1 têm um traçado entre os 1 mm e os 0,125 mm e amostra SJ\_PI1\_A2 entre 1 mm e 0,250 mm, caracterizados por agregado grosso.

### Comentários finais:

Em suma pode-se afirmar que as amostras SJ\_PE1\_A1 e SJ\_PI1\_A2 são muito parecidas mineralogicamente, pois são ambas compostas pelos mesmos minerais em porções idênticas. As camadas 1 destas amostras são essencialmente constituídas por cal aérea e as camadas 2 são compostas por um ligante de cal aérea e agregados, plagioclases, piroxenas e olivinas. Estas amostras ainda contêm pequenas quantidades de óxido de ferro (hematite).

A amostra SJ\_PI1\_A1 já contém quatro camadas e mais variedades de minerais. O ligante da camada 1 é uma mistura de calcite e portlandite, da camada 2 e 3 é uma fusão de calcite, gesso e portlandite e a camada 4 é uma mistura de calcite e gesso. Em ambas camadas os agregados são constituídos por plagioclases, piroxenas e olivinas, ambas contêm hematite, magnesite e rutilo. De realçar que a camada 3 e 4 são muito parecidas, que a não ser o fato da camada 3 ter pequenos vestígios de portlandite, todo leva a crer que trata-se da mesma argamassa mas aplicada em alturas diferentes.

Segundo a análise termogravimétrica verifica-se que a amostra exterior (SJ\_PE1\_A1) contém um pouco mais teor de carbonato de cálcio que as restantes e a amostra SJ\_PI1\_A1 é a que contém menos, apesar de a diferença ser muito pequena (cerca de 6 %) e a média de teor de carbonato de cálcio das três amostras é de 18 %.

A partir da determinação da percentagem de resíduo insolúvel pode-se verificar que cerca de 50 % do material das amostras interiores é solúvel em ácido e na amostra exterior SJ\_PE1\_A1 apenas cerca de 36 %.

A análise granulométrica mostra alguma diferença nos perfis granulométricos entre as amostras exterior (SJ\_PE1\_A1) e interiores (SJ\_PI1\_A1 e SJ\_PI1\_A2), em que a amostra exterior apresenta agregados de maiores dimensões, sendo uma variação entre agregado fino e grosso, enquanto que as amostras interiores são compostas por agregado fino.

#### **7.4 – Casa 4: Boaventura**

Solar da Silveira, é uma moradia de grandes dimensões que segundo nos relataram os locais, pertenceu a “senhores importantes, governantes daquelas terras”.

Segundo as pesquisas que se fez no elucidário madeirense, concluiu-se que esta habitação foi edificada pelos morgados Licios de Lagos, em que o morgado e coronel Licio era o comandante do regimento de milícias de São Vicente, e que não chegaram a

acabar a sua obra. No elucidário madeirense, não foi possível obter referências exatas deste edifício, apenas refere que esta família construiu uma grande casa no sítio da Silveira, sendo que nesta zona não existe mais nenhuma grande casa, conclui-se que se referem à habitação em estudo.

Mais recentemente os locais informaram que os últimos donos teriam sido o Sr. Ernesto Romão, que herdou do seu pai o Sr. João Romão e que por fim tinha vendido à câmara, na altura presidida pelo Sr. Gabriel Drumond.

Esta está datada no próprio local com o ano 1785, e tendo em conta a sua idade não está em muito mau estado, pois as fachadas exteriores encontram-se de “pé”, apenas o seu interior está razoavelmente danificado, pois faltam certas fachadas, escadarias e em algumas que ainda estão correm o risco de colapso (Figuras 23 a) – d)).



Figuras 23 a) - d). – Diversas vistas com diferentes orientações das fachadas do solar da Silveira, situado na Boaventura, Maio de 2011.

#### 7.4.1 – Amostragem

Desta habitação foram retiradas três amostras, uma exterior e duas interiores, de paredes distintas.

##### *Amostra com referência B\_PE1\_A1*

A amostra exterior é constituída por duas camadas, uma é de acabamento, de tom esverdeada, com superfície irregular e uma espessura de cerca de 1 mm e a outra camada é basicamente uma argamassa esbranquiçada (Figura 24).



Figura 24 – Amostra com referência B\_PE1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

*Amostra com referência B\_PI1\_A1*

Relativamente ao interior da casa, a amostra 1 (B\_PI1\_A1) é uma amostra de espessura fina constituída por duas camadas, em que a primeira é basicamente uma camada de cal com ocre de cor branca/rosa, com uma espessura de cerca de 2 mm, e a segunda é uma argamassa de cor cinzenta/branca (Figura 25), mais escura que a amostra exterior (B\_PE1\_A1).



Figura 25 - Amostra com referência B\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

### Amostra com referência B\_PI2\_A1

Já a amostra 2 (B\_PI2\_A1) é constituída por apenas uma camada de cor cinzento-escuro. Esta foi retirada de uma parede junto a uma escada e é muito fraca, pois já na altura da recolha teve-se alguma dificuldade em colhe-la, pois esta desfazia-se em pedaços pequenos (Figura 26).

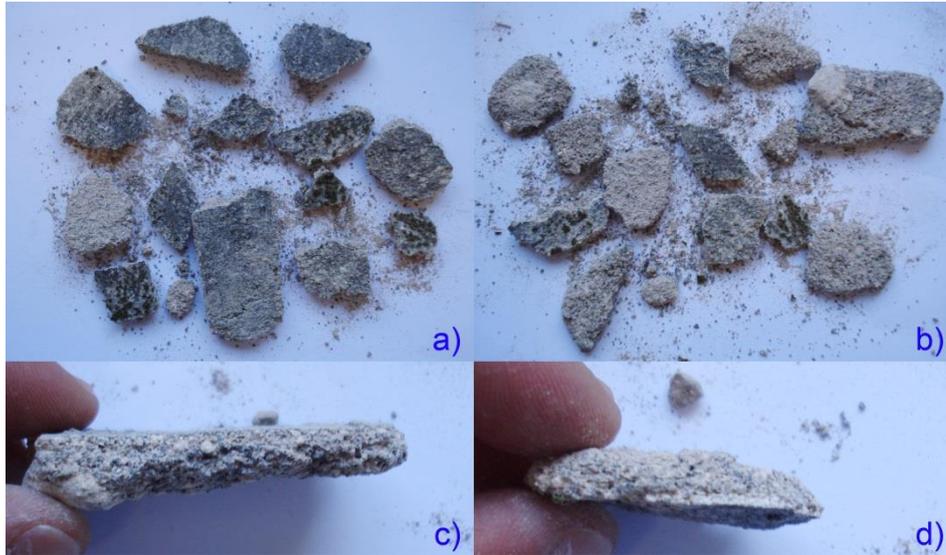


Figura 26 - Amostra com referência B\_PI2\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) e d) Lateral com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.4.2 – Resultados

### 7.4.2.1 – Difração de raios X

Por análise do difratograma da Figura\_All 10 e do Quadro 13 observa-se que a camada 1 da amostra B\_PE1\_A1 é essencialmente constituída por calcite, aproximadamente 93 % e a camada 2 por calcite (ca. 22 %), olivinas, piroxenas e plagioclases (num todo cerca de 76 %). Qualquer uma das duas camadas contém ainda vestígios de hematite.

Quadro 13 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: B\_PE1\_A1, B\_PI1\_A1 e B\_PI2\_A1.

Minerais	Referência das amostras				
	B_PE1_A1		B_PI1_A1		B_PI2_A1
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1
Calcite [C]	93%	22%	95%	13%	29%
Hematite [H]	0,2%	2%	0,4%	2%	2%
Olivinas [O]	1%	8%	1%	8%	9%
Piroxenas [Pi]	1%	25%	2%	31%	26%
Plagioclases [P]	5%	43%	0,5%	46%	34%
Quartzo [Qz]	---	---	---	0,8%	---

Observando o difratograma da Figura\_A11 11 e do Quadro 13 verifica-se que a camada 1 da amostra B\_PI1\_A1 é maioritariamente constituída por calcite, cerca de 95 % e a camada 2 por calcite (ca. 13%), olivinas, piroxenas e plagioclases (em conjunto, aproximadamente 85 %). As duas camadas contêm também hematite e a camada 2 contêm ainda vestígios de quartzo.

A amostra B\_PI2\_A1 é composta por uma única camada, característica de uma camada 2, essencialmente composta por calcite (ca. 29 %), olivinas, piroxenas e plagioclases (em conjunto cerca de 69 %). Contém ainda hematite (Figura\_A12 e Quadro 13).

### Difração de raios X: Análise comparativa

Em suma pode-se afirmar que as amostras B\_PE1\_A1 e B\_PI1\_A1 são muito semelhantes quer pelos minerais que as constituem quer pelas proporções. São ambas constituídas por duas camadas em que a primeira camada é basicamente composta por calcite, (cerca de 94 % em média) e a camada 2 é composta por ligante (a calcite) e agregados (olivinas, piroxenas e plagioclases). Na amostra B\_PE1\_A1 ca. 22% de calcite e ca. 76 % de agregados e na amostra B\_PI1\_A1 ca. 13 % de ligante e ca. 85 % de agregados.

A amostra B\_PI2\_A1 já é composta por uma única camada que se aproxima mais das camadas 2 das restantes amostras (B\_PE1\_A1 e B\_PI\_A1). É essencialmente composta por calcite (ca. 29 %), olivinas, piroxenas e plagioclases (ca. 69 %).

#### 7.4.2.2 – Análise termogravimétrica

No Quadro 14 estão representadas as percentagens de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), determinadas a partir da perda do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ).

Quadro 14 - Teores de  $\text{CaCO}_3$  determinados por análise termogravimétrica nas amostras: B\_PE1\_A1, B\_PI1\_A1 e B\_PI2\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)			
Amostras	B_PE1_A1	B_PI1_A1	B_PI2_A1
Camada	Camada 2	Camada 2	Camada 2
$\text{CaCO}_3$	23%	15%	29%

Observe-se que a amostra B\_PI1\_A1 é a que tem menos teor de carbonato de cálcio e a amostra B\_PI2\_A1 é a que tem mais, havendo uma diferença entre elas de 14 %.

Na amostra B\_PE1\_A1 obteve-se ca. 23 % de  $\text{CaCO}_3$  por este método e ca. 22 % no método da difração de raios X, na amostra B\_PI1\_A1 ca. 15 % e ca. 13 %, e pela mesma ordem de ensaios e na amostra B\_PI2\_A1 chegou-se ao mesmo valor de 29 % pelos dois métodos, o que se conclui que os resultados são muito satisfatórios.

#### 7.4.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

Depois da realização do ataque ácido determinou-se as percentagens de resíduo insolúvel (Quadro 15).

Quadro 15 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: B\_PE1\_A1, B\_PI1\_A1 e B\_PI2\_A1.

Amostra	B_PE1_A1	B_PI1_A1	B_PI2_A1
Resíduo insolúvel	66,1%	51,8%	59,8%

Nota-se que as percentagens de resíduo insolúvel são muito próximas, sendo a maior diferença de cerca de 14 %. Em média cerca de 40 % do material destas amostras é solúvel em ácido.

#### 7.4.2.4 – Análise granulométrica

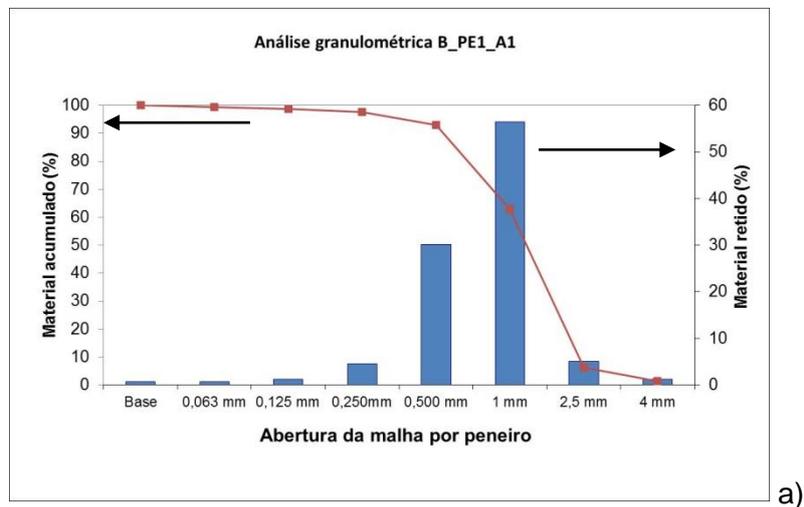
Observando as curvas granulométricas pode-se verificar algumas variações nos três perfis granulométricos (Figura 27).

Nas amostras B\_PE1\_A1 e B\_PI1\_A1 os peneiros que reteram mais material foram os de 1 mm e de 0,500 mm e na amostra B\_PI2\_A1 foram os de 1 mm, 0,500 mm e 0,250 mm (Figura 27 e Quadro 16).

Quadro 16 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: B\_PE1\_A1, B\_PI1\_A1 e B\_PI2\_A1.

Abertura da malha	Referência das amostras					
	Material retido (%)			Material acumulado (%)		
	B_PE1_A1	B_PI1_A1	B_PI2_A1	B_PE1_A1	B_PI1_A1	B_PI2_A1
4 mm	1,26	0,00	0,99	1,26	0,00	0,99
2,5 mm	5,07	2,18	1,48	6,33	2,18	2,47
1 mm	56,48	47,14	20,84	62,81	49,32	23,31
0,500 mm	30,22	41,91	51,34	93,03	91,23	74,65
0,250 mm	4,50	5,18	19,22	97,53	96,41	93,87
0,125 mm	1,18	1,89	3,17	98,71	98,30	97,04
0,063 mm	0,66	0,96	1,48	99,37	99,26	98,52
Base	0,63	0,74	1,48	100,00	100,00	100,00

A granulometria das areias das amostras B\_PE1\_A1 e B\_PI1\_A1 está entre os 1 mm a 0,500 mm e o da amostra B\_PI2\_A1 está entre 1 mm a 0,250 mm, sendo os três caracterizados por agregados finos (Figura 27 e Quadro 16).



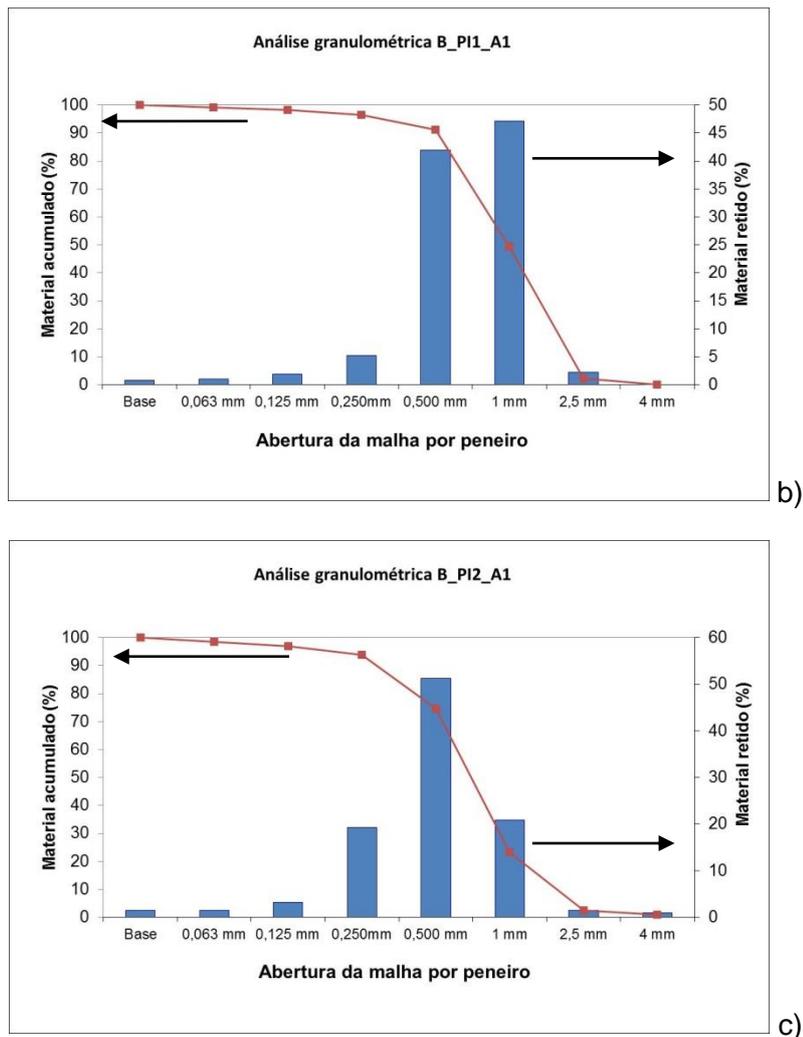


Figura 27 - Curvas granulométricas - a) amostra B\_PE1\_A1, b) amostra B\_PI1\_A1 e c) amostra B\_PI2\_A1.

Comentários finais:

Em síntese, a amostragem desta habitação é constituída por três amostras, em que duas dessas amostras (B\_PE1\_A1 e B\_PI1\_A1) são compostas por duas camadas e a terceira apenas por uma camada (B\_PI2\_A1).

As duas primeiras amostras (que contêm duas camadas), a B\_PE1\_A1 e a B\_PI1\_A1 são parecidas, as camadas 1 destas são maioritariamente constituídas por cal aérea e as camadas 2 tem a cal aérea como ligante e os agregados característicos de uma região vulcânica (o nosso caso), tais como as olivinas, as piroxenas e as plagioclases.

A camada única da amostra B\_PI2\_A1 assemelha-se às camadas 2 das restantes amostras desta casa, ou seja contém os agregados típicos, as olivinas, as piroxenas e as plagioclases e contém a cal aérea como ligante.

Com a análise termogravimétrica nota-se diferenças no teor de carbonato de cálcio, sendo que a amostra B\_PI2\_A1 é a que tem mais percentagem de carbonato de cálcio e a amostra B\_PI1\_A1 é a que tem menos.

Comparando os valores obtidos nos processos de análise de difração de raios X e análise termogravimétrica, considera-se muito satisfatórios devido à sua proximidade.

A partir do ataque ácido pode-se verificar que em média 40 % do material analisado nesta habitação é solúvel em ácido clorídrico.

Apesar de análise granulométrica mostrar três perfis granulométricos com algumas diferenças, obteve-se uma granulometria de agregados única para as três amostras caracterizado por agregados finos.

## **7.5 – Casa 5: Ponta Delgada**

Casa de grandes dimensões, ao abandono há muito tempo. Segundo relatou a irmã do atual proprietário, a D. Julieta, este edifício pertenceu à princesa Elisabeth Amalie Eugenie Von Wittelsbach, conhecida como a princesa Sissi da Áustria e Hungria. Chegou a passar por um sacerdote, depois por um homem de grandes posses conhecido nas redondezas como o Senhor Engenheiro João da Cruz Fidélio de Canha até chegar ao Sr. António Jacinto Fernandes, ainda proprietário do imóvel (Figuras 28 a) - f)).

### **7.5.1 – Amostragem**

Foram retiradas duas amostras, uma de uma parede exterior e outra de uma parede interior.

#### *Amostra com referência PD\_PE1\_A1*

A amostra da parede exterior (PD\_PE1\_A1) é constituída por duas camadas, em que a primeira trata-se de uma camada de acabamento com pigmentação de cor cinzenta com uma mistura de castanho, com uma textura porosa e uma espessura de cerca de 0,5 mm e a segunda camada é uma argamassa cinzenta (Figura 29).

#### *Amostra com referência PD\_PI1\_A1*

A amostra interior também é constituída por também por duas camadas, uma é uma argamassa com uma textura um pouco porosa, menos que a exterior e é revestida por uma camada mais lisa com 0,5 a 1 mm de espessura e caiada de branco (Figura 30).



Figuras 28 a) - f). – Vários planos com diferentes orientações das fachadas do edifício situado na Ponta Delgada, Maio de 2011.



Figura 29 – Amostra com referência PD\_PE1\_A1; a) Face exterior à vista; Face interior à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.



Figura 30 - Amostra com referência PD\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.5.2 – Resultados

### 7.5.2.1 – Difração de raios X

Observando o difratograma da Figura\_All 13 e o Quadro 17 nota-se que a camada 1 da amostra PD\_PE1\_A1 é praticamente constituída apenas por calcite, aproximadamente 99 % e a camada 2 é essencialmente constituída por calcite (ca. 20 %), olivinas, piroxenas e plagioclases (em conjunto, cerca de 77 %). As duas camadas contêm hematite e a camada 2 contêm vestígios de quartzo.

A camada 1 da amostra PD\_PI1\_A1 é essencialmente constituída por calcite, aproximadamente 93 % e a camada 2 por calcite (ca. 15 %), olivinas, piroxenas e plagioclases (perfazendo um todo de cerca de 82 %). Ambas camadas contêm também hematite e a camada 2 contêm ainda quartzo (Figura\_All 14 e Quadro 17).

Quadro 17 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PD\_PE1\_A1 e PD\_PI1\_A1.

Minerais	Referência das amostras			
	PD_PE1_A1		PD_PI1_A1	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	99%	20%	93%	15%
Hematite [H]	0,3%	3%	1%	3%
Olivinas [O]	0,5%	12%	2%	7%
Piroxenas [Pi]	0,6%	32%	3%	26%
Plagioclases [P]	0,01%	33%	2%	49%
Quartzo [Qz]	---	0,4%	---	0,04%

### Difração de raios X: Análise comparativa

A partir da análise de difração de raios X pode-se verificar que as duas amostras são muito parecidas. As camadas 1 de cada uma das amostras são maioritariamente compostas por calcite (em média cerca de 96 %) e as camadas 2 são compostas por calcite como ligante (em média cerca de 18 %) e por agregados típicos da região tais como as olivinas, as piroxenas e as plagioclases (em média cerca de 80 %).

#### 7.5.2.2 – Análise termogravimétrica

Os teores de carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ) a partir da perda do dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), apresentam-se Quadro 18.

Quadro 18 - Teores de  $\text{CaCO}_3$  determinados por análise termogravimétrica nas amostras: PD\_PE1\_A1 e PD\_PI1\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)		
Amostras	PD_PE1_A1	PD_PI1_A1
Camada	Camada 2	Camada 2
$\text{CaCO}_3$	22%	18%

Verifica-se que as percentagens de carbonato de cálcio não variam muito entre as duas amostras sendo a diferença de 4%.

Conclui-se que os resultados obtidos na difração de raios X e na análise termogravimétrica são coerentes entre si. Na camada 2 da amostra PD\_PE1\_A1, com análise de difração de raios X obteve-se cerca de 20 % de  $\text{CaCO}_3$  e na análise termogravimétrica aproximadamente 22 %, e na camada 2 da amostra PD\_PI1\_A1 ca. 15 % e 18 %, respectivamente

### 7.5.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

No Quadro 19 estão representadas as percentagens de resíduo insolúvel, calculadas após o ataque ácido.

Quadro 19 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PD\_PE1\_A1 e PD\_PI1\_A1.

Amostra	PD_PE1_A1	PD_PI1_A1
Resíduo insolúvel	68,6%	71,4%

Nota-se que as percentagens de resíduo insolúvel não variam muito, cerca de menos de 3 %, o que se traduz numa semelhança na escolha e utilização do tipo de agregado nas duas fachadas.

### 7.5.2.4 – Análise granulométrica

As curvas granulométricas desta habitação mostram perfis semelhantes (Figura 31).

Na amostra PD\_PE1\_A1 os peneiros que retêm mais material são os de 2,5 mm, 1 mm e 0,500 mm e na amostra PD\_PI1\_A1 são os de 4 mm, 2,5 mm, 1 mm e 0,500 mm (Figura 31 e Quadro 20).

A granulometria das areias da amostra PD\_PE1\_A1 está entre os 2,5 mm e os 0,500 mm, caracterizada por agregados finos e a da amostra PD\_PI1\_A1 está entre os 4 mm e os 0,500 mm, sendo caracterizados agregados finos a agregados grossos (Figura 31 e Quadro 20).

Quadro 20 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: PD\_PE1\_A1 e PD\_PI1\_A1.

Abertura da malha	Referência das amostras			
	Material retido (%)		Material acumulado (%)	
	PD_PE1_A1	PD_PI1_A1	PD_PE1_A1	PD_PI1_A1
4 mm	4,01	11,43	4,01	11,43
2,5 mm	18,66	15,26	22,67	26,69
1 mm	51,32	52,76	73,99	79,45
0,500 mm	16,53	16,72	90,52	96,17
0,250 mm	4,71	2,16	95,23	98,33
0,125 mm	2,37	0,70	97,60	99,03
0,063 mm	1,23	0,57	98,83	99,60
Base	1,17	0,40	100,00	100,00

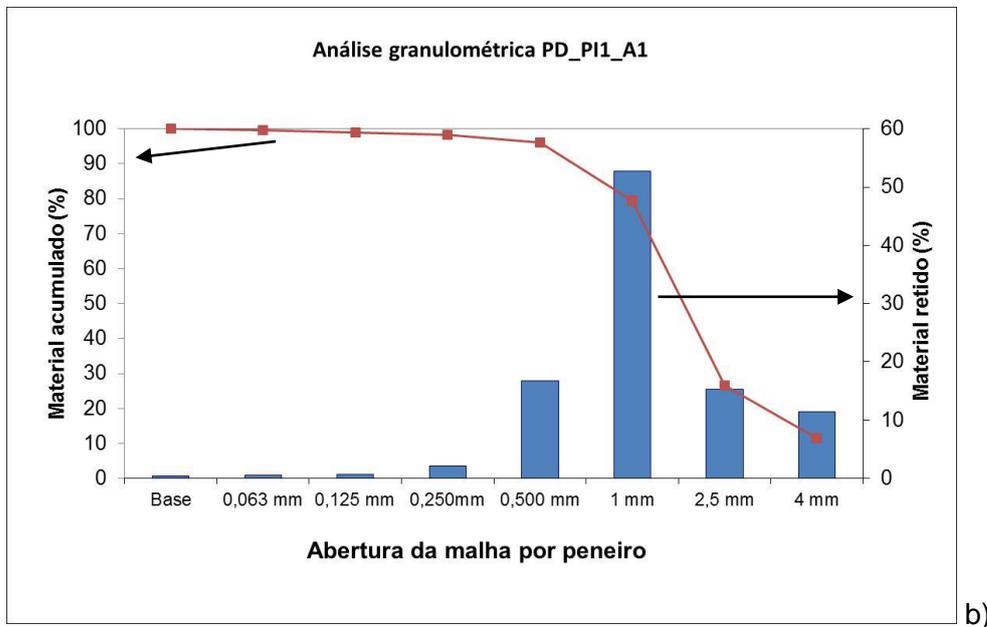
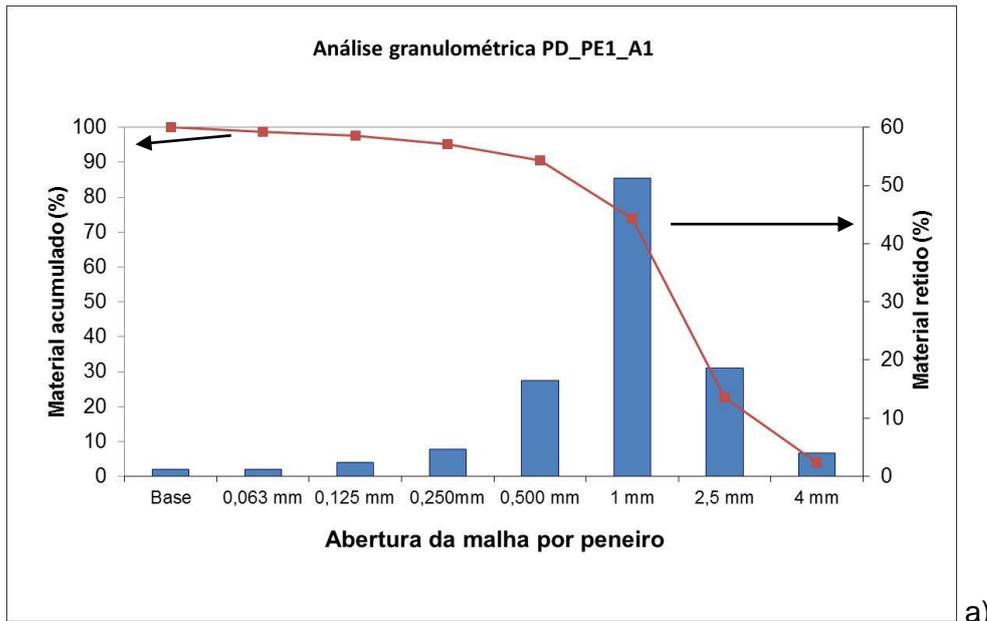


Figura 31 - Curvas granulométricas - a) amostra PD\_PE1\_A1 e b) amostra PD\_PI1\_A1.

Comentários finais:

Concluindo, as amostras desta habitação são constituídas por duas camadas muito semelhantes entre si, quer no tipo de minerais, quer na quantidade. As camadas 1 das duas amostras são ambas essencialmente constituídas por cal aérea e as camadas 2 tem como ligante a cal aérea e agregados, os agregados característicos da região, (misturas de olivinas, piroxenas e plagioclases).

Através da análise termogravimétrica deteta-se uma diferença muito pequena no teor de carbonato de cálcio entre as duas amostras, sendo que a amostra exterior (PD\_PE1\_A1) é a que contém um pouco mais de carbonato de cálcio.

Afirma-se ainda que os resultados obtidos quer na difração de raios X, quer na análise termogravimétrica são satisfatórios pois são concordantes entre si.

Com a determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido nota-se uma semelhança na escolha e utilização do tipo de agregado nas duas fachadas, pois em ambas as amostras verifica-se quantidades de material solúvel em ácido clorídrico muito próximas, ca. 30 %.

Após a análise granulométrica é possível observar que a granulometria das areias desta habitação variam entre agregado fino a agregado grosso.

#### 7.6 – Casa 6: Porto Santo – Camacha 1

Habitação rural antiga de pequenas dimensões, abandonada, que ainda contém a maior parte das suas fachadas, um pouco devido à sua estrutura resistente em pedra (Figuras 32 a) - d)).



Figuras 32 a) - d). – Diferentes vistas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Camacha, Maio de 2011.

### 7.6.1 – Amostragem

Deste edifício foram retiradas três amostras, sendo duas de paredes exteriores e uma de parede interior.

#### *Amostra com referência PSC1\_PE1\_A1*

É difícil distinguir mais do que uma camada na primeira amostra apenas pela observação direta, mas de qualquer forma decidiu-se raspar a camada mais exterior que apresenta uma cor escura, enquanto o resto da amostra tem a tonalidade de castanho claro (Figura 33).

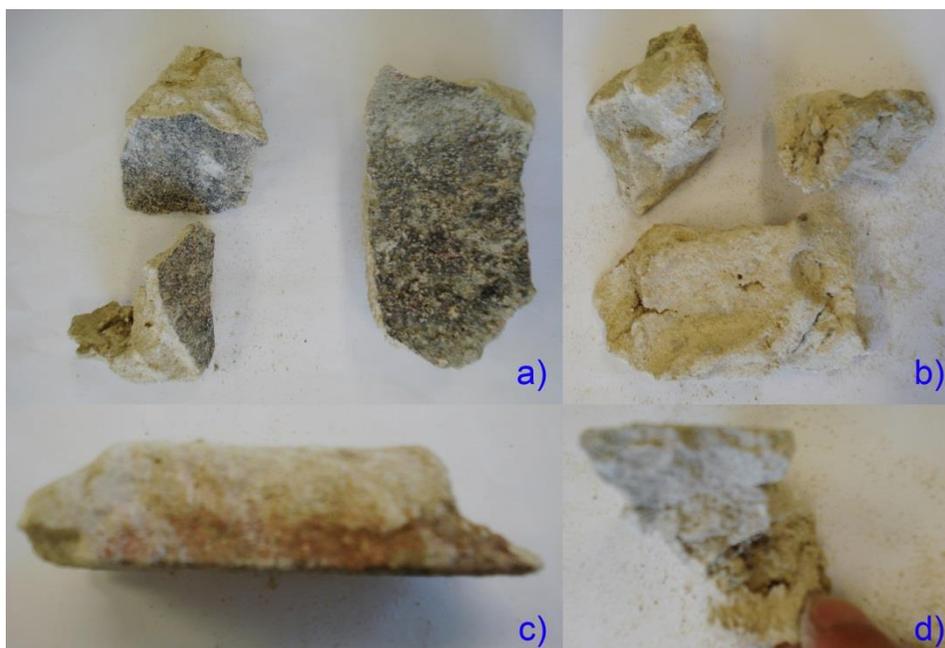


Figura 33 - Amostra com referência PSC1\_PE1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

#### *Amostra com referência PSC1\_PE1\_A2*

Quanto à segunda amostra, apesar de por vezes ser difícil distinguir as suas duas camadas, já é mais fácil distingui-las do que a amostra PSC1\_PE1\_A1. Também é da cor castanho claro e a superfície que ficava em contacto com o ar também tem um tom mais escuro (Figura 34), apesar de não ser tão escuro como no primeiro caso (PSC1\_PE1\_A1), a camada 1 (mais exterior) tem cerca de 5 mm de espessura.

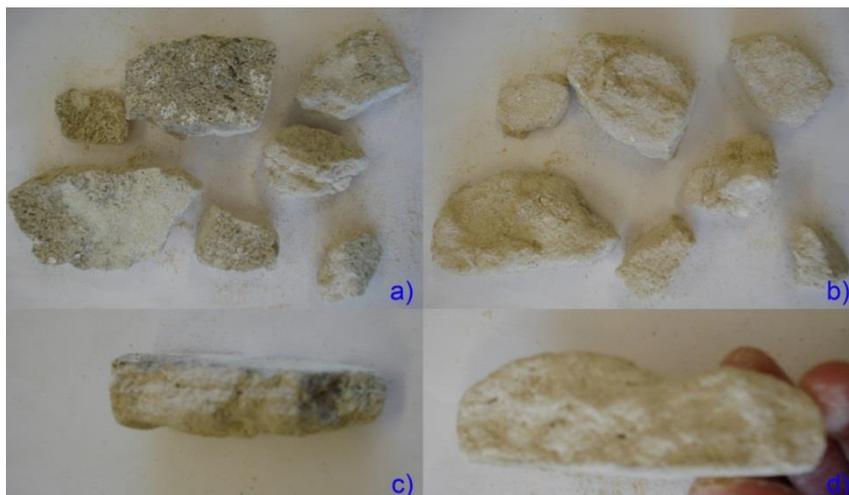


Figura 34 - Amostra com referência PSC1\_PE1\_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

*Amostra com referência PSC1\_PI1\_A1*

A amostra interior (PSC1\_PI1\_A1) já apresenta umas diferenças significativas quanto às amostras exteriores. É constituída por duas camadas bem distintas à vista desarmada, em que a primeira, a camada de acabamento é uma camada de cal branca, com uma espessura entre 1 a 2 mm e a segunda é uma argamassa arenosa, em que na altura da separação, com a fricção esta ia desfazendo-se. As duas camadas estão bem presas uma à outra, o que causou grande dificuldade na sua separação e houve uma certa contaminação da primeira camada pela segunda (Figura 35).



Figura 35 - Amostra com referência PSC1\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.6.2 – Resultados

### 7.6.2.1 – Difração de raios X

Na amostra PSC1\_PE1\_A1 a análise do difratograma de raios X mostra que ambas as camadas são muito semelhantes, ambas são majoritariamente constituídas por aragonite<sup>15</sup>, calcite e calcite magnesiana<sup>16</sup> (em média cerca de 92 %), contém vestígios de dolomite e pequenas quantidades de piroxenas e plagioclases (Figura\_All 15 e Quadro 21).

Quadro 21 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSC1\_PE1\_A1, PSC1\_PE1\_A2 e PSC1\_PI1\_A1.

Minerais	Referência das amostras					
	PSC1_PE1_A1		PSC1_PE1_A2		PSC1_PI1_A1	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	16%	22%	15%	20%	2%	23%
Calcite [C]	42%	33%	39%	32%	74%	29%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	32%	38%	34%	39%	18%	39%
Dolomite [D]	vtg	vtg	---	---	---	---
Halite [Ha]	---	---	0,8%	0,5%	2%	1%
Piroxenas [Pi]	5%	3%	6%	3%	4%	4%
Plagioclases [P]	4%	4%	6%	5%	0,6%	5%

Analisando a Figura\_All 16 e o Quadro 21 nota-se também, que as duas camadas da amostra PSC1\_PE1\_A2 são parecidas, essencialmente constituídas por aragonite, calcite e calcite magnesiana (em média aproximadamente 90 %) e em menores quantidades por halite, piroxenas e plagioclases.

Quanto à amostra PSC1\_PI1\_A1 a camada 1 é majoritariamente constituída por calcite e calcite magnesiana (ca. 92 %) e a camada 2 por aragonite, calcite e calcite magnesiana (ca. 91 %). Contém ainda halite, piroxenas e plagioclases (Figura\_All 17 e Quadro 21).

<sup>15</sup> Aragonite: uma das formas mais comuns de ocorrência natural do carbonato de cálcio (sendo a outra a calcite).

<sup>16</sup> Calcite magnesiana: é um mineral estruturalmente semelhante à calcite, em que parte dos iões Ca da rede cristalina é substituída por iões Mg.

## Difração de raios X: Análise comparativa

Neste caso, caso de habitações características da ilha do Porto Santo, as suas argamassas são essencialmente compostas por agregados de origem calcária, devido ao próprio material existente na ilha e por cal aérea como ligante.

Nota-se um aumento de calcite em relação às amostras da ilha da Madeira em especial nas camadas 2 e o aparecimento de minerais semelhantes à calcite como a aragonite e a calcite magnesiana.

As amostras exteriores (PSC1\_PE1\_A1 e PSC1\_PE1\_A2) apresentam algumas semelhanças, as suas duas camadas são ambas parecidas, ambas constituídas essencialmente por aragonite, calcite e calcite magnesiana, contem menores quantidades de piroxenas e plagioclases. A amostra PSC1\_PE1\_A1 ainda contém vestígios dolomite e a amostra PSC1\_PE1\_A2 de halite.

Na amostra PSC1\_PI1\_A1 a camada 1 já é maioritariamente constituída por calcite e calcite magnesiana e a camada 2 por aragonite, calcite e calcite magnesiana. Ambas contêm halite, piroxenas e plagioclases em menores quantidades.

### 7.6.2.2 – Análise termogravimétrica

No Quadro 22 apresenta-se o valor do teor de carbonato de cálcio da amostra PSC1\_PE1\_A1 calculado a partir da perda de dióxido de carbono. Observa-se que a amostra é essencialmente constituída por carbonato de cálcio (cerca de 90 %), típico da ilha do Porto Santo<sup>17</sup>.

Quadro 22 - Teores de CaCO<sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSC1\_PE1\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)	
Amostra	PSC1_PE1_A1
Camada	Camada 2
CaCO <sub>3</sub>	90%

#### Comentários finais:

Comparado com os valores da difração de raios X com os da análise termogravimétrica, se somando as percentagens de aragonite, calcite e calcite

<sup>17</sup> No caso das amostras da ilha do Porto Santo este método não é muito adequado para a quantificação do ligante, uma vez que os seus agregados também são de origem calcária.

magnesiana obtém-se um valor aproximado de 93 %, o que é muito próximo ao valor de teor de carbonato cálcio determinado na análise termogravimétrica, podendo concluir que estes valores são satisfatórios.

Não foi determinada a percentagem de resíduo insolúvel, uma vez que após o ataque ácido às amostras do Porto Santo não ia sobrar basicamente agregados nenhuns, dada a natureza calcária dos mesmos, excepto as da zona da Serra de Dentro

### 7.7 – Casa 7: Porto Santo – Camacha 2

Prédio rural antigo pequeno, estruturado em pedra, em que as suas fachadas exteriores não estão revestidas (Figuras 36 a) - d)); por este motivo recolheram-se apenas duas amostras interiores.



Figuras 36 a) - d). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Porto Santo, Camacha, Maio de 2011.

#### 7.7.1 – Amostragem

##### *Amostra com referência PSC2\_PI1\_A1*

A primeira amostra foi retirada de uma junta de uma porta. Esta é constituída por duas camadas sendo a primeira de acabamento com várias camadas de cal branca que perfazem uma espessura de cerca de 0,5 a 1 mm e a segunda de argamassa de areia com o tom amarelado, que com o tato tinha tendência em desfazer-se (Figura 37).



Figura 37 - Amostra com referência PSC2\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior; Maio de 2011.

*Amostra com referência PSC2\_PI1\_A2*

A segunda amostra foi retirada de uma parede de divisória de tabique. Também constituída por duas camadas, a primeira igualmente de acabamento com várias camadas de cal, formando uma espessura de 1,5 a 2 mm e a segunda trata-se de uma argamassa de areia de tom amarelo claro, que por sua vez também se desfaz com tato. Nesta amostra nota-se a marcação das madeiras características de uma parede de tabique (Figura 38 - b).

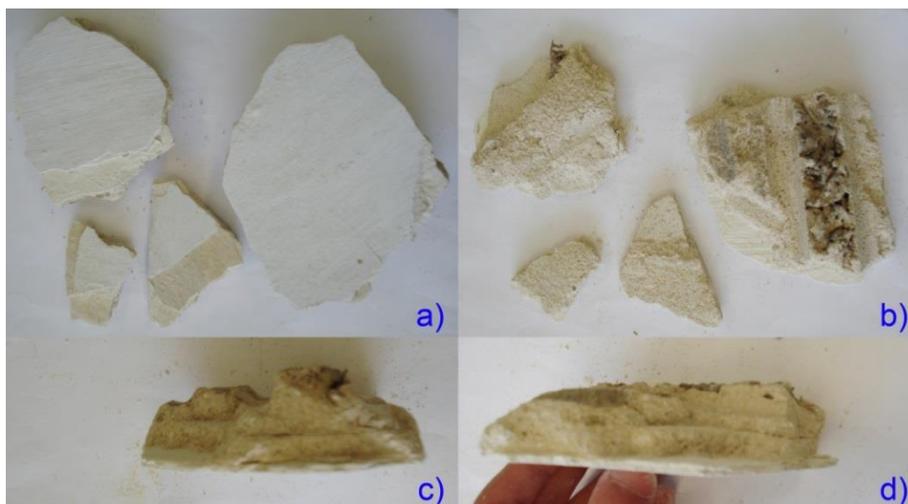


Figura 38 - Amostra com referência PSC2\_PI1\_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista, em que se nota a marcação das madeiras das paredes de tabique; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.7.2 – Resultados

### 7.7.2.1 – Difração de raios X

A análise de difração de raios X demonstra que ambas camadas da amostra PSC2\_PI1\_A1 são essencialmente constituídas por carbonato de cálcio em diversas formas (aragonite, calcite, calcite magnesiana e vaterite) cerca 92 % e em menores quantidades por gesso, halite, piroxenas e plagioclases (Figura\_A11 18 Quadro 23). No entanto há que realçar que a camada 1 é a camada que contém mais percentagem do mineral calcite.

Quadro 23 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSC2\_PI1\_A1 e PSC2\_PI1\_A2.

Minerais	Referência das amostras			
	PSC2_PI1_A1		PSC2_PI1_A2	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	4%	22%	2%	23%
Calcite [C]	60%	32%	65%	33%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	19%	36%	19%	34%
Gesso [G]	3%	0,6%	1%	0,6%
Halite [Ha]	2%	0,8%	0,5%	0,2%
Piroxenas [Pi]	3%	4%	3%	3%
Plagioclases [P]	0,4%	3%	0,07%	3%
Vaterite [V]	9%	2%	9%	2%

Analisando o difratograma da Figura\_A11 19 e Quadro 23 nota-se também que ambas camadas da amostra PSC2\_PI1\_A2 são maioritariamente constituída por carbonato de cálcio nas formas de aragonite, calcite, calcite magnesiana e vaterite, na camada 1 cerca de 95 % e na camada 2 cerca de 92 %, contendo ainda em menores percentagens gesso, halite piroxenas e plagioclases. Nesta amostra também deve-se realçar que a camada 1 contém mais percentagem de calcite que a camada 2.

#### Difração de raios X: Análise comparativa

Conclui-se que as duas amostras são muito parecidas, são ambas compostas por duas camadas e essas suas duas camadas também chegam a ser idênticas uma à outra a nível mineralógico, ou seja, são ambas essencialmente constituídas por carbonato de cálcio em diversas formas como aragonite, calcite, calcite magnesiana e vaterite e por gesso, halite, piroxenas, plagioclases em menores quantidades. As duas camadas 1

contêm mais percentagem de calcite, cal aérea, que as camadas 2 e contêm um aspeto de camada de acabamento.

### 7.8 – Casa 8: Porto Santo – Farrobo 1

Casa simples antiga, localizada no sítio do Farrobo, com aspeto muito desgastado, rodeada de vegetação o que indica que já está abandonada há um certo tempo (Figuras 39 a) - d)).



Figuras 39 a) - d). – Diferentes perspetivas com diferentes orientações das fachadas da residência situada no Porto Santo, Farrobo, Maio de 2011.

#### 7.8.1 – Amostragem

Foram retiradas quatro amostras desta habitação, duas exteriores e duas interiores.

*Amostra com referência PSF1\_PE1\_A1*

De cor castanho claro, constituída por duas camadas (ambas são muito parecidas entre si), em que a camada 1 tem uma espessura de cerca de 10 mm. A amostra é bastante friável, desfazendo-se facilmente (Figura 40).



Figura 40 - Amostra com referência PSF1\_PE1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior; d) Lateral interior de perfil; Maio de 2011.

*Amostra com referência PSF1\_PE1\_A2*

Parecida à amostra PSF1\_PE1\_A1, também de cor castanho claro, com duas camadas muito parecidas entre si, em que camada 1 tem cerca de 5 mm de espessura, de fácil separação e também muito friável (Figura 41).



Figura 41 - Amostra com referência PSF1\_PE1\_A2; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) e d) Lateral interior; Maio de 2011.

### *Amostra com referência PSF1\_PI1\_A1*

Esta amostra foi retirada de uma parede de tabique com a função de divisória entre os compartimentos da habitação. Foram detetadas três camadas, a primeira de acabamento em cal branca, com a espessura de cerca de 1 mm e as restantes de argamassa de tom claro de aspeto arenoso (Figura 42).

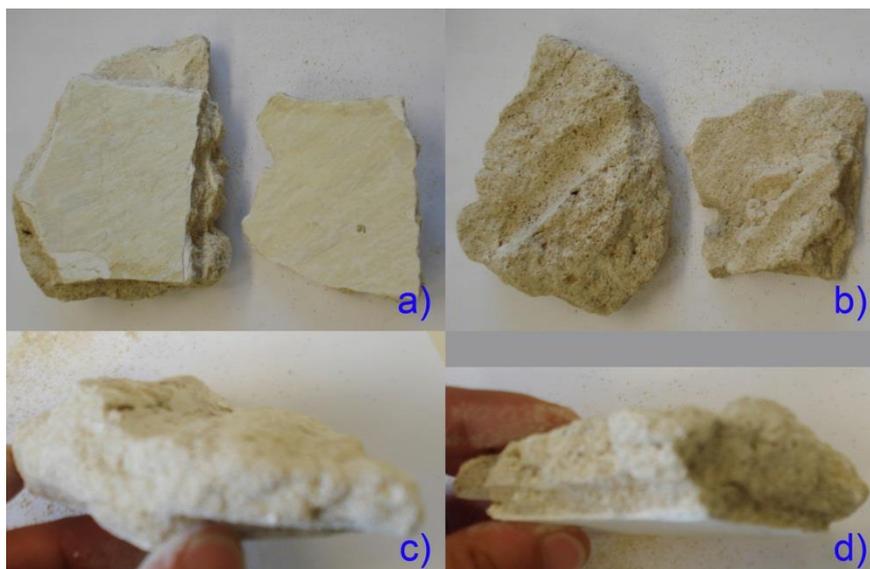


Figura 42 - Amostra com referência PSF1\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala dos dedos; d) Lateral exterior com escala dos dedos; Maio de 2011.

### *Amostra com referência PSF1\_PI1\_A2*

Foi retirada da parte interior de uma parede de fronteira entre o exterior e o interior da habitação. Contém apenas duas camadas, a primeira também de acabamento de tom branco com a espessura de cerca de 1 mm e a segunda é uma argamassa em que o seu aspeto e textura são parecidos aos da segunda e terceira camada da primeira amostra interior (PSF1\_PI1\_A1) (Figura 43).

## **7.8.2 – Resultados**

### **7.8.2.1 – Difração de raios X**

A análise do difratograma revela que a camada 1 e a camada 2 da amostra PSF1\_PE1\_A1 são compostas basicamente pelos mesmos minerais em proporções semelhantes. Ambas contêm aragonite, calcite, calcite magnesiana (em ambas perfazem

um total de 93% de cada camada), piroxenas e plagioclases (que no caso da camada 1 constituem 7 % da fração e no caso da camada 2, 6%) (Figura\_All 20 e Quadro 24).

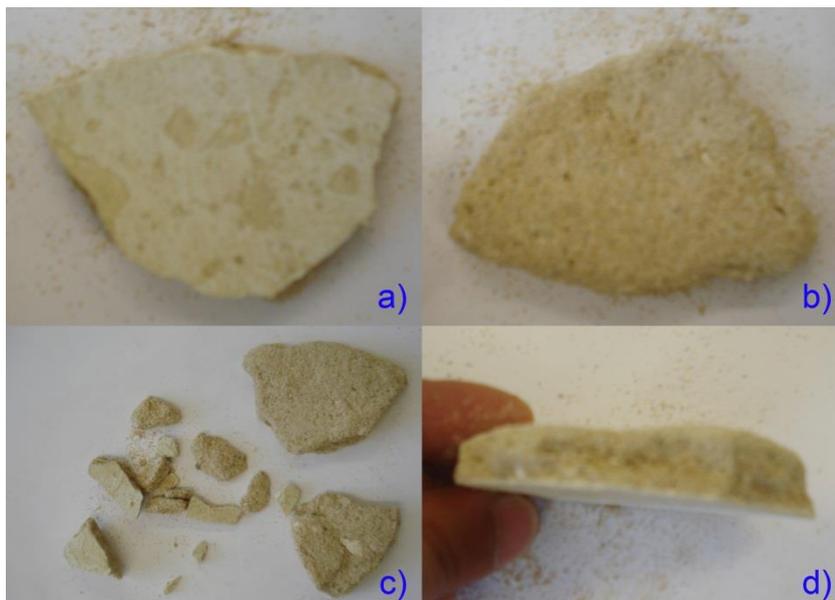


Figura 43 – Amostra com referência PSF1\_PI1\_A2; a) Face exterior à vista; Face interior à vista; c) Diversas posições das amostras; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

Por observação da Figura\_All 21 e do Quadro 24 repara-se que o mesmo fenómeno acontece com a amostra PSF1\_PE1\_A2, ou seja, as camadas 1 e 2 desta amostra são muito parecidas, mesmo em termos quantitativos, uma vez que na camada 1 o somatório das proporções de aragonite, calcite e calcite magnésiana é de 94 % e na camada 2 é de 90 % e das piroxenas e plagioclases na camada 1 é de 7 % e na camada 2 é de 9 %.

No caso da amostra PSF1\_PI1\_A1, as três camadas também são maioritariamente constituídas por aragonite, calcite e calcite magnésiana, (94 % para a camada 1, 88 % para a camada 2 e 91 % para a camada 3). As três camadas também contêm piroxenas e plagioclases em menores quantidades do que os restantes minerais, na camada 1 perfazem um total de 5,9 %, na camada 2, 12% e na camada 3, 9 % (Figura\_All 22 e Quadro 24).

A amostra PSF1\_PI1\_A2 segue o mesmo padrão das restantes amostras desta habitação. Constituída maioritariamente por aragonite, calcite e calcite magnésiana, que para ambas as camadas constituem mais de 90 % das frações e contêm igualmente piroxenas e plagioclases (ca. 6 % para a camada 1 e 7 % para a camada 2). Nesta amostra ainda existem vestígios de hematite (óxido de ferro) e quartzo (Figura\_All 23 e Quadro 24).

Quadro 24 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSF1\_PE1\_A1; PSF1\_PE1\_A2; PSF1\_PI1\_A1 e PSF1\_PI1\_A2.

Minerais	Referência das amostras											
	PSF1_PE1_A1		PSF1_PE1_A2		PSF1_PI1_A1			PSF1_PI1_A2				
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 1	Camada 2	Camada 3		
Aragonite [Ar]	24%	24%	25%	24%	3%	24%	24%	24%	5%	26%		
Calcite [C]	30%	32%	32%	31%	69%	29%	31%	65%	31%	31%		
Calcite magnésiana [C, (Mg)]	39%	37%	37%	35%	22%	35%	36%	24%	34%	34%		
Hematite [H]	---	---	---	---	---	---	---	0,5%	0,5%	0,5%		
Piroxenas [Pi]	3%	3%	4%	5%	5%	6%	4%	4%	3%	3%		
Plagioclases [P]	4%	3%	3%	4%	0,9%	6%	5%	2%	4%	4%		
Quartzo [Qz]	---	---	---	---	---	---	---	0,3%	1%	1%		

## Difração de raios X: Análise comparativa

Neste caso, tal como no caso das habitações da zona da camacha, as suas argamassas são essencialmente compostas por agregados de origem calcária, devido ao próprio material existente na ilha do Porto Santo e por cala aérea como ligante.

Nota-se também um aumento de calcite em relação às amostras da ilha da Madeira em especial nas camadas 2 e o aparecimento de minerais semelhantes à calcite como a aragonite e a calcite magnésiana.

Após a análise dos difratogramas das Figura\_All 20 a 22 e do Quadro 24 verifica-se que as camadas 2 de todas as amostras exteriores e interiores são muito parecidas quer qualitativamente quer quantitativamente, contendo aragonite, calcite, calcite magnésiana, piroxenas e plagioclases, com a exceção da camada 2 da amostra PSF1\_PI1\_A2 que ainda contém hematite e quartzo. A camada 3 da amostra PSF1\_PI1\_A1 também é caracterizada como uma camada 2 típica deste conjunto amostras.

Já nas camadas 1 pode-se observar semelhanças entre paredes. Isto é as camadas 1 das paredes exteriores (PSF1\_PE1\_A1 e PSF1\_PE1\_A2) são parecidas e assemelham-se às camadas 2 das amostras desta habitação, pois trata-se de argamassas (não contêm a camada característica de revestimento em cal), por sua vez as camadas 1 das amostras interiores (PSF1\_PI1\_A1 e PSF1\_PI1\_A2) são maioritariamente constituídas por calcite, uma vez que já se tratam de camadas características de acabamento.

### 7.8.2.2 – Análise termogravimétrica

No Quadro 25 está representado o teor de calcite da amostra PSF1\_PE1\_A1, calculado a partir da perda de dióxido de carbono. Pode-se observar que a amostra é maioritariamente constituída por carbonato de cálcio cerca de 89 % (valor esperado na amostras da ilha do Porto Santo).

Quadro 25 - Teores de CaCO<sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSF1\_PE1\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)	
Amostras	PSF1_PE1_A1
Camada	Camada 2
CaCO <sub>3</sub>	89%

### Comentários finais:

Comparado com os valores da difração de raios X com os da análise termogravimétrica, se somar-se as percentagens de aragonite, calcite e calcite magnesiana chega-se a um valor aproximado de 93 %, muito próximo do valor obtido na análise termogravimétrica do teor de carbonato de cálcio (ca. 89 %). Afirma-se assim que os resultados obtidos nos dois ensaios foram coerentes e satisfatórios.

### **7.9 – Casa 9: Porto Santo – Farrobo 2**

É uma edificação com cerca de 100 anos, localizada também no sítio do Farrobo. Apenas foram retiradas amostras interiores, pois ainda se encontra habitada e só foi permitido que se retirasse amostras de duas paredes interiores que apresentavam já alguns danos (Figuras 44 a) - d)).



Figuras 44 a) - d). – Várias panorâmicas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Farrobo, Maio de 2011.

#### **7.9.1 – Amostragem**

##### *Amostra com referência PSF2\_PI1\_A1*

É constituída por duas camadas, a primeira de acabamento, sendo muito fina com cerca de 0,5 mm e com uma pigmentação de tonalidade azul e a segunda é uma argamassa de cor castanho claro (Figura 45).

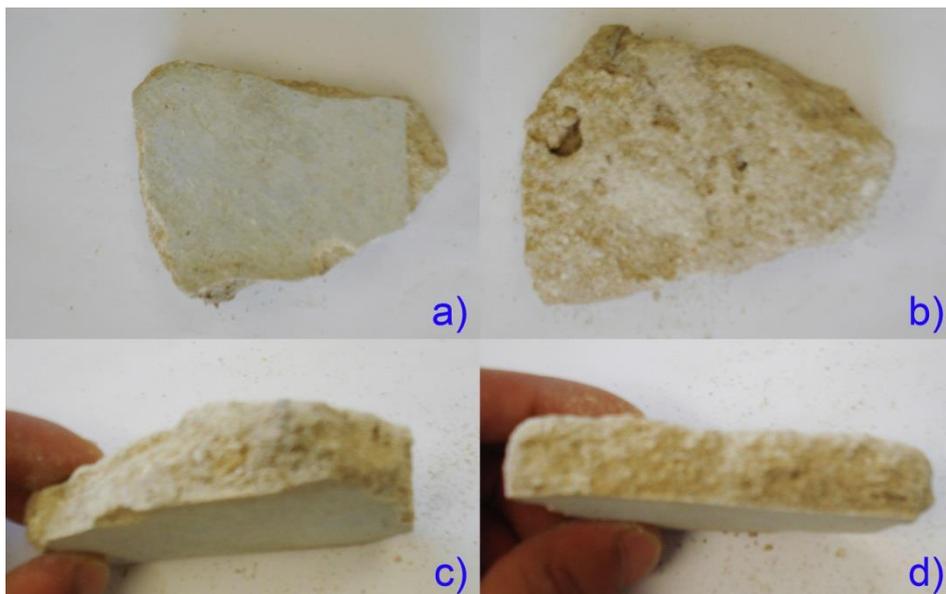


Figura 45 – Amostra com referência PSF2\_PI1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral exterior com escala de dedos; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

*Amostra com referência PSF2\_PI1\_A2*

Também é composta por duas camadas, a de acabamento, de cal com ocre de tom rosa, com cerca de 1 mm de espessura e a camada de argamassa arenosa de tom castanho claro (Figura 46), mas ainda mais clara do que a primeira amostra.



Figura 46 - Amostra com referência PSF2\_PI1\_A2; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior; d) Lateral interior com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.9.2 – Resultados

### 7.9.2.1 – Difração de raios X

Através da análise do difratograma da Figura\_AII 24 e do Quadro 26 pode-se observar que a camada 1 da amostra PSF2\_PI1\_A1 trata-se de uma camada de acabamento em cal, enquanto a camada 2 é composto por aragonite, calcite e calcite magnesiana (em soma cerca de 92 %). Ambas camadas ainda contêm gesso (por ser interior), halite (NaCl), piroxenas e plagioclases.

Quadro 26 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSF2\_PI1\_A1 e PSF2\_PI1\_A2.

Minerais	Referência das amostras			
	PSF2_PI1_A1		PSF2_PI1_A2	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	3%	24%	3%	25%
Calcite [C]	77%	30%	74%	27%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	13%	38%	15%	40%
Gesso [G]	2%	1%	4%	0,8%
Halite [Ha]	2%	0,4%	0,5%	0,1%
Piroxenas [Pi]	3%	3%	2%	3%
Plagioclases [P]	0,3%	4%	1%	4%

A amostra PSF2\_PI1\_A2 é semelhante à amostra PSF2\_PI1\_A1, pois as camadas 1 e 2 são muito semelhantes entre si quer mineralogicamente quer quantitativamente. A diferença principal prende-se com os teores de halite (NaCl) menores nesta amostra (o que é justificado pela localização das fachadas em que foram retiradas as amostras, o que conclui-se que a amostra PSF2\_PI1\_A1 é junto de uma zona onde se prepara cozinhados e conseqüentemente utiliza-se o tradicional sal de cozinha). A camada 1 também é essencialmente constituída por calcite e calcite magnesiana (total de cerca de 89 %), por sua vez a camada 2 também é por aragonite, calcite e calcite magnesiana (em soma aproximadamente 92 %). Esta amostra ainda contém gesso, halite, piroxenas e plagioclases (Figura\_AII 25 e Quadro 26).

#### Difração de raios X: Análise comparativa

Conclui-se que as duas amostras são muito parecidas, as camadas 1 das duas são maioritariamente constituídas por cal aérea, calcite e calcite magnesiana e as

camadas 2 por agregados de origem calcária aragonite, calcite e calcite magnesiana. Ambas ainda contem gesso, halite, piroxenas e plagioclases.

### 7.10 – Casa 10: Porto Santo – Serra de Dentro 1

Habitação completamente em ruínas, isolada, aparentando já estar abandonada há algum tempo (Figuras 47 a) - f)).



Figuras 47 a) - f). – Várias perspetivas com diferentes orientações das fachadas da habitação situada no Porto Santo, Serra de Dentro, Maio de 2011.

#### 7.10.1 – Amostragem

Foram retiradas duas amostras interiores deste edifício, em duas paredes distintas.

##### *Amostra com referência PSS1\_PI1\_A1*

A primeira amostra foi retirada de uma esquina de uma parede interior, tratando-se de uma argamassa de cor cinzento claro e com uma camada de acabamento fina com cerca de 0,5 mm de espessura, de tom branco (Figura 48).



Figura 48 - Amostra com referência PSS1\_PI1\_A1; a) Face exterior à vista; b) Face interior à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

*Amostra com referência PSS1\_PI2\_A1*

A segunda amostra foi extraída de uma fachada já muito danificada, em que grande parte desta já estava destruída, constituída também por duas camadas, em que a primeira é de acabamento em cal branca, com cerca de 1 mm de espessura e a segunda camada é uma argamassa cinzenta clara, preenchida com pontos brancos.



Figura 49 - Amostra com referência PSS1\_PI2\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) e d) Laterais interiores com escala de dedos; Maio de 2011.

## 7.10.2 – Resultados

### 7.10.2.1 – Difração de raios X

Por análise do difratograma de raios X observa-se que os principais constituintes da camada 1 da amostra PSS1\_PI1\_A1 são: calcite (ca. 51 %), feldspato (ca. 16 %), piroxenas (ca. 18 %) e plagioclases (ca. 10%). Mas por observação da amostra percebe-se que esta camada deveria ser composta essencialmente por calcite, o que se conclui que a presença dos restantes minerais deve-se à contaminação da amostra pela deficiente separação da amostra.

Por sua vez a camada 2 é majoritariamente composta por calcite (ca. 12 %), feldspato (ca. 37 %), piroxenas (ca. 35 %) e plagioclases (ca. 11 %).

A difração de raios X ainda detetou nas duas camadas desta amostra a presença de gesso, hematite, siderite e quartzo (Figura\_All 26 e Quadro 27).

Quadro 27 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSS1\_PI1\_A1 e PSS1\_PI2\_A1.

Minerais	Referência das amostras			
	PSS1_PI1_A1		PSS1_PI2_A1	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	51%	12%	85%	17%
Feldspato [F]	16%	37%	4%	32%
Gesso [G]	3%	0,3%	0,6%	0,4%
Hematite [H]	2%	3%	1%	2%
Piroxenas [Pi]	18%	35%	6%	33%
Plagioclases [P]	10%	11%	3%	15%
Siderite [Si]	0,3%	1%	0,5%	0,8%
Quartzo [Qz]	0,3%	0,1%	0,3%	---

Analisando o difratograma da Figura\_All 27 e o Quadro 27 observa-se que a camada 1 da amostra PSS1\_PI2\_A1 é essencialmente constituída por calcite, aproximadamente 85 % e a camada 2 por calcite (ca. 17 %), feldspato (ca.32 %), piroxenas (ca. 33 %) e plagioclases (ca. 15 %). Estas duas camadas contêm também gesso, hematite e siderite e a camada 1 ainda contém vestígios de quartzo.

#### Difração de raios X: Análise comparativa

Em síntese verifica-se que as camadas 1 das duas amostras diferem, uma vez que a camada 1 da amostra PSS1\_PI2\_A1 é majoritariamente constituída por calcite e a

camada 1 da amostra PSS1\_PI1\_A1 por calcite, feldspato, piroxenas e plagioclases, apesar de ter-se concluído, por observação da amostra, que a presença das quantidades excessivas de feldspato, piroxenas e plagioclases provavelmente se deve à contaminação da amostra pela deficiente separação das suas camadas.

As camadas 2 já são muito parecidas, são ambas essencialmente compostas por calcite, feldspato, piroxenas e plagioclases, na amostra PSS1\_PI1\_A1 em conjunto cerca de 95 % da camada 2 e na amostra PSS1\_PI2\_A1 aproximadamente 97 %.

Ambas as amostras contêm em todas as camadas em menores quantidades gesso, hematite, siderite e quartzo. A camada 2 da amostra PSS1\_PI2\_A1 é que não contém quartzo.

Estas amostras do Porto Santo – Serra de Dentro, já diferem das restantes amostras do Porto Santo, uma vez que as suas camadas 2 já não são constituídas maioritariamente por carbonato de cálcio (material característico desta ilha), aproximando-se assim mais das amostras da ilha da Madeira em que as suas camadas 2 são compostas maioritariamente por ligante, geralmente a calcite, e agregados de origem vulcânica, como as olivinas, as piroxenas e as plagioclases, neste caso contém as plagioclases e as piroxenas, não contém as olivinas mas contém feldspato.

Foi relatado pela população que as areias utilizadas nesta zona da ilha era retiradas de uma zona diferente, devido à localização e à dificuldade do transporte dos materiais, eram retirados mesmo de uma zona lá perto chamada de Calhau da Serra de Dentro, em que as areias eram mais escuras do que as restantes que eram retiradas da Fonte da Areia.

O que se nota por observação das amostras, pois possuem argamassa de cor cinzenta, similares às argamassas da ilha da Madeira.

#### **7.10.2.2 – Análise termogravimétrica**

A partir da perda de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) determinou-se a percentagem de carbonato de cálcio, calcite ( $\text{CaCO}_3$ ) das camadas 2 das amostras desta habitação, o que apresenta-se no Quadro 28.

Pode-se observar que a amostra PSS1\_PI1\_A1 contém menos teor de carbonato de calcite do que a amostra PSS1\_PI2\_A1, menos cerca de 7 %.

Comparando com os valores obtidos na análise de difração de raios X pode-se concluir que os resultados são satisfatórios pois são muito próximos. Por difração de raios X na camada 2 da amostra PSS1\_PI1\_A1 obteve-se ca. 12 % e por análise

termogravimétrica ca. 13 %, na camada 2 da amostra PSS1\_PI2\_A1 ca. 17 % e ca. 20 % respetivamente.

Quadro 28 - Teores de CaCO<sub>3</sub> determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSS1\_PI1\_A1 e PSS1\_PI2\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)		
Amostras	PSS1_PI1_A1	PSS1_PI2_A1
Camada	Camada 2	Camada 2
CaCO <sub>3</sub>	13%	20%

#### 7.10.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido

Posteriormente ao ataque ácido calculou-se a percentagem de resíduo insolúvel de cada amostra desta habitação, que estão representados no Quadro 29.

Quadro 29 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PSS1\_PI1\_A1 e PSS1\_PI2\_A1.

Amostras	PSS1_PI1_A1	PSS1_PI2_A1
Resíduo insolúvel	73,5%	67,6%

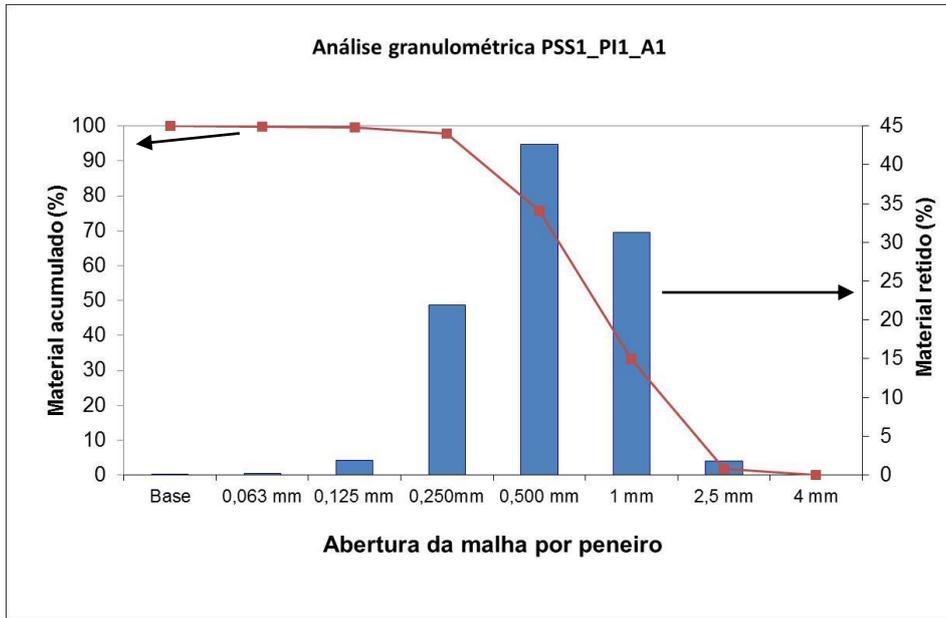
Verifica-se que amostra PSS1\_PI1\_A1 é a que contém mais percentagem de resíduo insolúvel, tendo uma diferença de 5,9 %, o que não é muito significativo. Portanto deduz-se que em média 30 % do material destas amostras é solúvel em ácido.

#### 7.10.2.4 – Análise granulométrica

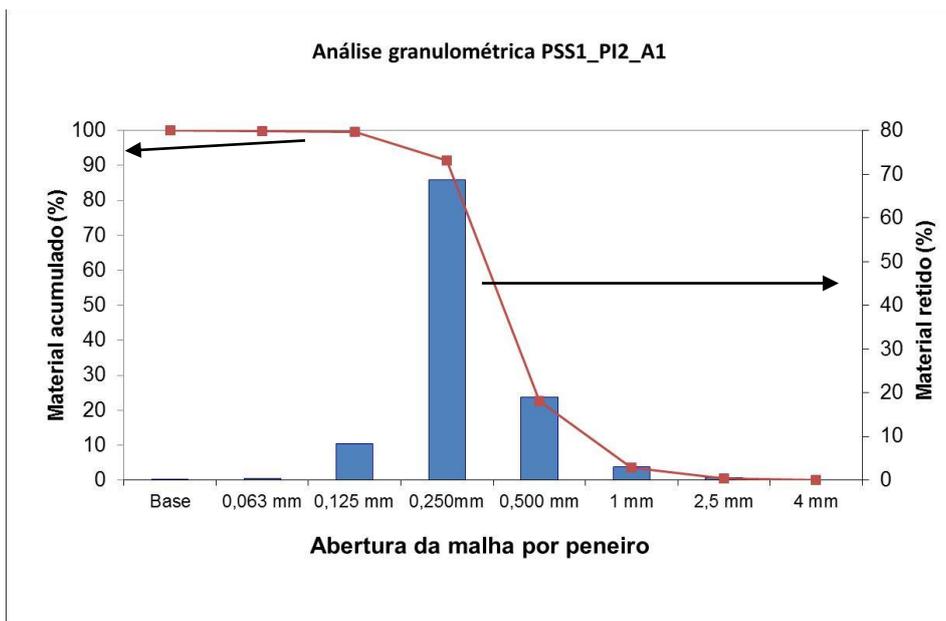
Observando as curvas granulométricas de cada amostra nota-se diferenças nos perfis granulométricos, em que o perfil granulométrico da amostra PSS1\_PI1\_A1 demonstra conter mais agregados graúdos que a amostra PSS1\_PI2\_A1 (Figura 50).

De reparar que a maior parte do material da amostra PSS1\_PI1\_A1 está retida nos peneiros de 1 mm, 0,500 mm e 0,250 mm, por sua vez na amostra PSS1\_PI2\_A1 está nos peneiros 0,500 mm e 0,250 mm (Figura 50 e Quadro 30).

De notar a grande diferença gráfica nas curvas granulométricas, e de que na amostra PSS1\_PI1\_A1 cerca de 96 % da matéria está distribuída pelos peneiros de 1 mm a 0,250 mm e na amostra PSS\_PI2\_A1 cerca de 89 % do material está distribuído pelos peneiros 0,500 mm e 0, 250 mm e ainda contém o caso de ca. 68 % estar retido apenas num peneiro (0,250 mm), sendo em ambos os casos caracterizado por agregados finos (Figura 50 e Quadro 30).



a)



b)

Figura 50 - Curvas granulométricas - a) amostra PSS1\_PI1\_A1 e b) amostra PSS1\_PI2\_A1.

Quadro 30 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: PSS1\_PI1\_A1 e PSS1\_PI2\_A1.

Abertura da malha	Referência das amostras			
	Material retido (%)		Material acumulado (%)	
	PSS1_PI1_A1	PSS1_PI2_A1	PSS1_PI1_A1	PSS1_PI2_A1
4 mm	0,00	0,00	0,00	0,00
2,5 mm	1,83	0,50	1,83	0,50
1 mm	31,29	3,04	33,12	3,54
0,500 mm	42,66	19,00	75,78	22,54
0,250 mm	21,96	68,78	97,74	91,32
0,125 mm	1,91	8,26	99,65	99,58
0,063 mm	0,19	0,30	99,84	99,88
Base	0,16	0,12	100,00	100,00

#### Comentários finais:

Resumindo as amostras desta casa são ambas constituídas por duas camadas, compostas pelos mesmos minerais (essencialmente cal aérea e agregados de origem vulcânica), com a exceção da camada 2 da amostra PSS1\_PI2\_A1 que não contém quartzo.

As camadas 1 diferem um pouco nas suas porções, em que a amostra PSS1\_PI1\_A1 camada 1 contém menos quantidade de calcite e uma considerável quantidade dos restantes minerais, a mais do esperado, que por observação da amostra considera-se que esse fenómeno ocorreu por causa da contaminação da amostra devido a uma deficiente separação das camadas, enquanto a camada 1 da amostra PSS1\_PI2\_A1 já é essencialmente constituída por cal aérea.

As camadas 2 já são muito mais semelhantes, são uma argamassa constituída por um ligante de cal aérea com pequenos vestígios de gesso e por agregados como feldspato, plagioclastes e piroxenas. Material que difere das restantes amostras da ilha do Porto Santo e que se aproxima dos agregados tipicamente vulcânicos, encontrados na ilha da Madeira. Como já foi referido devido ao isolamento desta zona da ilha e ao difícil acesso os materiais vinha do Calhau da Serra de Dentro onde a areia era mais escura e de origem vulcânica.

Estas amostras ainda contêm hematite, siderite e quartzo.

A análise termogravimétrica transmite que a camada 2 da amostra PSS1\_PI2\_A1 contém mais teor de carbonato de cálcio do que a camada 2 da amostra PSS1\_PI1\_A1, uma diferença de cerca de 7 %.

Como já demonstrado os resultados obtidos no ensaio da análise de difração de raios X e da análise termogravimétrica são muito próximos e logo muito satisfatórios.

Com determinação da percentagem de resíduo insolúvel verifica-se que em média 30 % do material destas amostras é solúvel em ácido clorídrico.

A análise granulométrica demonstra que as duas amostras contêm curvas granulométricas bem distintas, apesar da granulometria das areias ser caracterizada em ambos os casos por agregados.

### 7.11 – Casa 11: Porto Santo – Serra de Dentro 2

Habitação edificada em pedra, antiga, isolada, apresentando grandes sinais de deterioração (Figuras 51 a) - f)).



Figuras 51 a) - f). – Várias vistas com diferentes orientações das fachadas da casa situada no Porto Santo, Serra de Dentro, Maio de 2011.

#### 7.11.1 – Amostragem

Foram retiradas duas amostras interiores desta habitação.

*Amostra com referência PSS2\_P11\_A1*

Foi retirada de uma porta, constituída por duas camadas bem agarradas entre si, em que a primeira é a de acabamento em cal branca, com cerca de 1 mm de espessura e

a segunda é uma argamassas de cor cinzenta clara, a puxar para um tom de branco (Figura 52).



Figura 52 - Amostra com referência PSS2\_PI1\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior com escala de dedos; Maio de 2011.

#### *Amostra com referência PSS2\_PI2\_A1*

A amostra 2 foi retirada de uma parede de tabique, de um compartimento em que tinha um forno, pelo que se deduz que seja a cozinha. Composta por duas camadas bem cimentadas entre si, que se revelaram difíceis de separar. A primeira camada é a de acabamento numa cal com ocre de tom vermelha, com cerca 0,5 a 2 mm de espessura e a segunda é uma argamassa de tom cinzento claro (Figura 53).



Figura 53 - Amostra com referência PSS2\_PI2\_A1; a) Faces exteriores à vista; b) Faces interiores à vista; c) Lateral interior com escala de dedos; d) Lateral exterior; Maio de 2011.

## 7.11.2 – Resultados

### 7.11.2.1 – Difração de raios X

Analisando o difratograma, nota-se que a camada 1 da amostra PSS2\_PI1\_A1 é principalmente composta por calcite, aproximadamente 91 % e a camada 2 por calcite (ca. 16 %), piroxenas e plagioclases (em conjunto, ca. 81 %). As duas camadas contêm também halite e hematite em proporções inferiores (Figura\_All 28 e Quadro 31).

Quadro 31 - Resultados dos ensaios de difração de raios X das amostras: PSS2\_PI1\_A1 e PSS2\_PI2\_A1.

Minerais	Referência das amostras			
	PSS2_PI1_A1		PSS2_PI2_A1	
	Camada 1	Camada 2	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	91%	16%	59%	16%
Gesso [G]	---	---	5%	0,9%
Halite [Ha]	0,3%	0,7%	---	---
Hematite [H]	0,8%	2%	2%	2%
Olivinas [O]	---	---	2%	7%
Piroxenas [Pi]	6%	28%	6%	29%
Plagioclase [P]	2%	53%	5%	43%
Vaterite [V]	---	---	21%	2%

A camada 1 da amostra PSS2\_PI2\_A1 também é essencialmente constituída por carbonato de cálcio ( $\text{CaCO}_3$ ), mas distribuída em calcite (ca. 59 %) e vaterite (ca. 21 %), formando aproximadamente 80 % da camada 1. A camada 2 é maioritariamente constituída por calcite (ca. 16 %), piroxenas e plagioclases (num todo, cerca de 72 %).

Ambas as camadas ainda contêm gesso, hematite e olivinas em menores quantidades (Figura\_All 29 e Quadro 31).

#### Difração de raios X: Análise comparativa

De evidenciar algumas semelhanças nos resultados da difração de raios X desta habitação. As duas camadas 1 são basicamente constituídas por carbonato de cálcio apesar de na amostra PSS2\_PI1\_A1 é apenas calcite e na amostra PSS2\_PI2\_A1 esse teor estar distribuído em calcite e vaterite.

As camadas 2 são essencialmente compostas por um ligante de carbonato de cálcio, na sua maioria a calcite, apesar de no caso da amostra PSS2\_PI2\_A1 conter uma pequena quantidade de vaterite e por agregados constituídos essencialmente por

piroxenas e plagioclases, no entanto a amostra PSS2\_PI2\_A1 contém também pequenas quantidades de olivinas.

Tal como acontece na habitação anterior (Porto Santo – Serra de Dentro 1), estas amostras diferem das demais amostras do Porto Santo, uma vez que as suas camadas 2 já não são constituídas essencialmente por carbonato de cálcio, sendo mais parecidas com as amostras da ilha da Madeira em que as suas camadas 2 são constituídas principalmente por agregados de origem vulcânica, como as olivinas, as piroxenas e as plagioclases.

Tal como já foi indicado anteriormente as areias usadas nesta zona eram provenientes da zona do Calhau da Serra de Dentro devido à proximidade e à dificuldade do transporte do material de outra zona sendo esta zona repleta de areias de cor mais negra do que por exemplo as areias da zona da Fonte da Areia (de onde eram provenientes as areias das habitações das zonas da Camacha e do Farrobo).

Por observação das amostras nota-se que a argamassa possui uma cor cinzenta assimilando-se às argamassas da ilha da Madeira.

#### 7.11.2.2 – Análise termogravimétrica

No Quadro 32 apresenta-se o teor de carbonato de cálcio determinado a partir das perdas de dióxido de carbono.

Quadro 32 - Teores de  $\text{CaCO}_3$  determinados por análise termogravimétrica na amostra: PSS2\_PI1\_A1 e PSS2\_PI2\_A1.

Gama de temperatura de 700 -890 (°C)			
Amostras	PSS2_PI1_A1	PSS2_PI2_A1	
Camada	Camada 2	Camada 1	Camada 2
$\text{CaCO}_3$	19%	78%	20%

Examinando o Quadro 32 observa-se que a camada 1 da amostra PSS2\_PI2\_A1 é essencialmente constituída por carbonato de cálcio, um pouco como já se esperava, pois trata-se de uma camada de acabamento. As camadas 2 têm um teor de carbonato de cálcio muito aproximado a rondar a casa dos 20 %, o que nos indica que os processos de mistura e utilização destas argamassas não diferem muito.

Comparando com os resultados de difração de raios X pode-se considerar os resultados satisfatórios uma vez que não houve grandes diferenças.

Na amostra na camada 2 da amostra PSS2\_PI1\_A1 por análise de difração de raios X chegou-se a aproximadamente 16 % de calcite e pela análise termogravimétrica a cerca de 19 % de carbonato de cálcio, na camada 2 da amostra PSS2\_PI2\_A1 por

difração de raios X obteve-se cerca de 18 % de carbonato de cálcio (calcite mais vaterite) e pela análise termogravimétrica cerca de 20 % e na camada 1 também se reflecte a proximidade destes resultados, por análise de difração de raios X ca. 80 % (calcite + vaterite) e por análise termogravimétrica ca. 78 %.

#### **7.11.2.3 – Determinação da percentagem de resíduo insolúvel após o ataque ácido**

Após o ataque ácido obteve-se as percentagens de resíduo insolúvel das duas amostras retiradas desta casa (Quadro 33).

Quadro 33 - Resíduo insolúvel após ataque ácido das amostras: PSS2\_PI1\_A1 e PSS2\_PI2\_A1.

Amostra	PSS2_PI1_A1	PSS2_PI2_A1
Resíduo insolúvel	71,0%	65,6%

Verifica-se que as duas amostras tem percentagens de resíduo insolúvel muito próximas, com uma diferença de cerca de 5 %, sendo em média ca. 68 % do material destas amostras insolúvel no ácido.

#### **7.11.2.4 – Análise granulométrica**

Comparando as curvas granulométricas das duas amostras percebe-se algumas diferenças nos perfis granulométricos, revelando que a amostra PSS2\_PI1\_A1 contém agregado de maior dimensão que a amostra PSS2\_PI2\_A1 (Figura 54).

Pode-se afirmar que na amostra PSS2\_PI1\_A1 os peneiros que retém grande parte da matéria são os peneiros de 1 mm, 0,500 mm e 0,250 mm e na amostra PSS2\_PI2\_A1 são os de 0,500 mm e 0,250 mm (Figura 54 e Quadro 34).

A granulometria das areias da amostra PSS2\_PI1\_A1 situa-se entre os 1 mm e os 0,250 mm e a da amostra PSS2\_PI2\_A1 entre os 0,500 mm e os 0,250 mm, sendo ambas caracterizadas por agregados finos (Figura 54 e Quadro 34).

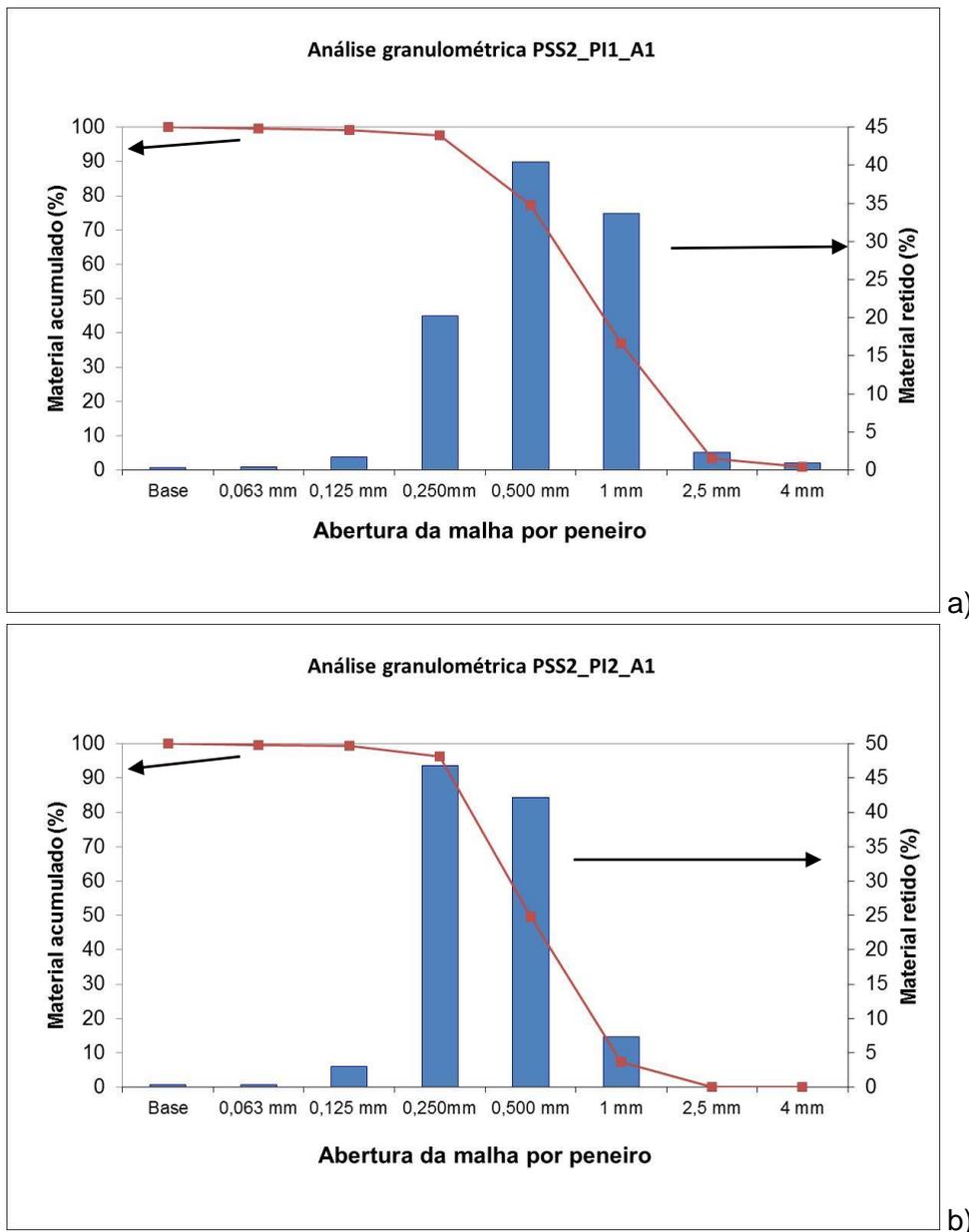


Figura 54 - Curvas granulométricas - a) amostra PSS2\_PI1\_A1 e b) amostra PSS2\_PI2\_A1.

Quadro 34 - Percentagem de material retido e acumulado em cada peneiro das amostras: PSS2\_PI1\_A1 e PSS2\_PI2\_A1.

Abertura da malha	Referência das amostras			
	Material retido (%)		Material acumulado (%)	
	PSS2_PI1_A1	PSS2_PI2_A1	PSS2_PI1_A1	PSS2_PI2_A1
4 mm	0,95	0,00	0,95	0,00
2,5 mm	2,31	0,00	3,26	0,00
1 mm	33,69	7,29	36,95	7,29
0,500 mm	40,41	42,23	77,36	49,52
0,250 mm	20,24	46,81	97,60	96,33
0,125 mm	1,67	2,98	99,27	99,31
0,063 mm	0,45	0,39	99,72	99,70
Base	0,28	0,30	100,00	100,00

### Comentários finais:

Em conclusão as duas amostras desta habitação são constituídas por duas camadas. As camadas 1 das duas amostras são essencialmente constituídas por cal aérea, no caso da amostra PSS2\_PI1\_A1 é apenas calcite e no caso da amostra PSS2\_PI2\_A1 esse teor de carbonato de cálcio está dividido em calcite e vaterite.

As camadas 2 são compostas por ligante e agregados, o ligante é basicamente a cal aérea, apesar de na amostra PSS2\_PI2\_A1 existir pequenas quantidades de vaterite e os agregados são agregados normalmente encontrados em zonas vulcânicas como as piroxenas e as plagioclases. De reforçar a diferença nos agregados destas amostras para restantes amostras da ilha do Porto Santo, sendo estas mais similares às amostras da ilha da Madeira.

Com a análise termogravimétrica pode-se reforçar a ideia que a camada 1 da amostra PSS2\_PI2\_A1 é maioritariamente constituída por carbonato de cálcio. As camadas 2 têm um teor de carbonato de cálcio muito próximo uma da outra, indicando que os processos de fabrico e aplicação desta argamassas também são semelhantes. E como já se pode comprovar, estes resultados quando comparados com a análise de difração de raios X são satisfatórios.

A partir da determinação da percentagem de resíduo insolúvel observa-se que em média ca. 68 % do material destas amostras é insolúvel no ácido clorídrico.

A análise granulométrica indica que a granulometria das areias desta habitação é caracterizada por agregados finos.



## **8 – Conclusões gerais e recomendações/desenvolvimentos futuros**

### **8.1 – Conclusões gerais**

A maioria das amostras analisadas apresenta uma camada de acabamento fina, que varia entre 0,5 a 10 mm de espessura, constituída por carbonato de cálcio, sob a forma de calcite, nas casas da ilha da Madeira, e de calcite, calcite magnésiana, aragonite e vaterite nas casas do Porto Santo.

As frações interiores das amostras são constituídas por uma mistura de ligante calcário e de agregado fino. As argamassas, apesar de apresentarem variações de composição significativas (atribuídas à variabilidade do processo de fabrico, heterogeneidade da amostragem no local e do material analisado e deficiências do processo separativo), são constituídas, em média, por cerca de 20 % em massa de ligante e 80% de agregados.

Tipicamente, todas as habitações analisadas na ilha da Madeira são constituídas por uma mistura de carbonato de cálcio (sob a forma de calcite) e de agregados finos de natureza basáltica, reflexo da sua origem local. Mineralogicamente, os agregados analisados são uma mistura de olivinas, piroxenas e plagioclases (componentes maioritários) e vestígios de outros minerais (e.g. hematite e quartzo).

Regra geral, as amostras recolhidas no interior e no exterior das habitações não apresentam diferenças significativas. No entanto, em alguns casos, foi detetada a presença de gesso em paredes interiores.

A areia utilizada nas habitações fica maioritariamente retida em peneiros de 1mm. As frações granulométricas superiores a 0,5 mm e 2,5 mm também são tendencialmente maioritárias. Os perfis granulométricos dos agregados são normalmente semelhantes para uma dada habitação, apesar de, por vezes, a dispersão granulométrica e a dimensão média dos agregados ser maior nas paredes exteriores do que nas interiores.

Detetou-se a presença de portlandite em amostras recolhidas no Faial e em São Jorge, o que pode indiciar pequenos trabalhos de manutenção ou recuperação dos edifícios em questão. Também detetou-se a presença de rutilo na casa de S. Jorge, indicativo da aplicação de uma tinta “moderna” (i.e. não consistente com a aplicação tradicional de cal).

Quanto às casas do Porto Santo, e excetuando as da Serra de Dentro, a grande maioria é constituída por agregados de origem calcária. Quimicamente, os carbonatos de cálcio e/ou magnésio imperam e mineralogicamente foram identificados a aragonite,

calcite, calcite magnesiana e vaterite. Dada a natureza carbonatada dos agregados, não foram realizados ensaios granulométricos.

Os agregados utilizados nas casas da Serra de Dentro diferem substancialmente das restantes casas estudadas no Porto Santo, já que são de origem traquítica ou traquítica riolítica (i.e. constituídas por piroxenas, plagioclases e, neste caso, feldspatos e quartzo). A origem destes agregados reflete a dificuldade histórica de deslocar agregados de outras localizações. As areias utilizadas nesta zona da ilha foram recolhidas no Calhau da Serra de Dentro, situado nas proximidades. Por oposição às recolhidas na Fonte da Areia (local preferencial de recolha de agregados na ilha), apresentam uma coloração mais escura. A tonalidade das amostras recolhidas nas casas da Serra de Dentro é cinzenta, assemelhando-se às recolhidas na ilha da Madeira. As areias utilizadas nestas casas são mais finas do que as utilizadas nas casas da Madeira, sendo a frações maioritárias as que ficam retidas nos peneiros de 0,5 mm e 0,25 mm, para as paredes exteriores e interiores, respetivamente.

## **8.2 – Recomendações/desenvolvimentos futuros**

Este trabalho permitiu fazer uma primeira abordagem à caracterização de argamassas de cal utilizadas em edifícios antigos da RAM.

Uma das principais preocupações do restauro de edifícios históricos é que a intervenção não comprometa a sua história e que as metodologias e materiais utilizados sejam compatíveis com os utilizados à época da construção, daí a importância de consultar a “Carta de Veneza”, carta internacional sobre a conservação e restauro de monumentos e sítios, que tem como principal intuito normalizar os restauros de edifícios históricos de forma a manter a sua arquitetura e harmonia preservadas, podendo estes continuar a serem portadores de testemunhos e tradições do passado. Para garantir estes pressupostos, o restauro de edifícios antigos é, cada vez mais, uma tarefa multidisciplinar. Por exemplo, uma das grandes dificuldades encontradas neste trabalho foi a determinação do ano de construção dos edifícios para se poder fazer uma correlação entre estes dados e as características das argamassas analisadas. A colaboração de um historiador poderia ser importante no esclarecimento desta e de outras questões.

Com o intuito de dar continuidade ao presente trabalho, seria interessante fazer um estudo que englobasse uma série de edifícios correspondentes a diferentes períodos construtivos, para poder traçar um retrato da evolução das argamassas utilizadas na região.

Seria também interessante a partir do conhecimento deixado neste trabalho sobre as argamassas destes edifícios antigos proceder à produção de diferentes argamassas de cal, com composições variadas, no sentido de i) tentar simular os materiais históricos

analisados e ii) testá-los na recuperação simulada de edifícios antigos (e.g. ensaios de compatibilidades mecânicas e químicas, ensaios de semelhança visual, etc.).



## 9 – Bibliografia

- ALBERS, A. P. F., MELCHIADES, F. G., MACHADO, R., BALDO, J. B., BOSCHI, A. O., (2002), Um método simples de caracterização de argilominerais por difração de raios X (A simple method for the characterization of clay minerals by X-ray diffraction), Universidade do Vale do Paraíba, UNIVAP, Universidade Federal de S. Carlos, DEMa;
- ALMEIDA, J. L. M. S. L. (2010), Argamassas tradicionais e industriais de alvenaria em edifícios, Dissertação apresentada para o grau de Mestre em Especialização em materiais e processos de construção, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto;
- ALVAREZ, J. SEQUEIRA, C. COSTA, M. (2005), Ensinaamentos a retirar do Passado Histórico das Argamassas, congresso da associação portuguesa dos fabricantes de argamassa;
- BRANCO, J. P. (1981), Manual do Pedreiro, LNEC, Lisboa;
- BROWN, M. E., GALLACHER, P. K. (2008), Handbook of Thermal Analysis and Calorimetry, Volume 5, Recent Advances, Techniques and Applications, Elsevier, Amsterdam
- CRUZ, T. G. e SILVA, A. S. (2006), Caracterização de argamassas da igreja de nossa Sr<sup>a</sup> da Assunção (Elvas) e do Castelo de Amieira do Tejo (Nisa), LNEC, Lisboa;
- COUTINHO, J. S. (1999), Agregados para argamassas e betões, Materiais de Construção 1;
- COUTINHO, J. S. (2006), 1<sup>a</sup> Parte – Ligantes e caldas 2002, Materiais de Construção 2;
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. e ZUSSMAN, J. (2008), Minerais constituintes das rochas – Uma introdução, 3<sup>a</sup> Edição, Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa.
- GABBOTT, B. (2008), Principles and Applications of Thermal Analysis, Blackwell Publishing;
- GUERREIRO, T. C. e SILVA, A. S. (2006), Aplicação da Análise Petrográfica na Caracterização de Argamassas Antigas, LNEC, Lisboa;
- IONASHIRO, M. (2004), Giolito – Fundamentos da Termogravimetria, Análise Térmica Diferencial, Calorimetria Exploratória Diferencial, GIZ Editorial;
- JAMES, W. R., EILEEN M. S. F., GEORGE M. F. II (2005), Undergraduate Instrumental Analysis, Marcel Dekker;
- MARGALHA, M. G. (2007), Reabilitação urbana - Práticas concertadas, Mértola.
- MARTINS, J. G. e ASSUNÇÃO, J. S. (2010), Argamassas e rebocos, Materiais de construção;
- MARTINS, J. G. e PAIVA, P. A. (2010), Ligantes, Materiais de Construção I;

- MARTINS, J. G. e PEREIRA, V. (2005), *Materiais e Técnicas Tradicionais de Construção*;
- MESTRE, V. (2001/2002), *Arquitetura popular da Madeira*, Editora Argumento – Edições Estudos e Realizações ISBN 972-8479-13-1, Portugal;
- NEVES, H. C. (1993), *Aproveitamento de um recurso natural do Porto Santo. A cal e o seu transporte para a Madeira*, Revista *Ilhena* nº 13 Jul – Dez, 1993;
- PAIVA, M. J. e SILVA, A. S. (2004), *Aplicação da caracterização mineralógica no estudo da degradação de argamassas antigas*, LNEC, Lisboa;
- PAULO, R. S. V. M. N. (2006), *Caracterização de Argamassas Industriais*, Dissertação apresentada para o grau de Mestre em Gestão Ambiental, Materiais e Valorização de Resíduos, Universidade de Aveiro Departamento de Engenharia Cerâmica e do Vidro;
- RIBEIRO, A (1990), *A Indústria da cal em S. Vicente (1680-1903)*, *Diário de Notícias*, 14-10-1990, p. 4;
- RODRIGUES, G. V. e MARCHETTO, O. (s.d.) *Análises Térmicas*, Universidade Federal de Santa Catarina, departamento de engenharia mecânica, curso de graduação em engenharia de materiais, caracterização de materiais III; <http://www.materiais.ufsc.br/Disciplinas/EMC5733/Apostila.pdf>
- SANTOS SILVA, A. (2003), *“Nova abordagem na caracterização de argamassas antigas”*, 3º Encore – Encontro Sobre Conservação e Reabilitação de Edifícios, LNEC, Lisboa, p. 917-926;
- SOUSA, A. J. C. (2010), *Aplicação de Argamassas Leves de Rebocos e Assentamento em Alvenarias*, Dissertação apresentada para o grau de Mestre em Especialização em Construções, Universidade do Porto, Faculdade de Engenharia, Porto;
- VEIGA, M. R. (2009) *Conservação e Reparação de Revestimentos de Paredes de Edifícios*, Lisboa, LNEC;

#### **Normas:**

- NP EN 197 de 2012, *Cimento, Parte 1: Composição, especificações e critérios de conformidade para cimentos correntes*;
- NP EN 459 de 2011, *Cal de construção, Parte 1: Definições, especificações e critérios de conformidade*;
- NP EN 934 de 2008, *Adjuvantes para betão, argamassas e caldas de injeção*;
- NP EN 13139 de 2005, *Agregados para argamassas*.

## **10 - Anexos**



## 10.1 – Anexo I – Lista da designação das abreviaturas das amostras

<b>Código</b>	<b>Designação</b>
<b>Faial</b>	
<b>F_PE</b>	<b>Faial- Parede Exterior</b>
F_PE1_A1 Camada 1	Faial- Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
F_PE1_A1 Camada 2	Faial- Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2 (argamassa intermédia)
F_PE1_A1 Camada 3	Faial- Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 3 (argamassa Interior)
F_PE1_A2 Camada 1	Faial- Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 1 (Tinta)
F_PE1_A2 Camada 2	Faial- Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 2 (Argamassa)
F_PE2_A1 Camada 1	Faial- Parede Exterior 2, Amostra 1, Camada 1 (Argamassa)
F_PE2_A1 Camada 1 PB	Faial- Parede Exterior 2, Amostra 1, Camada 1 (Pigmentos Brancos)
F_PE2_A2 Camada 1	Faial- Parede Exterior 2, Amostra 2, Camada 1 (Tinta)
F_PE2_A2 Camada 2	Faial- Parede Exterior 2, Amostra 2, Camada 2 (Argamassa)
<b>F_PI</b>	<b>Faial- Parede Interior</b>
F_PI1_A1 Camada 1	Faial, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
F_PI1_A1 Camada 2	Faial, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2 (Argamassa)
F_PI1_A1 Camada 2 PB	Faial, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2 (Pigmentos Brancos)
<b>Santana</b>	
<b>S_PE</b>	<b>Santana- Parede Exterior</b>
S_PE1_A1 Camada 1	Santana- Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
S_PE1_A1 Camada 2	Santana- Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2 (Argamassa)
<b>S_PI</b>	<b>Santana- Parede Interior</b>
S_PI1_A1 Camada 1	Santana- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
S_PI1_A1 Camada 2A	Santana- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2A (Argamassa Mais Escura)
S_PI1_A1 Camada 2B	Santana- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2B (Argamassa Mais Clara)
<b>São Jorge</b>	
<b>SJ_PE</b>	<b>São Jorge - Parede Exterior</b>
SJ_PE1_A1 Camada 1	São Jorge - Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
SJ_PE1_A1 Camada 2	São Jorge - Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2 (Argamassa)
<b>SJ_PI</b>	<b>São Jorge- Parede Interior</b>

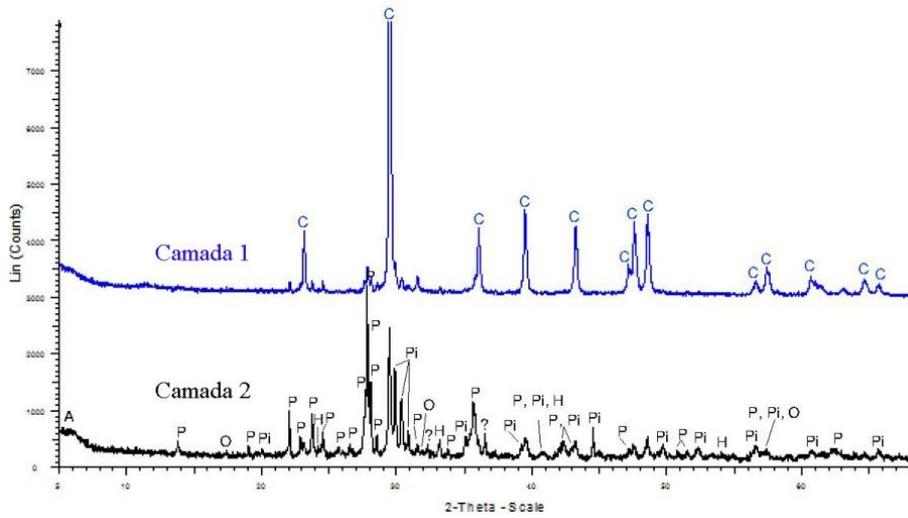
<b>Código</b>	<b>Designação</b>
SJ_PI1_A1 Camada 1	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1 (Tinta)
SJ_PI1_A1 Camada 2	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2 (Argamassa)
SJ_PI1_A1 Camada 3	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 3 (Argamassa)
SJ_PI1_A1 Camada 4	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 4 (Argamassa)
SJ_PI1_A2 Camada 1	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 1 (Tinta)
SJ_PI1_A2 Camada 2	São Jorge- Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 2 (Argamassa)
<b>Boaventura</b>	
<b>B_PE</b>	<b>Boaventura, Parede Exterior</b>
B_PE1_A1 Camada 1	Boaventura, Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1
B_PE1_A1 Camada 2	Boaventura, Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2
<b>B_PI</b>	<b>Boaventura, Parede Interior</b>
B_PI1_A1 Camada 1	Boaventura, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
B_PI1_A1 Camada 2	Boaventura, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
B_PI2_A1 Camada única	Boaventura, Parede Interior 2, Amostra 1, Camada única
<b>Ponta Delgada</b>	
<b>PD_PE</b>	<b>Ponta Delgada, Parede Exterior</b>
PD_PE1_A1 Camada 1	Ponta Delgada - Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1
PD_PE1_A1 Camada 2	Ponta Delgada - Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2
<b>PD_PI</b>	<b>Ponta Delgada, Parede Interior</b>
PD_PI1_A1 Camada 1	Ponta Delgada, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PD_PI1_A1 Camada 2	Ponta Delgada, Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
<b>Porto Santo Camacha 1</b>	
<b>PSC1_PE</b>	<b>Porto Santo (Camacha 1), Parede Exterior</b>
PSC1_PE1_A1 Camada 1	Porto Santo (Camacha 1), Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1
PSC1_PE1_A1 Camada 2	Porto Santo (Camacha 1), Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2
PSC1_PE1_A2 Camada 1	Porto Santo (Camacha 1), Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 1
PSC1_PE1_A2 Camada 2	Porto Santo (Camacha 1), Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 2
<b>PSC1_PI</b>	<b>Porto Santo (Camacha 1), Parede Interior</b>
PSC1_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Camacha 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSC1_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Camacha 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2

<b>Código</b>	<b>Designação</b>
<b>Porto Santo Camacha 2</b>	
<b>PSC2_PI1</b>	<b>Porto Santo (Camacha 2), Parede Interior 1</b>
PSC2_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Camacha 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSC2_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Camacha 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
PSC2_PI1_A2 Camada 1	Porto Santo (Camacha 2), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 1
PSC2_PI1_A2 Camada 2	Porto Santo (Camacha 2), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 2
<b>Porto Santo Farrobo 1</b>	
<b>PSF1_PE</b>	<b>Porto Santo (Farrobo 1), Parede Exterior</b>
PSF1_PE1_A1 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 1
PSF1_PE1_A1 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Exterior 1, Amostra 1, Camada 2
PSF1_PE1_A2 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 1
PSF1_PE1_A2 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Exterior 1, Amostra 2, Camada 2
<b>PSF1_PI</b>	<b>Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior</b>
PSF1_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSF1_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
PSF1_PI1_A1 Camada 3	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 3
PSF1_PI1_A2 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 1
PSF1_PI1_A2 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 1), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 2
<b>Porto Santo Farrobo 2</b>	
<b>PSF2_PI</b>	<b>Porto Santo (Farrobo 2), Parede Interior</b>
PSF2_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSF2_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
PSF2_PI1_A2 Camada 1	Porto Santo (Farrobo 2), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 1
PSF2_PI1_A2 Camada 2	Porto Santo (Farrobo 2), Parede Interior 1, Amostra 2, Camada 2
<b>Porto Santo Serra de Dentro 1</b>	
<b>PSS1_PI</b>	<b>Porto Santo (Serra 1), Parede Interior</b>
PSS1_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Serra 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSS1_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Serra 1), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
PSS1_PI2_A1 Camada 1	Porto Santo (Serra 1), Parede Interior 2, Amostra 1, Camada 1

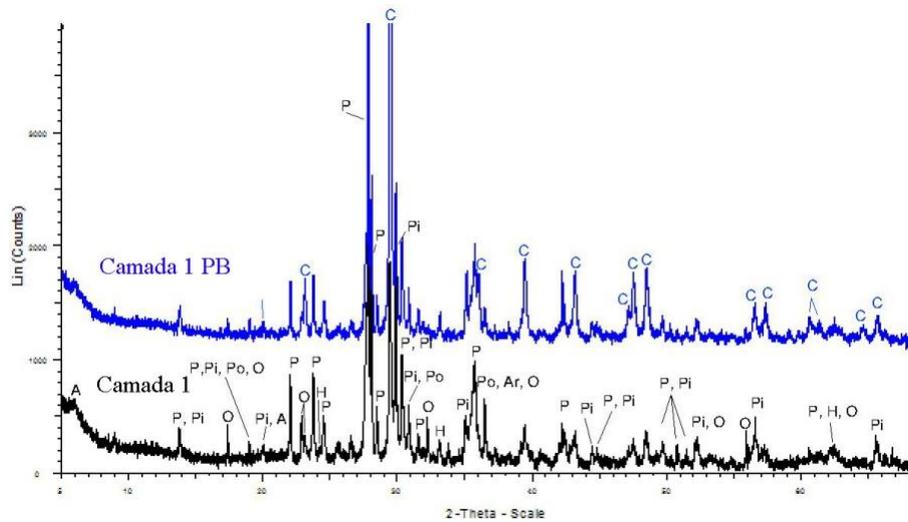
<b>Código</b>	<b>Designação</b>
PSS1_PI2_A1 Camada 2	Porto Santo (Serra 1), Parede Interior 2, Amostra 1, Camada 2
<b>Porto Santo Serra de Dentro 2</b>	
<b>PSS2_PI</b>	<b>Porto Santo (Serra 2), Parede Interior</b>
PSS2_PI1_A1 Camada 1	Porto Santo (Serra 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 1
PSS2_PI1_A1 Camada 2	Porto Santo (Serra 2), Parede Interior 1, Amostra 1, Camada 2
PSS2_PI2_A1 Camada 1	Porto Santo (Serra 2), Parede Interior 2, Amostra 1, Camada 1
PSS2_PI2_A1 Camada 2	Porto Santo (Serra 2), Parede Interior 2, Amostra 1, Camada 2

## 10.2 – Anexo II – Difractogramas

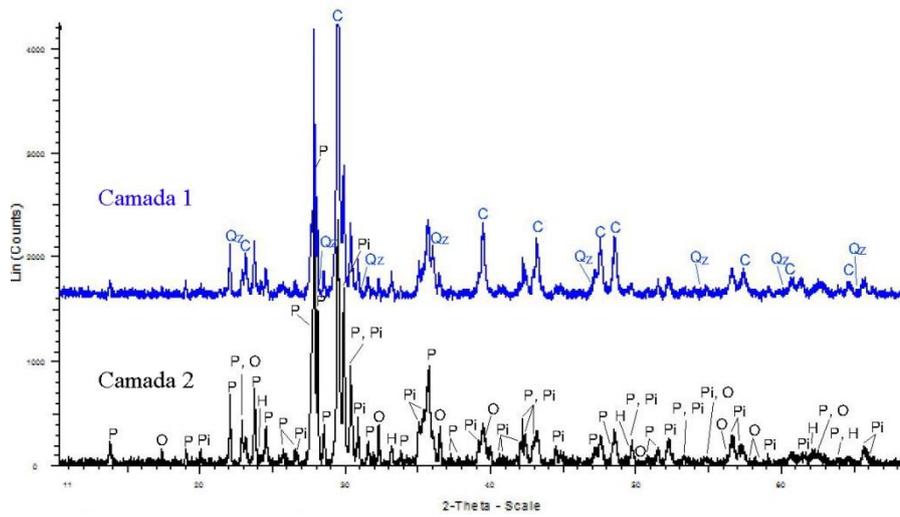
Casa 1: Faial



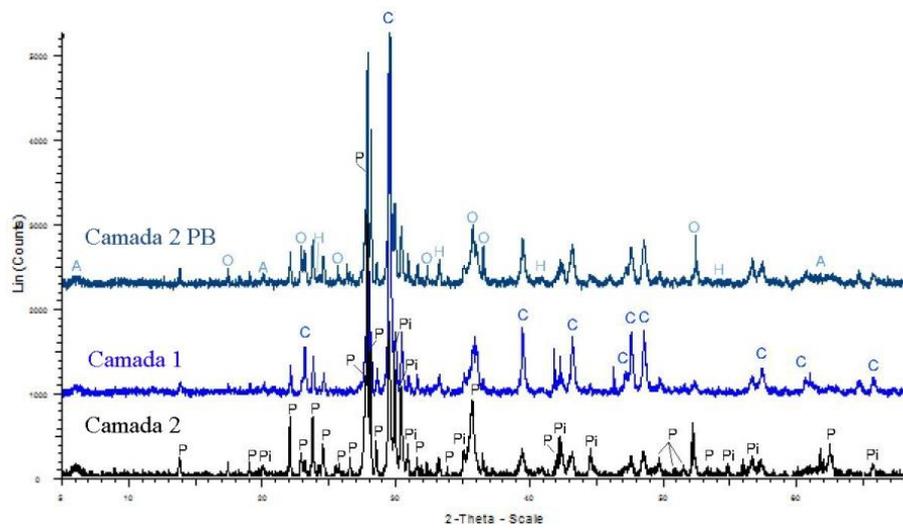
Figura\_All 1 – Difractograma da amostra F\_PE1\_A2 Camada 1 e Camada 2.



Figura\_All 2 – Difractograma da amostra F\_PE2\_A1 Camada 1 PB e Camada 1.

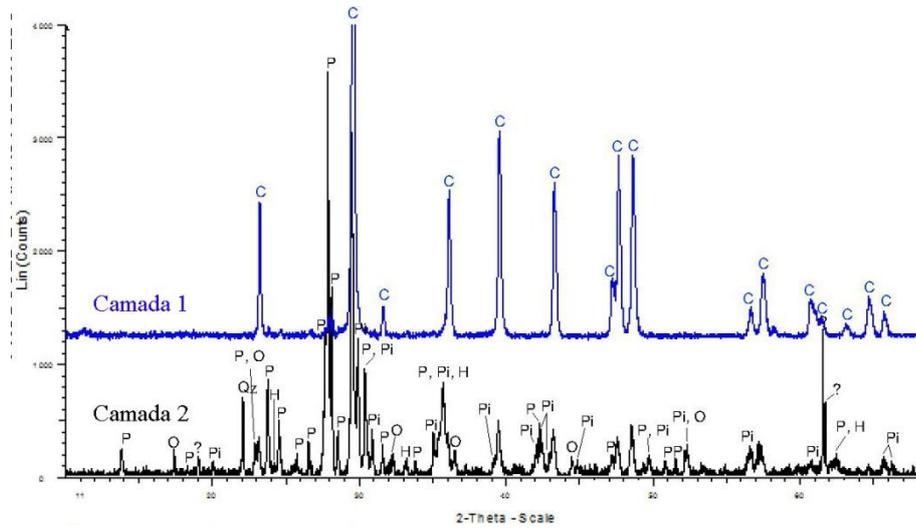


Figura\_All 3 – Difratoograma da amostra F\_PE2\_A2 Camada 1 e Camada 2.

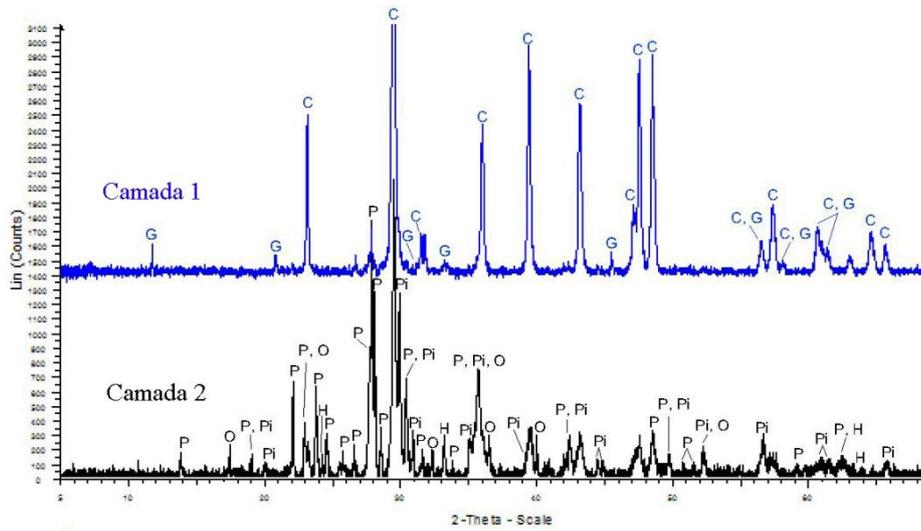


Figura\_All 4 – Difratoograma da amostra F\_PI1\_A1 Camada 1, Camada 2 e Camada 2 PB.

Casa 2: Santana

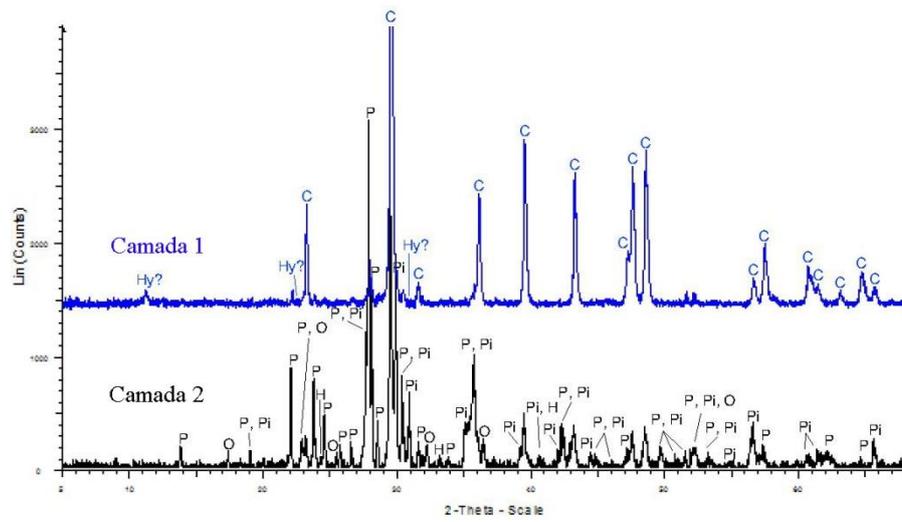


Figura\_All 5 - Difratoograma da amostra S\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

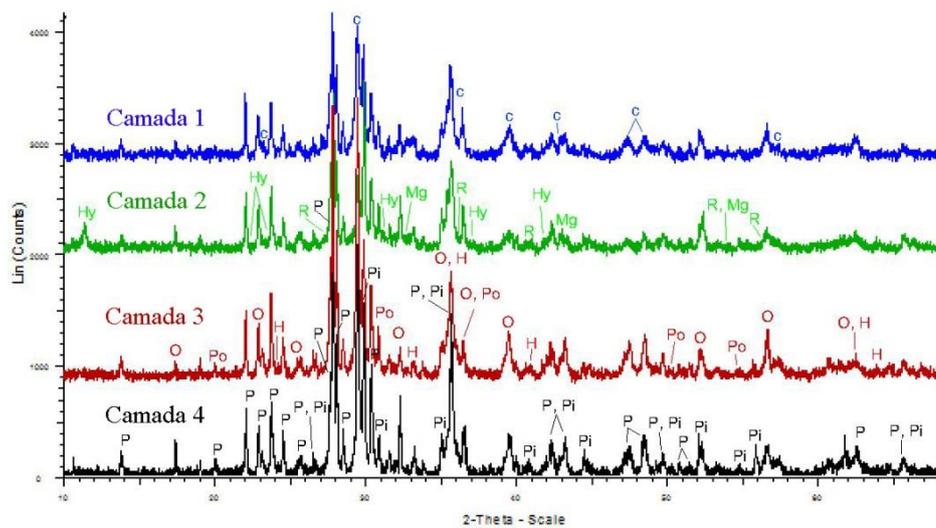


Figura\_All 6 - Difratoograma da amostra S\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

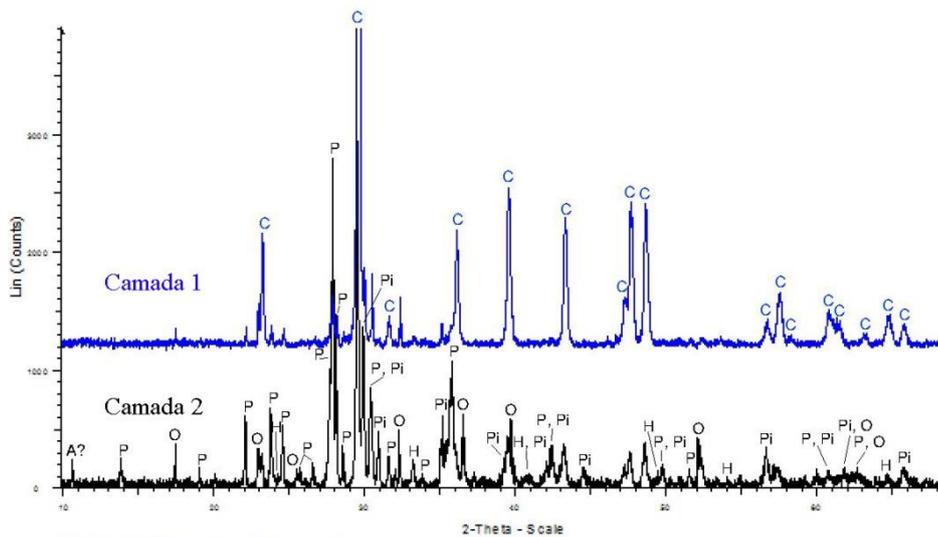
Casa 3: São Jorge



Figura\_All 7 - Difratoograma da amostra SJ\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

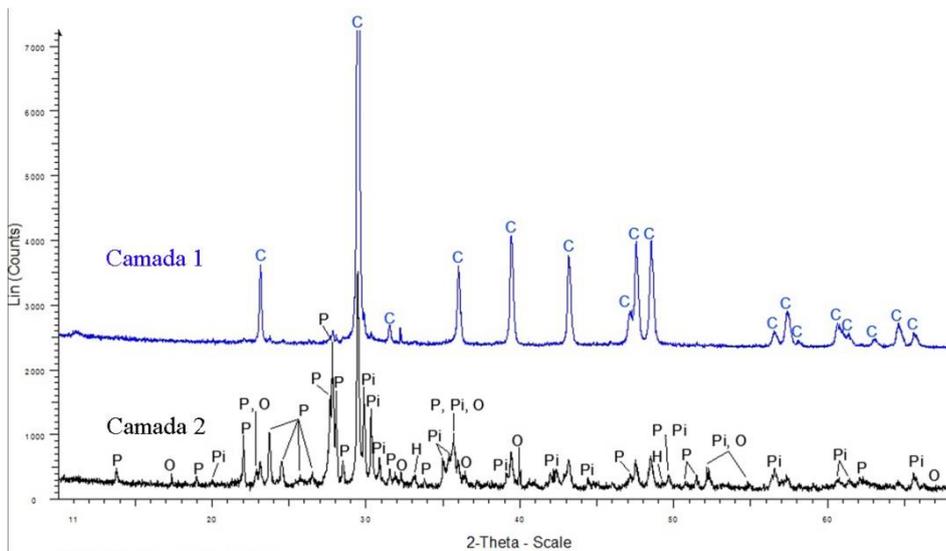


Figura\_All 8 - Difratoograma da amostra SJ\_PI1\_A1 Camada 1, Camada 2, Camada 3 e Camada 4.

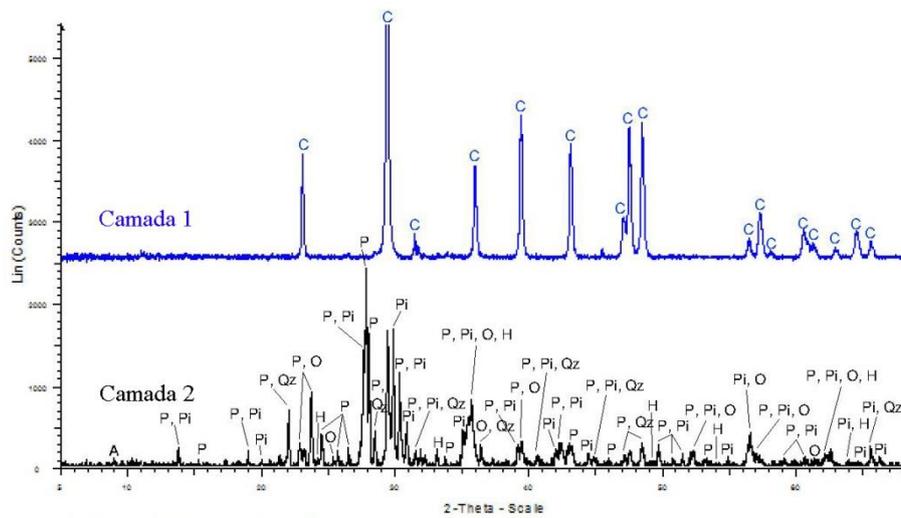


Figura\_All 9 - Difratoograma da amostra SJ\_PI1\_A2 Camada 1 e Camada 2.

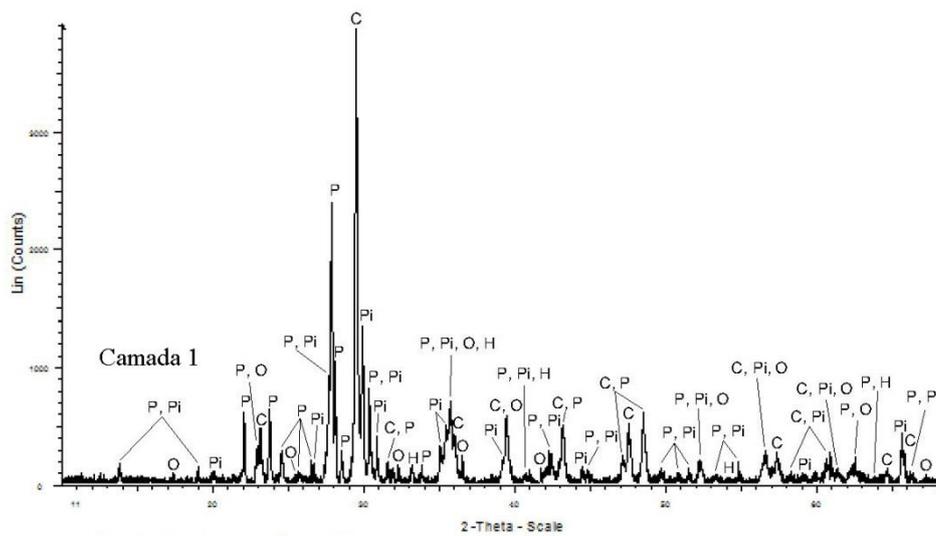
Casa 4: Boaventura



Figura\_All 10 - Difratoograma da amostra B\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

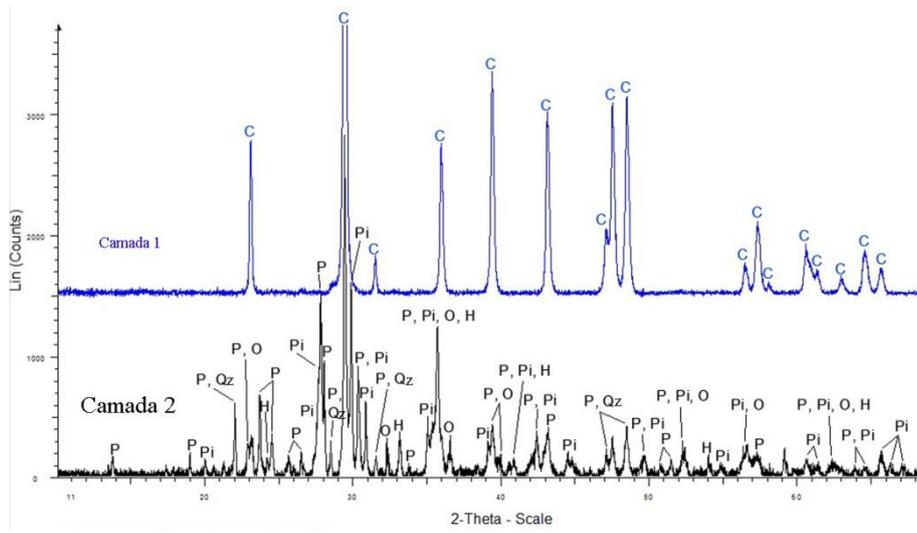


Figura\_All 11 - Difratoograma da amostra B\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

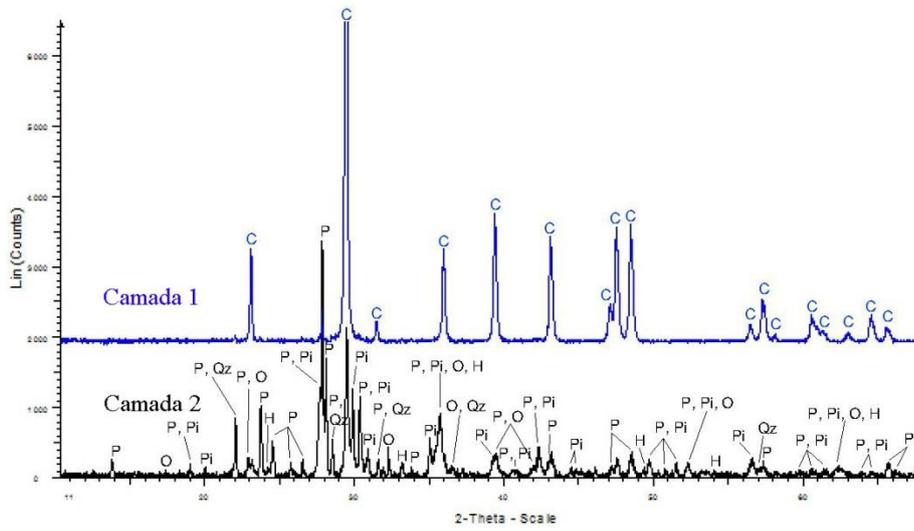


Figura\_All 12 - Difratoograma da amostra B\_PI2\_A1 Camada 1.

Casa 5: Ponta Delgada

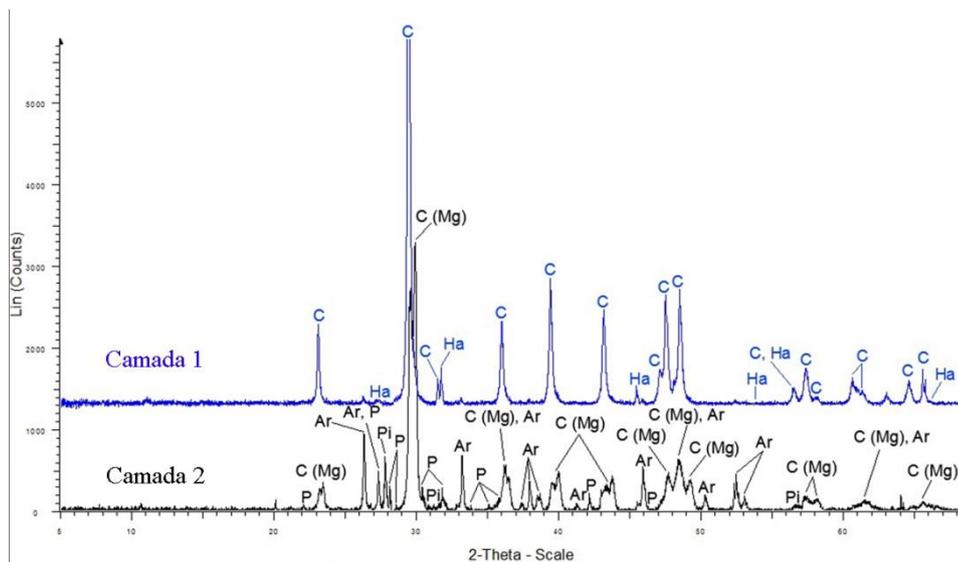


Figura\_All 13 - Difratoograma da amostra PD\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.



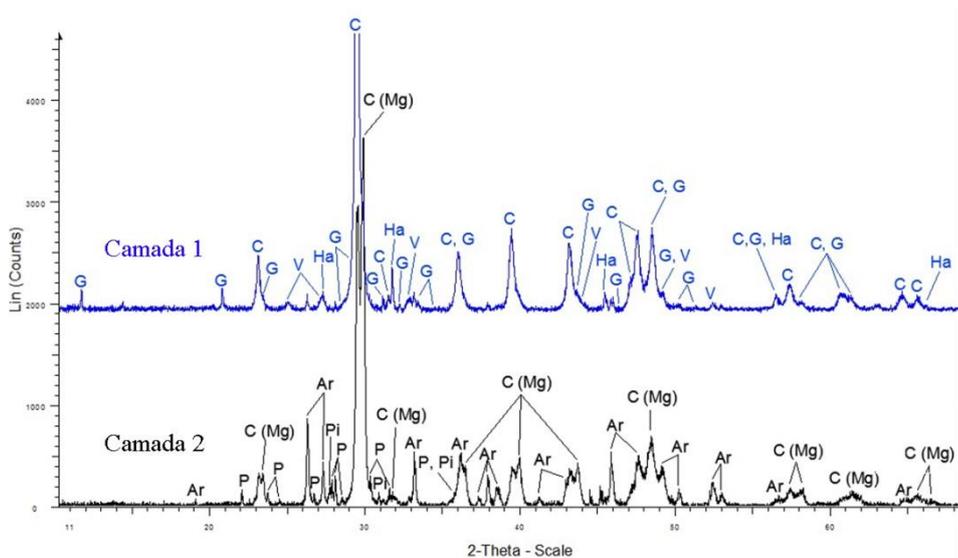
Figura\_All 14 - Difratoograma da amostra PD\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.



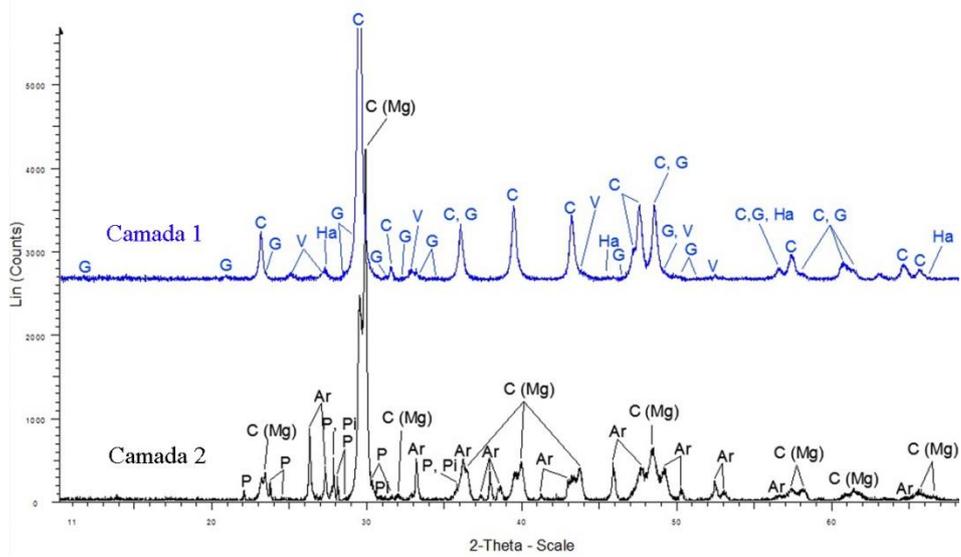


Figura\_All 17 - Difratograma da amostra PSC1\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

*Casa 7: Porto Santo – Camacha 2*

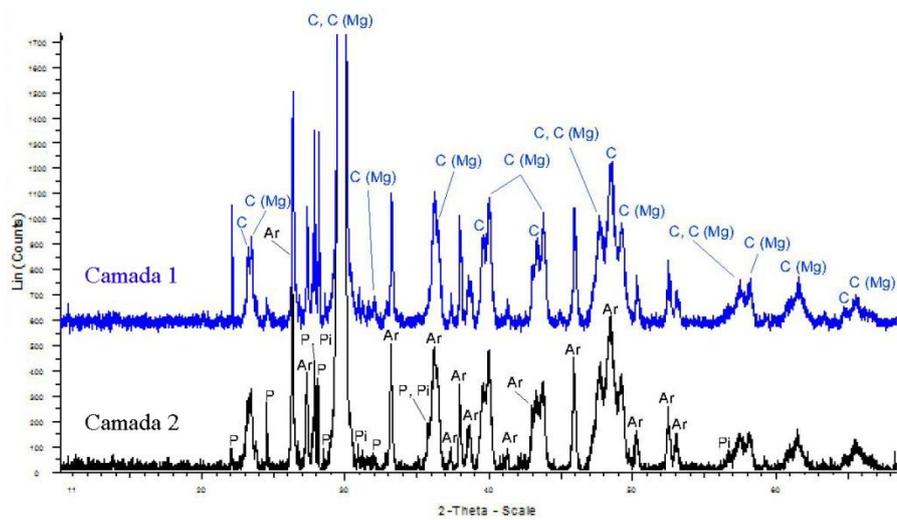


Figura\_All 18 - Difratograma da amostra PSC2\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

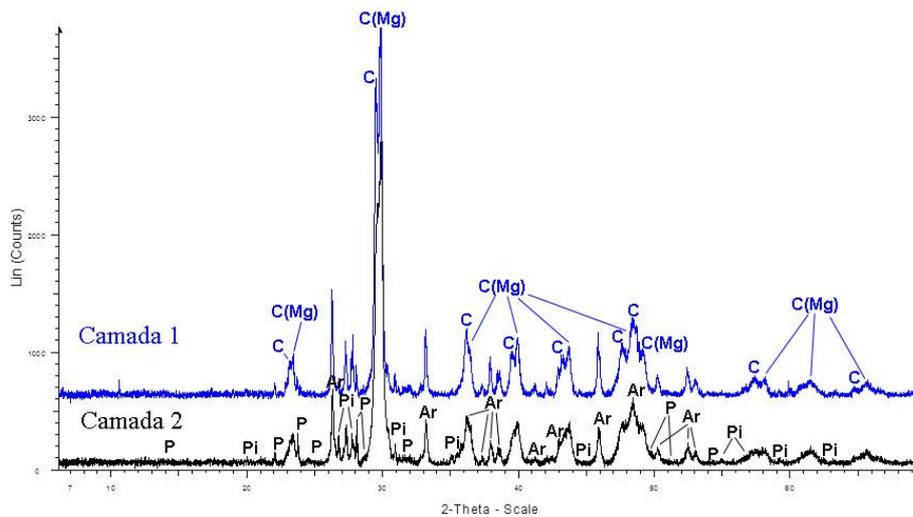


Figura\_All 19 - Difratoograma da amostra PSC2\_PI1\_A2 Camada 1 e Camada 2.

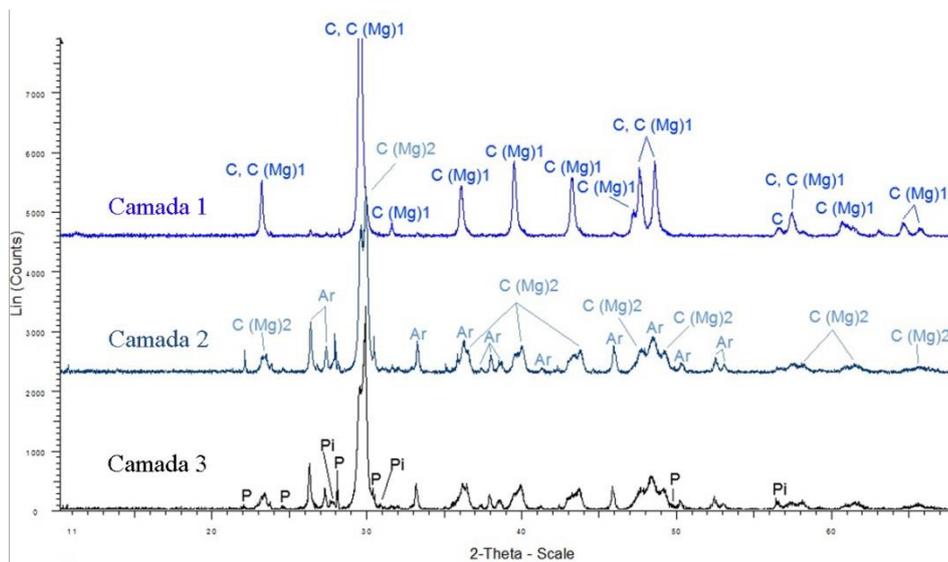
*Casa 8: Porto Santo – Farrobo 1*



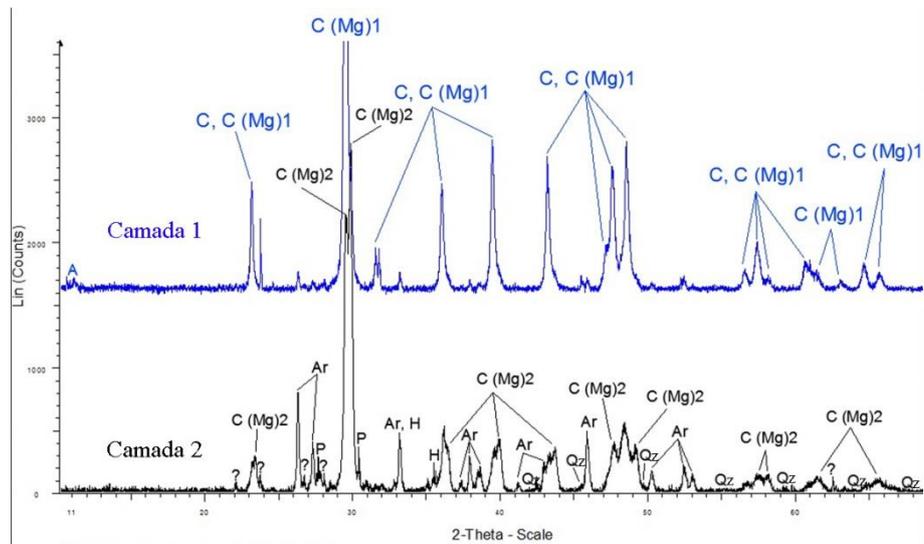
Figura\_All 20 - Difratoograma da amostra PSF1\_PE1\_A1 Camada 1 e Camada 2.



Figura\_All 21 - Difratoograma da amostra PSF1\_PE1\_A2 Camada 1 e Camada 2.

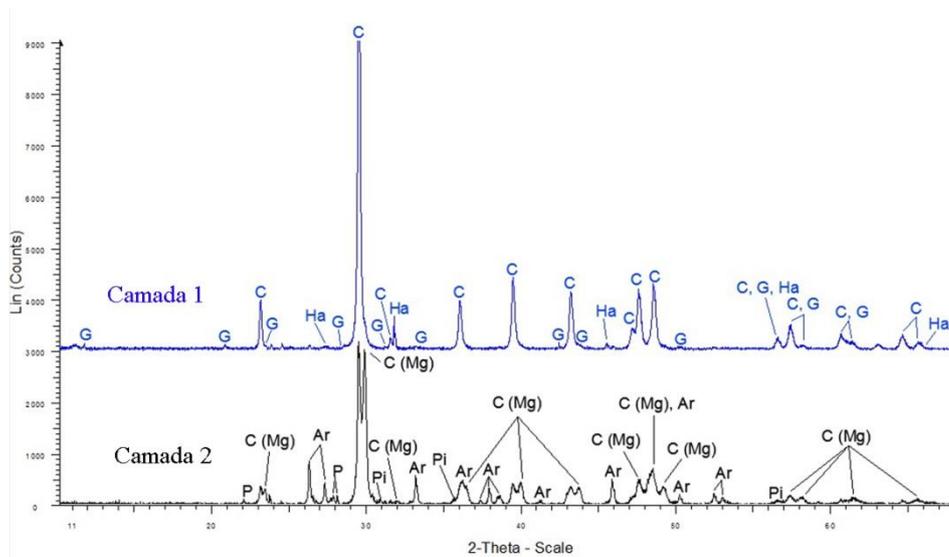


Figura\_All 22 - Difratoograma da amostra PSF1\_PI1\_A1 Camada 1, Camada 2 e Camada 3.

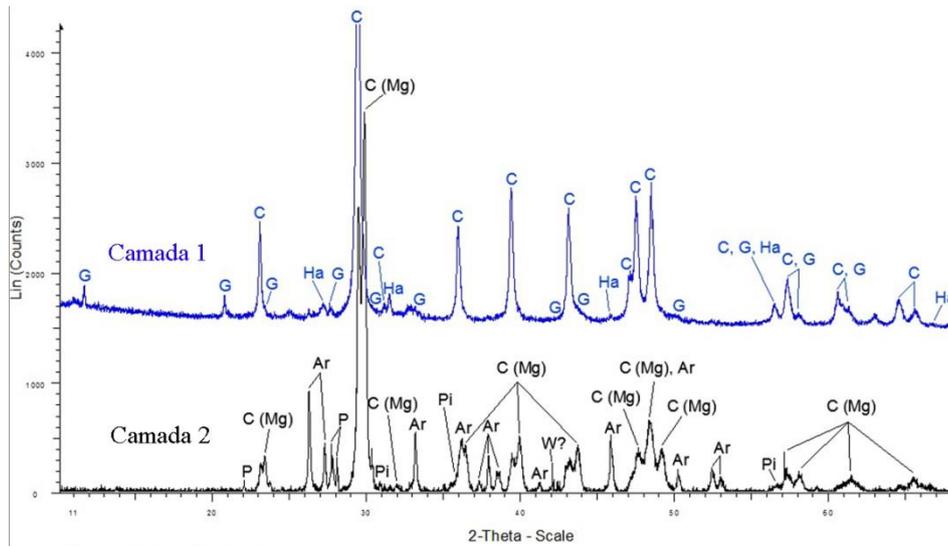


Figura\_All 23 - Difratograma da amostra PSF1\_PI1\_A2 Camada 1 e Camada 2.

*Casa 9: Porto Santo – Farrobo 2*

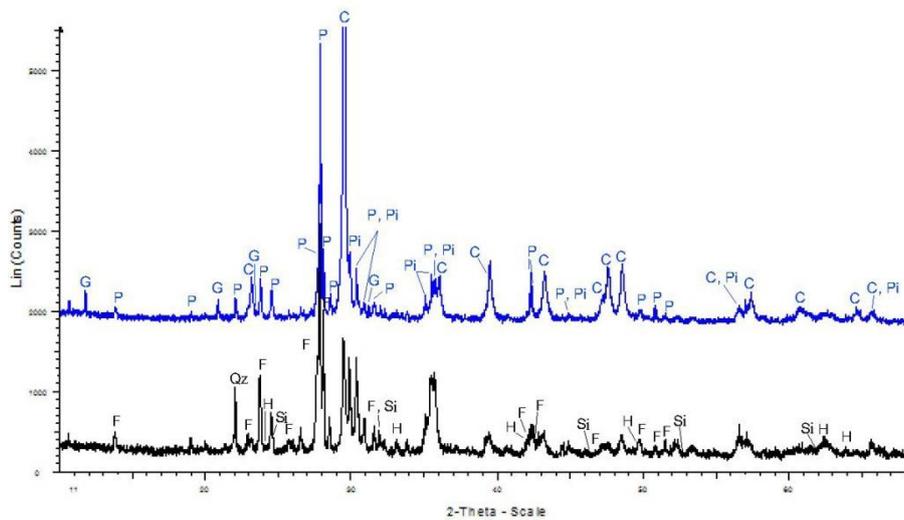


Figura\_All 24 - Difratograma da amostra PSF2\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

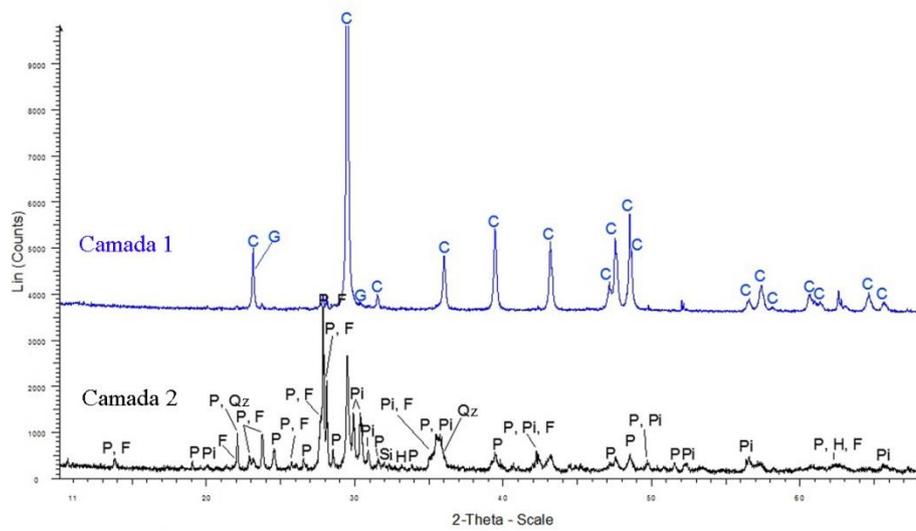


Figura\_All 25 - Difratoograma da amostra PSF2\_PI1\_A2 Camada 1 e Camada 2.

*Casa 10: Porto Santo – Serra de Dentro 1*

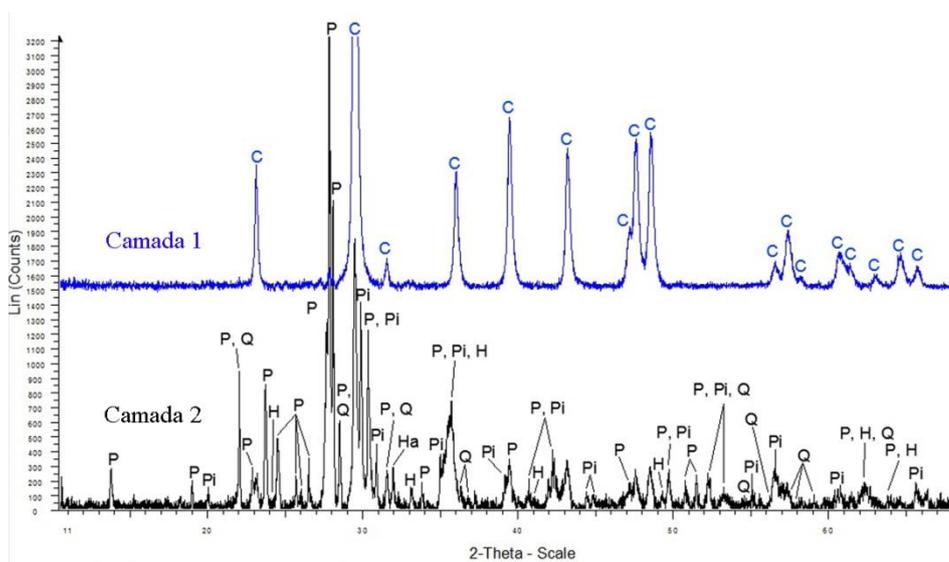


Figura\_All 26 - Difratoograma da amostra PSS1\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.

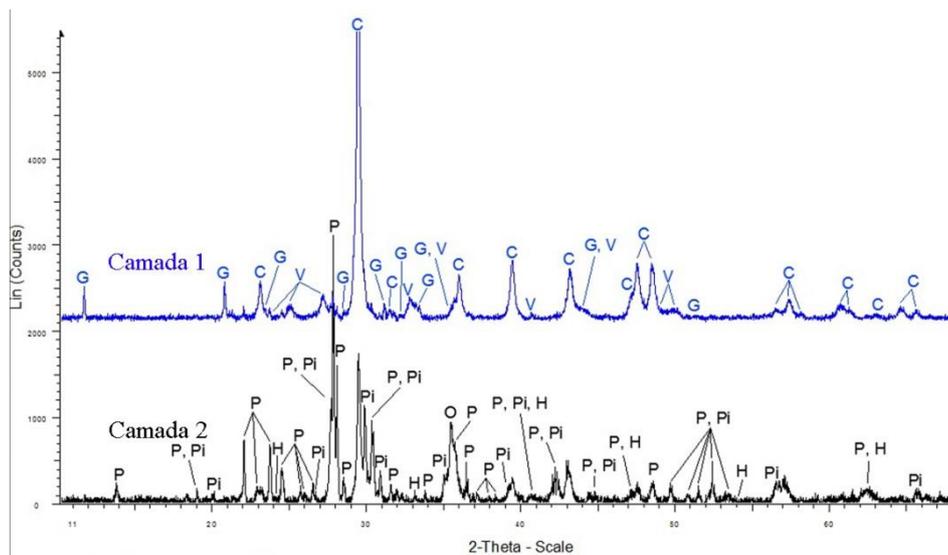


Figura\_All 27 - Difratoograma da amostra PSS1\_PI2\_A1 Camada 1 e Camada 2.

*Casa 10: Porto Santo – Serra de Dentro 2*



Figura\_All 28 - Difratoograma da amostra PSS2\_PI1\_A1 Camada 1 e Camada 2.



Figura\_All 29 - Difratoograma da amostra PSS2\_PI2\_A1 Camada 1 e Camada 2.

### 10.3 – Anexo III – Caracterização de alguns minerais e suas famílias encontrados neste trabalho

Neste anexo pretende-se fazer uma pequena apresentação dos minerais e a suas famílias que mais foram encontrados nos casos de estudo.

#### Carbonatos:

Os carbonatos são um grupo de minerais em que é caracterizado por conter a unidade estrutural do anião  $\text{CO}_3^{2-}$ . Neste grupo existem cerca de 60 minerais apesar de os mais conhecidos, ou seja, os mais encontrados na natureza serem: calcite, magnesite, rodocrosite, siderite, dolomite, aragonite, estroncianite e viterite.

Os carbonatos diferenciam-se das restantes classes de minerais pela sua birrefringência extrema.

Estes são os principais minérios das rochas sedimentares de precipitação química e/ou bioquímica, as rochas carbonatadas e das suas correspondentes metamórficas como o mármore. Devido à sua baixa resistência à meteorização química, não são abundantes em sedimentos com a exceção das areias de praia. A sua existência nos agregados pode dever-se a fragmentos de rochas, areias de praias ou sedimentos.

Aragonite	
<b>Fórmula química</b>	$\text{CaCO}_3$
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Ortorrômbica.
<b>Estrutura</b>	Os iões de Ca encontram-se num arranjo hexagonal compacto que foi deformado por uma compressão perpendicular às camadas, o que difere da calcite em que por sua vez tem um arranjo cúbico.
<b>Cor</b>	Incolor ou branca.
<b>Ocorrência</b>	Encontra-se na constituição de conchas de certos moluscos, podendo encontrar-se na mesma concha aragonite e calcite. Na precipitação de $\text{CaCO}_3$ a partir da água do mar, em gesso, margas, argilas, em pisólitos ou em jazigos calcários de geiseres, em fontes termais e em algumas estalactites e pérolas de regiões calcárias. Ocorre também como mineral secundário em cavidades de rochas vulcânicas, em especial andesitos e basaltos.

---

### Calcite

<b>Fórmula química</b>	CaCO <sub>3</sub>
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal.
<b>Estrutura</b>	Cada Ca está ligado octaedricamente por seis (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> e cada (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> por seis Ca.
<b>Cor</b>	Incolor ou branca, podendo aparecer nos tons de cinzento, amarelo, ou em cores claras como róseos, verdes ou azuis.
<b>Ocorrência</b>	Em rochas sedimentares, metamórficas, ígneas e a partir da mineralização hidrotermal ou secundária. Também se encontra na constituição de conchas de certos moluscos tal como a aragonite. Está associada à fluorite, barite, dolomite, quartzo ou sulfuretos em muitos filões hidrotermais.

---

---

### Dolomite

<b>Fórmula química</b>	CaMg(CO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal.
<b>Estrutura</b>	Semelhante à da calcite, mas por sua vez tem uma simetria inferior. É preferível considerar como sendo a combinação de uma camada de CaCO <sub>3</sub> da calcite e uma camada de MgCO <sub>3</sub> da magnesite.
<b>Cor</b>	Incolor ou branca e em muitas das vezes tingida de amarelo ou castanho.
<b>Ocorrência</b>	Em ambientes sedimentares, jazigos metamórficos e hidrotermais metassomáticos.

---

---

### Magnesite

<b>Fórmula química</b>	MgCO <sub>3</sub>
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal.
<b>Estrutura</b>	Cada Mg está ligado octaedricamente por seis (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> e cada (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> por seis Mg.
<b>Cor</b>	Geralmente branca ou incolor, mas quando contém proporções de ferro pode ser amarela ou castanha.
<b>Ocorrência</b>	Como produto de alteração de rochas ígneas e metamórficas ricas em magnésio. Em jazigos monominerálicos de magnesite e jazigos evaporíticos.

---

---

### Siderite

<b>Fórmula química</b>	FeCO <sub>3</sub>
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal.
<b>Estrutura</b>	Cada Fe está ligado octaedricamente por seis (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> e cada (CO <sub>3</sub> ) <sup>2-</sup> por seis Fe.
<b>Cor</b>	Castanha-amarelada, castanha ou castanha escura.
<b>Ocorrência</b>	Em rochas sedimentares, filhões metálicos.

---

---

### Vaterite

<b>Fórmula química</b>	CaCO <sub>3</sub> -μ
<b>Família</b>	Carbonatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Hexagonal.
<b>Estrutura</b>	---
<b>Cor</b>	Incolor.
<b>Ocorrência</b>	Em conchas de alguns gasterópodes jovens e rochas calcossilicatadas.

---

### Espinelas ou Grupo das Espinelas:

Este grupo consoante o ião trivalente Al, Fe ou Cr pode ser dividido em três séries: a série da espinela (Al), a série da magnetite (Fe<sup>3+</sup>) e a série da cromite (Cr). A série da espinela é composta pela: espinela, hercinite, ganite e galaxite. Por sua vez a série da magnetite é constituída por: magnésio-ferrite, magnetite, franklinite, jacobsite e trevorite. E quanto à série da cromite é formada por: magésio-cromite e cromite. A maghemite e a ulvospinela também apresentam a estrutura da espinela.

---

### Maghemite

<b>Fórmula química</b>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
<b>Família</b>	Espinelas.
<b>Forma de cristalização</b>	Cúbico.
<b>Estrutura</b>	---
<b>Cor</b>	Castanho escuro, preto.
<b>Ocorrência</b>	---

---

### Feldspatos alcalinos:

Os feldspatos alcalinos contêm potássio e sódio, acabando por ser uma mistura de feldspatos potássicos e feldspatos sódicos. Cristalizam no sistema monoclinico ou triclinico, são incolores e não são homogéneos.

<b>Anortoclase</b>	
<b>Fórmula química</b>	(Na, K)AlSi <sub>3</sub> O <sub>8</sub>
<b>Família</b>	Feldspatos alcalinos.
<b>Forma de cristalização</b>	Triclinico.
<b>Estrutura</b>	---
<b>Cor</b>	Geralmente incolor ou branca, podendo ser também cor-de-rosa, amarela, vermelha ou verde.
<b>Ocorrência</b>	Em rochas ígneas.

### Olivinas:

Os minerais pertencentes ao grupo das olivinas são caracterizados por conter o anião SiO<sub>4</sub><sup>4-</sup> e cristalizam em simetria ortorrômbica. Este grupo é constituído pela forsterite, faialite, monticelite e kirschsteinite.

Quanto é estrutura é composta por tetraedros isolados de silício-oxigénio ligados por átomos de (Mg, Fe), estando cada um deles rodeado pelos seis oxigénios mais próximos. Os oxigénios associam-se num arranjo mais ou menos hexagonal e estão colocados em camadas paralelas.

As olivinas são muito suscetíveis aos efeitos de meteorização, ao metamorfismo de baixo grau e à alteração hidrotermal.

Este grupo de minerais é encontrado especialmente numa vasta gama de rochas ígneas, podendo também ser encontrado em rochas metamórficas.

## Óxidos:

A família dos óxidos são caracterizados pelo anião  $O^{2-}$  e estes são classificados dependendo da sua composição química e estrutura.

---

<b>Hematite</b>	
<b>Fórmula química</b>	$Fe_2O_3$
<b>Família</b>	Óxidos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal.
<b>Estrutura</b>	Consiste em camadas de iões de ferro sobrepostas em camadas de iões de oxigénio, em que os iões de oxigénio formam hexagonal ligeiramente distorcida.
<b>Cor</b>	Preto. Cinzento de aço, vermelho brilhante a baço.
<b>Ocorrência</b>	Grande parte ocorre como produto secundário, encontra-se nos solos e como produto de meteorização de minerais que contêm ferro. Apesar de ser raro ocorre em rochas ígneas, quando o magma é pobre em ferro ferroso, ou seja, em granitos, sienitos, riólitos, traquitos... Em rochas metamórficas resulta do metamorfismo da magnetite, siderite e óxidos de ferro hidratados. Em sedimentos é responsável pela coloração vermelha das rochas e pode ocorrer como cimento em arenitos.

---

---

<b>Rútilo</b>	
<b>Fórmula química</b>	$TiO_2$
<b>Família</b>	Óxidos.
<b>Forma de cristalização</b>	Tetragonal.
<b>Estrutura</b>	Cada ião de Ti está ligado com seis iões de O localizados nos vértices de um octaedro regular ligeiramente distorcido e cada O está rodeado por três iões de Ti situados num plano definido pelos vértices de um triângulo aproximadamente equilátero.
<b>Cor</b>	Normalmente castanha-avermelhada, podendo ser preta, violeta, amarela ou verde (sintético: cor branca).
<b>Ocorrência</b>	Principalmente em rochas ígneas, metamórficas e areias de praia.

---

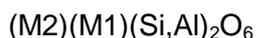
<b>Portlandite</b>	
<b>Fórmula química</b>	Ca(OH) <sub>2</sub>
<b>Família</b>	Óxidos.
<b>Forma de cristalização</b>	Trigonal - escalenoédrica hexagonal.
<b>Estrutura</b>	---
<b>Cor</b>	Incolor.
<b>Ocorrência</b>	Normalmente do contacto da Larnite e da Spurite com rochas vulcânicas.

<b>Wustite</b>	
<b>Fórmula química</b>	FeO
<b>Família</b>	Óxido.
<b>Forma de cristalização</b>	Monoclínico.
<b>Estrutura</b>	---
<b>Cor</b>	Cinzento.
<b>Ocorrência</b>	Principalmente da oxidação da hematite e da magnetite. Também é encontrado em meteoritos.

### **Piroxenas:**

As piroxenas são o grupo mais importante dos minerais ferromagnesianos constituintes das rochas, essencialmente constituídas por magnésio, ferro e cálcio. Este contém minerais ortorrômbicos, chamados de ortopiroxenas e monoclinicos designados de clinopiroxenas. O subgrupo das ortopiroxenas baseia-se essencialmente numa série química simples com minerais de composição (Mg, Fe)SiO<sub>3</sub>, já pelo contrário o subgrupo das clinopiroxenas tem uma maior variação da sua posição química: CaMgSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, CaFeSi<sub>2</sub>O<sub>6</sub>, Mg<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub> e Fe<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>O<sub>6</sub>. Ainda acerca das clinopiroxenas as substituições isomórficas não são apenas substituições de catiões bivalentes.

As piroxenas podem ser consideradas em três subgrupos principais: piroxenas de magnésio e ferro em que os outros catiões ocupam menos de 10 por cento das posições M1 e M2 da fórmula geral, sendo a fórmula geral:



as piroxenas cálcicas, nas quais o Ca ocupa mais de dois terços das posições M2 e as piroxenas sódicas, onde Na ocupa praticamente toda a posição M2 e a posição M1 é ocupada por Al, Fe<sup>3+</sup> ou Cr.

### **Plagioclases:**

As plagioclases são o grupo de minerais que mais se encontra nas rochas.

Este grupo é composto por uma série em que nos seus extremos estão a albite e anortite e entre estes dois, os minerais existentes são uma variação de percentagem dos dois extremos albite e anortite,  $Ab_xAn_{100-x}$ . Portanto é composta por: albite (com An de 0-10), oligoclase (com An de 10-30), andesina (com An de 30-50), labradorite (com An de 50-70), bitaunite (com An 70-90) e anortite (com An 90-100).

O extremo anortite contem uma estrutura completamente ordenada onde o número igual de átomos de Si e Al alternam com regularidade.

As restantes séries de plagioclases ainda não possuem uma estrutura totalmente conhecida, apesar dos estudos já efetuados.

### **Quartzo:**

O quartzo foi definido no século XVIII com o nome de “cristal” ou “cristal de rocha”, apresentando-se na natureza de forma abundante, após dos feldspatos, sendo constituinte de diversas rochas como ígneas, sedimentares e metamórficas.

As principais estruturas de  $SiO_2$ , quartzo, tridimite, cristobalite, possuem estruturas diferentes entre si e um campo de estabilidade definido consoante as condições de equilíbrio. Alterações físicas como variações de temperatura provocam transformações extremamente lentas formando a cada uma das três formas de quartzo, tridimite metaestável e cristobalite metaestável uma nova designação de  $\alpha$  e  $\beta$ , sendo  $\alpha$  para temperaturas mais baixas e  $\beta$  para temperaturas mais elevadas. Independentemente da forma a estrutura deste grupo é caracterizada por tetraedros de  $SiO_4$ .

O quartzo normalmente é composto por aproximadamente 100 por cento de  $SiO_2$ . É muito resistente à meteorização química e física.

## Sulfatos:

O grupo dos sulfatos caracteriza-se por conter o anião  $\text{SO}_4^{2-}$  e classificam-se de acordo da estrutura e da composição de química.

---

<b>Gesso</b>	
<b>Fórmula química</b>	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
<b>Família</b>	Sulfatos.
<b>Forma de cristalização</b>	Monoclínico.
<b>Estrutura</b>	Cada íon de cálcio está ligado por seis átomos de oxigênio dos grupos $\text{SO}_4$ e por duas moléculas de água.
<b>Cor</b>	Normalmente branca ou incolor, mas por vezes podendo aparecer nos tons de cinza, vermelho, amarelo, castanho e azul.
<b>Ocorrência</b>	Em jazigos sedimentares associados com calcários, xistos argilosos, margas e argilas e em jazigos de evaporitos.

---

---

<b>Halite</b>	
<b>Fórmula química</b>	$\text{NaCl}$
<b>Família</b>	-----
<b>Forma de cristalização</b>	Cúbico.
<b>Estrutura</b>	Cada Na está ligado octaedricamente por seis Cl e cada Cl por seis Na.
<b>Cor</b>	Quando pura é incolor ou branca, podendo ser também cinzenta, amarela ou azul, mas a sua cor mais característica devido à presença de ferro é laranja ou vermelha.
<b>Ocorrência</b>	Especialmente em rochas sedimentares, em que depositou por evaporação da água do mar ou de lagos salgados.

---



**10.4 – Anexo IV – Fichas de resultados de cada amostra de cada habitação**



Localização: São Roque do Faial, Longueira

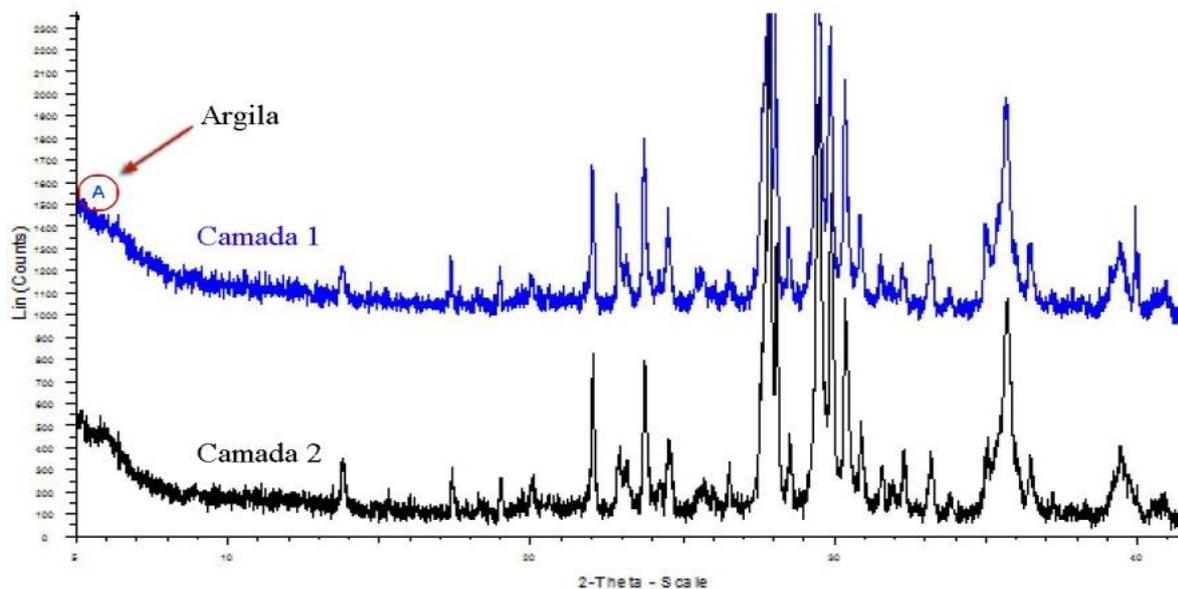
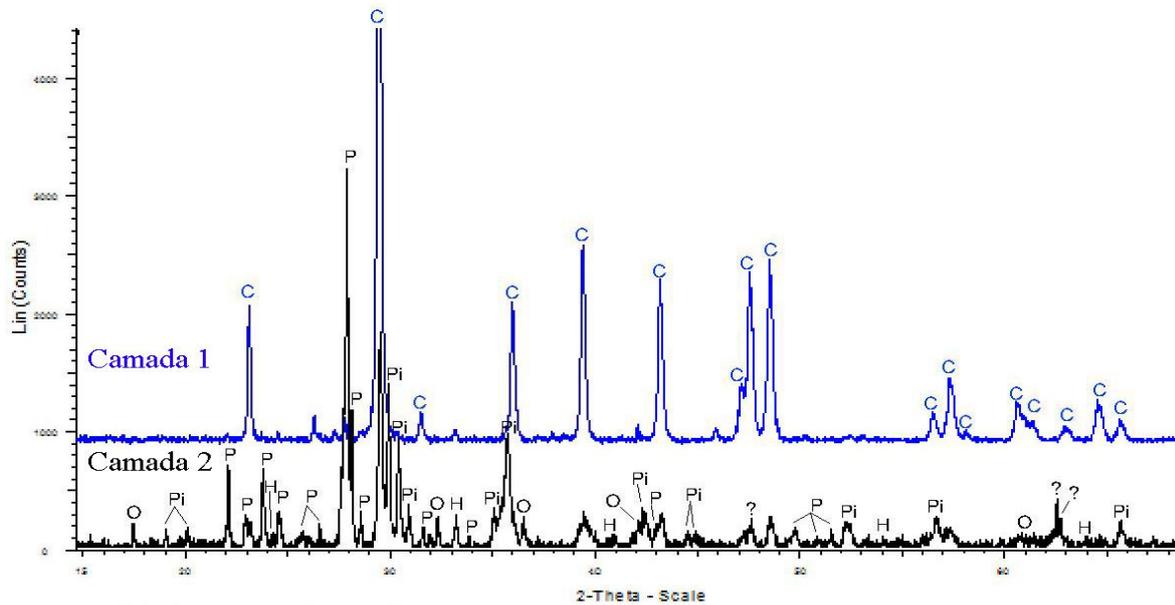
Amostra: F\_PE1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior

Observações: Apresenta a cor esverdeada constituída por três camadas

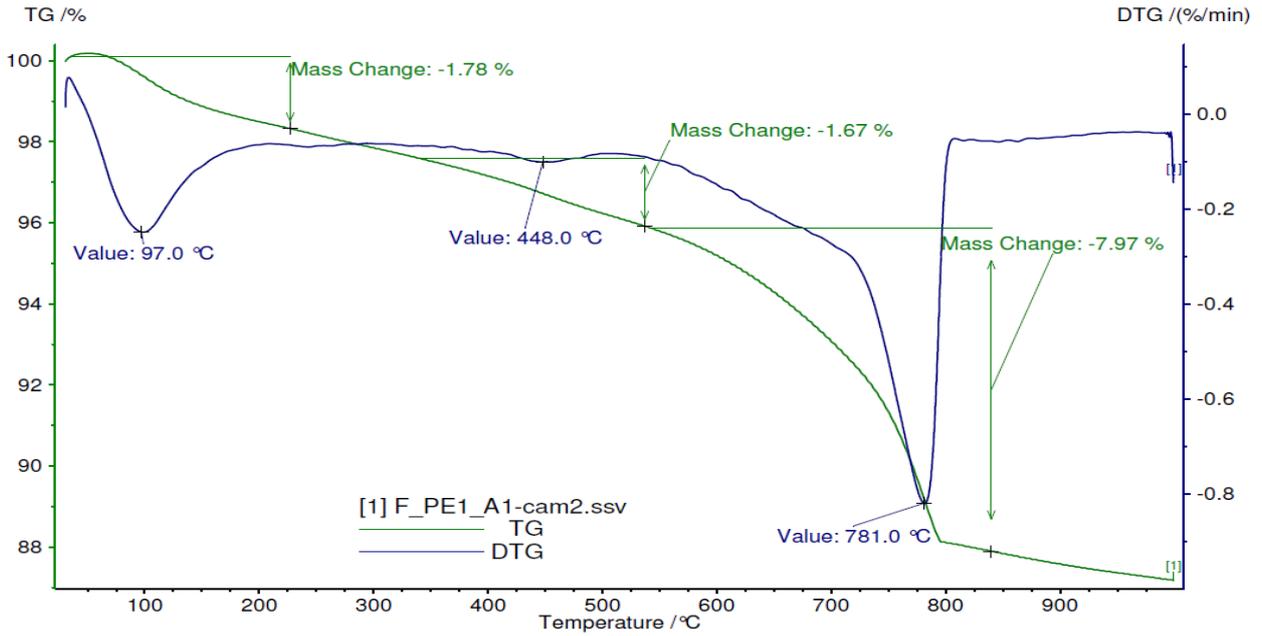
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	93%	15%
Hematite [H]	0,8%	3%
Maghemite [Mh]	---	2%
Olivinas [O]	3%	12%
Piroxenas [Pi]	1%	27%
Plagioclases [P]	2%	42%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

## Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)

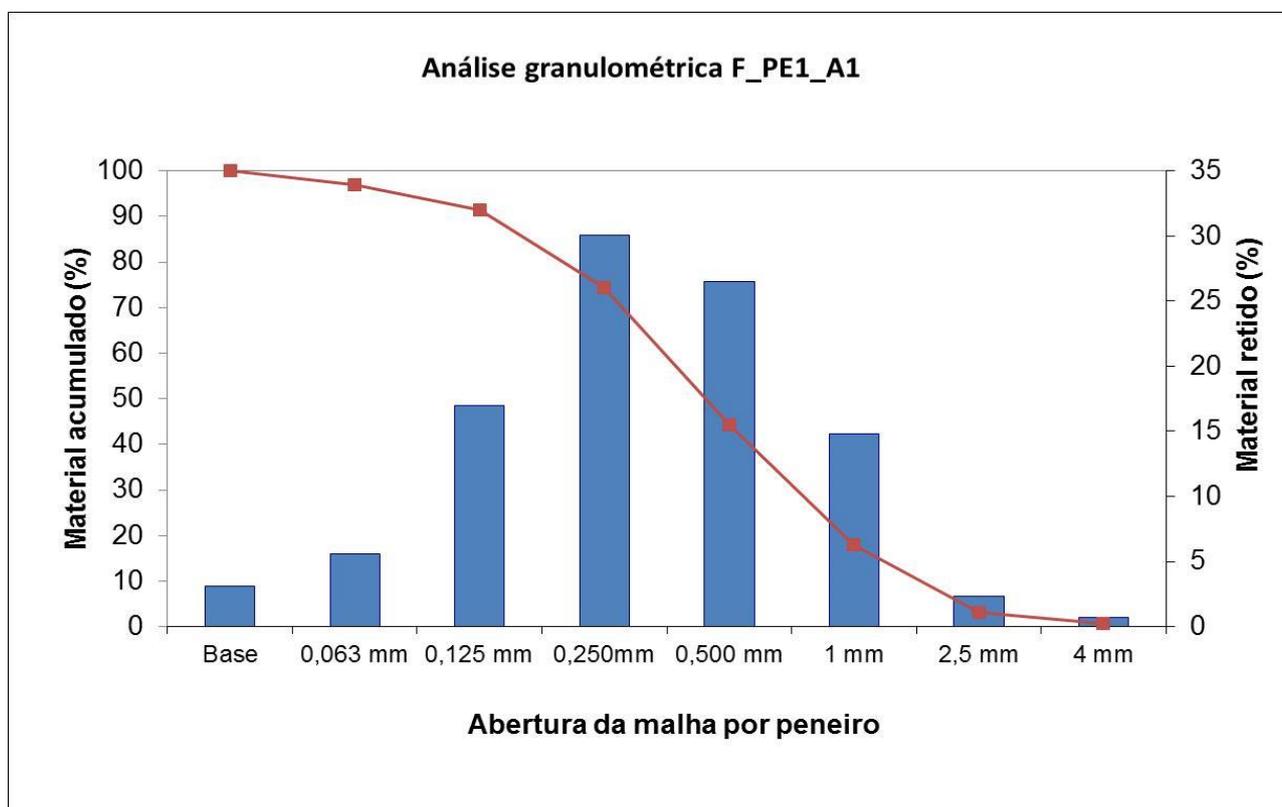


Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,8			1,7		8,0	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	18	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	65,1



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,72	0,72
2,5 mm	2,32	3,04
1 mm	14,81	17,85
0,500 mm	26,50	44,35
0,250 mm	30,04	74,40
0,125 mm	16,96	91,36
0,063 mm	5,57	96,93
Base	3,07	100,00



Localização: São Roque do Faial, Longueira

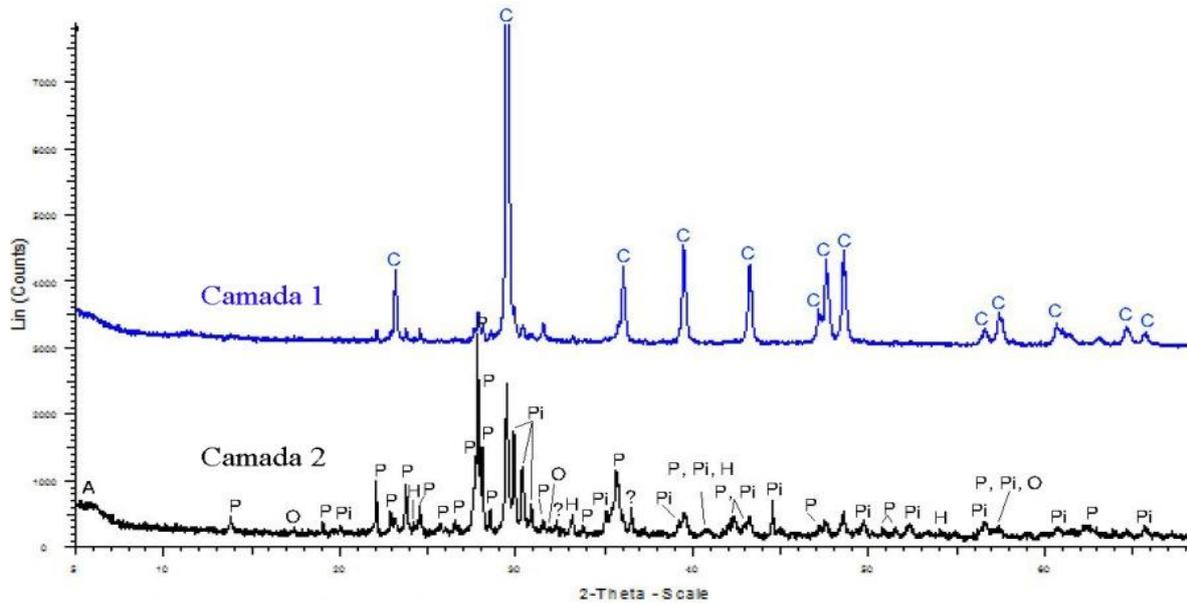
Amostra: F\_PE1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento exterior

Observações: Apresenta cor preta e é constituída por duas camadas

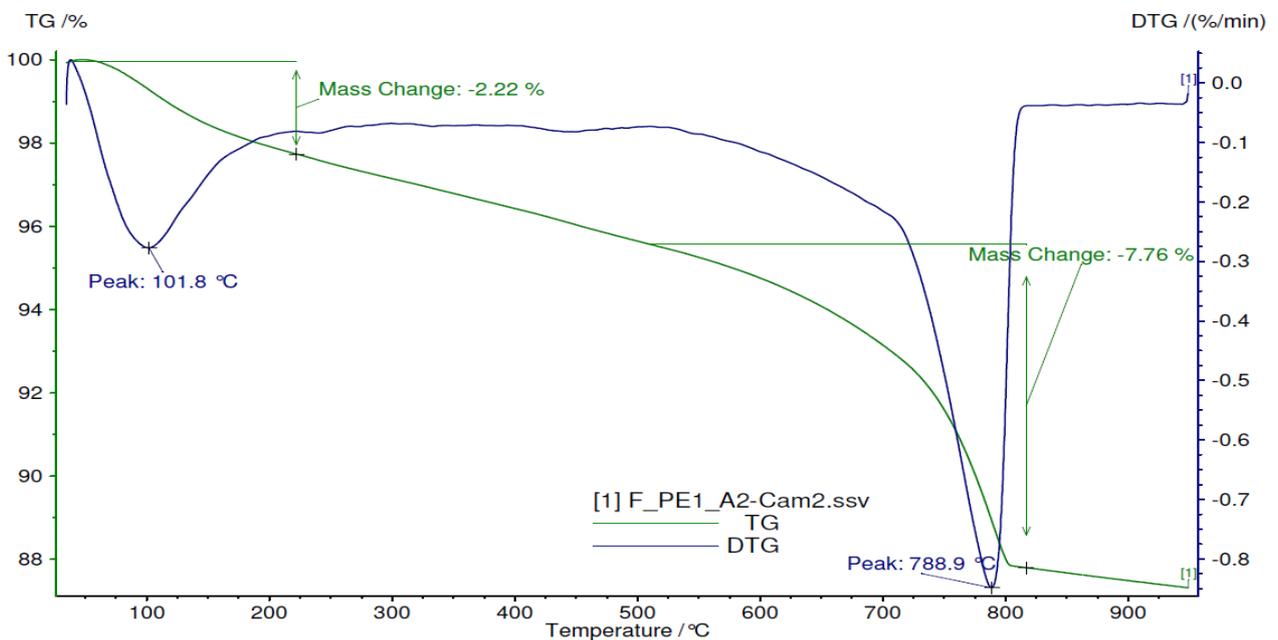
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	78%	14%
Hematite [H]	1%	3%
Olivinas [O]	3%	10%
Piroxenas [Pi]	7%	30%
Plagioclases [P]	11%	43%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



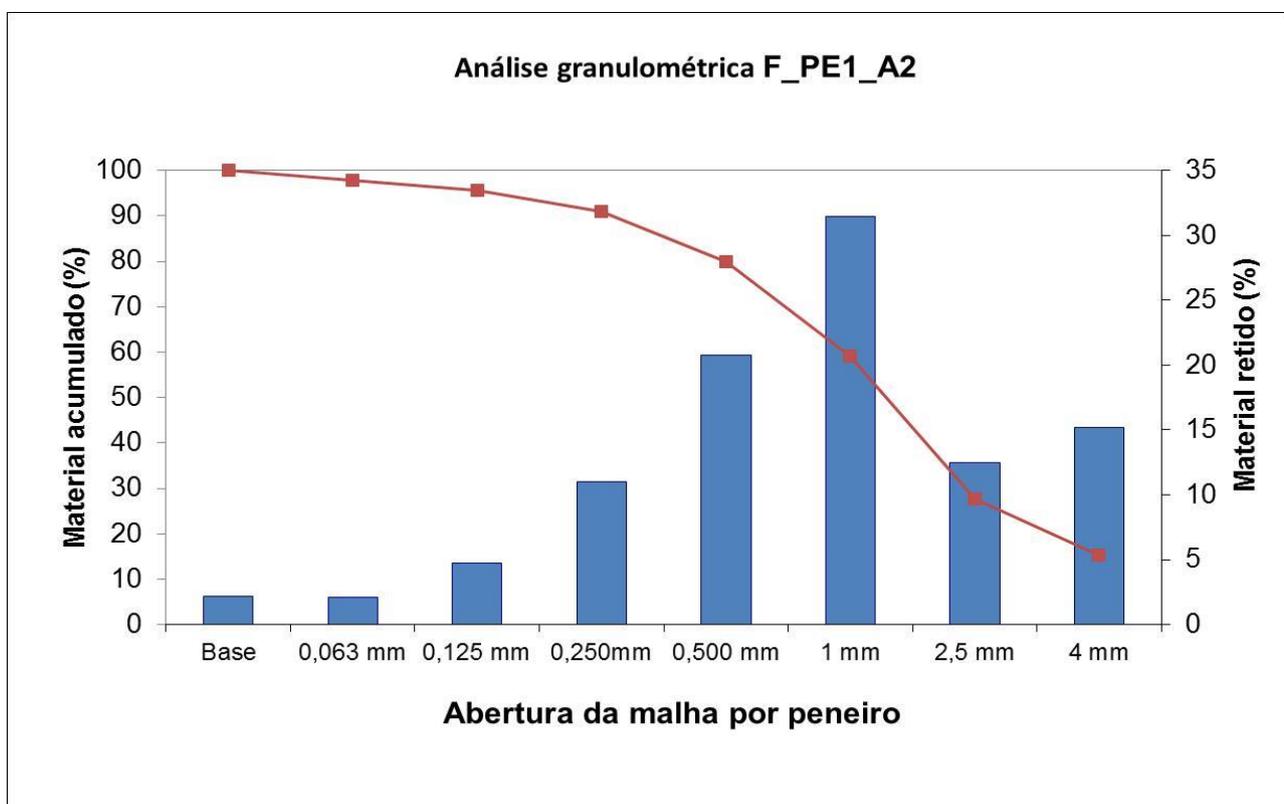
Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	2,2					7,8	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	18	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	72,8

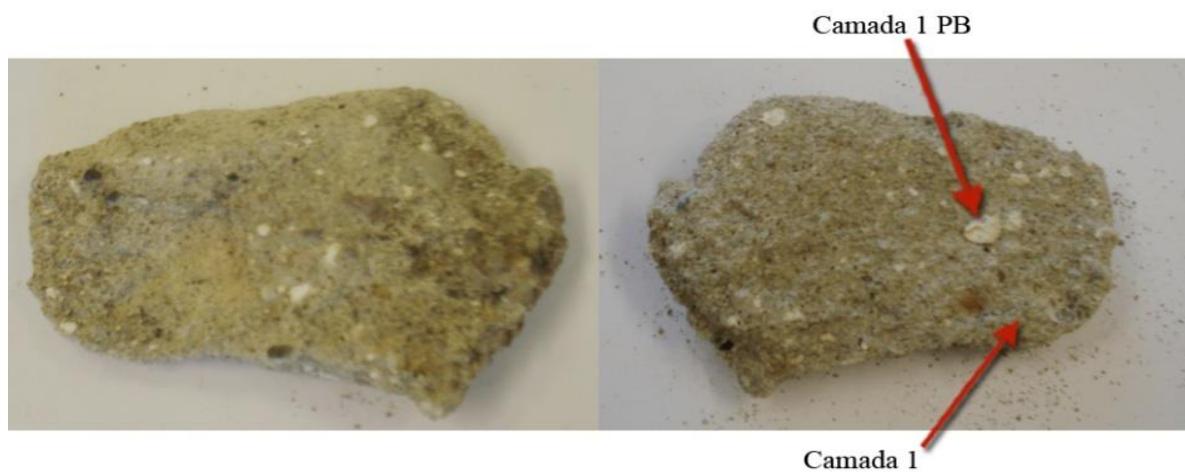


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	15,19	15,19
2,5 mm	12,45	27,64
1 mm	31,48	59,12
0,500 mm	20,78	79,90
0,250 mm	11,03	90,93
0,125 mm	4,77	95,70
0,063 mm	2,11	97,81
Base	2,19	100,00



Localização: São Roque do Faial, Longueira

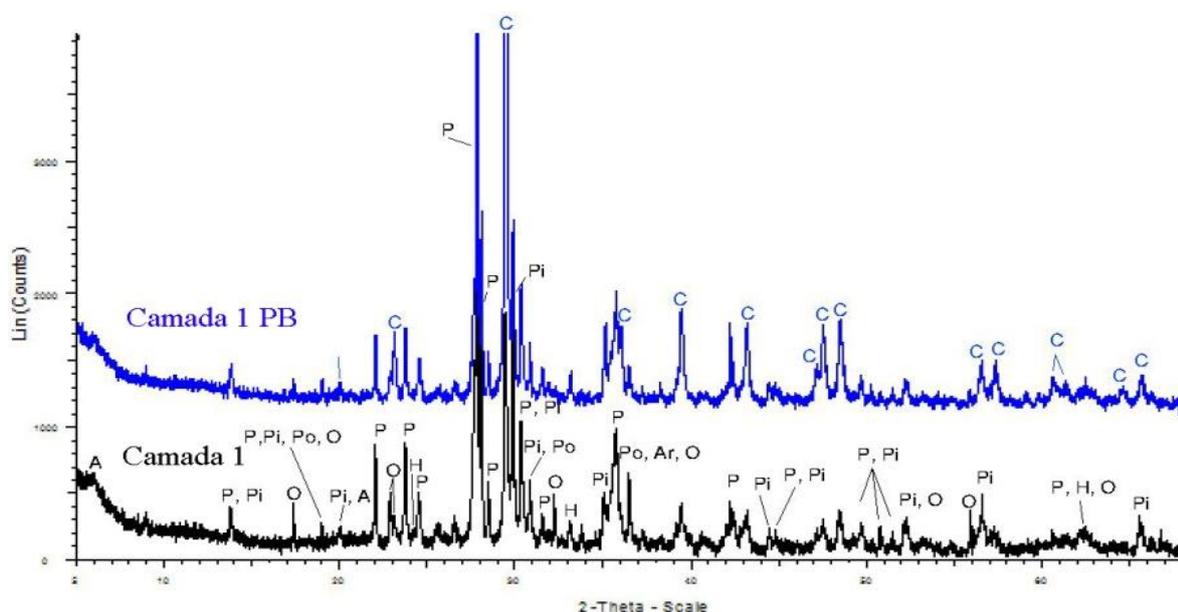
Amostra: F\_PE2\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior

Observações: De cor cinzenta, com apenas uma camada, sem apresentar revestimento e contém vários nódulos brancos.

Difração de raios - X (DRX)



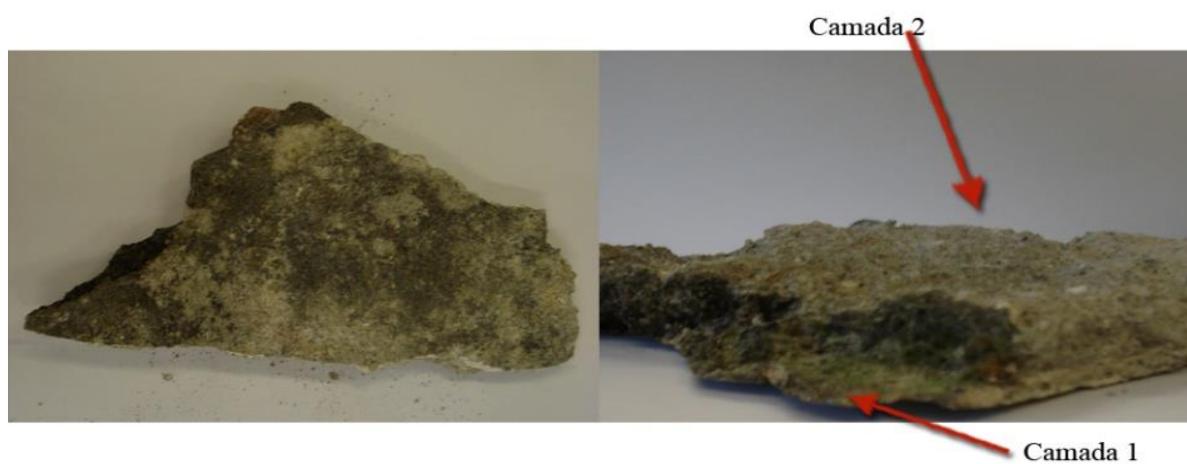
Minerais	Camada 1	Camada 1 PB
Aragonite [Ar]	0,4%	1%
Calcite [C]	12%	31%
Hematite [H]	2%	2%
Olivinas [O]	10%	8%
Piroxenas [Pi]	32%	25%
Plagioclases [P]	45%	34%
Portlandite [Po]	0,2%	0,2%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.



Localização: São Roque do Faial, Longueira

Amostra: F\_PE2\_A2

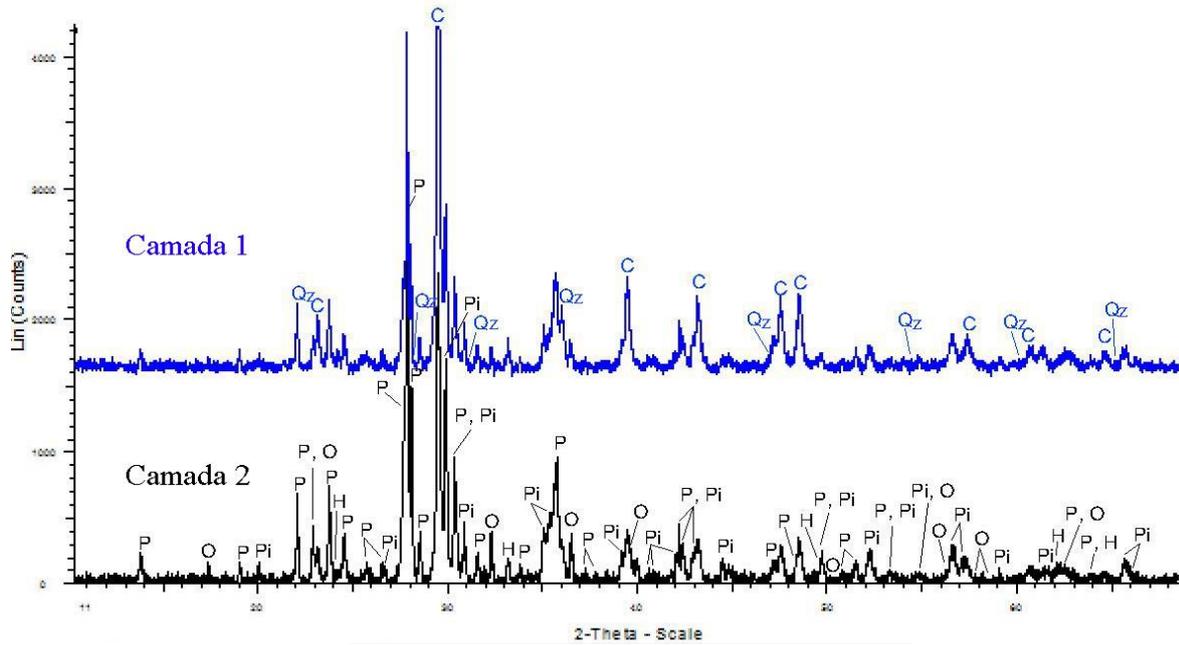


Identificação: Argamassa de revestimento exterior

Observações: Constituída por duas camadas e de cor preta

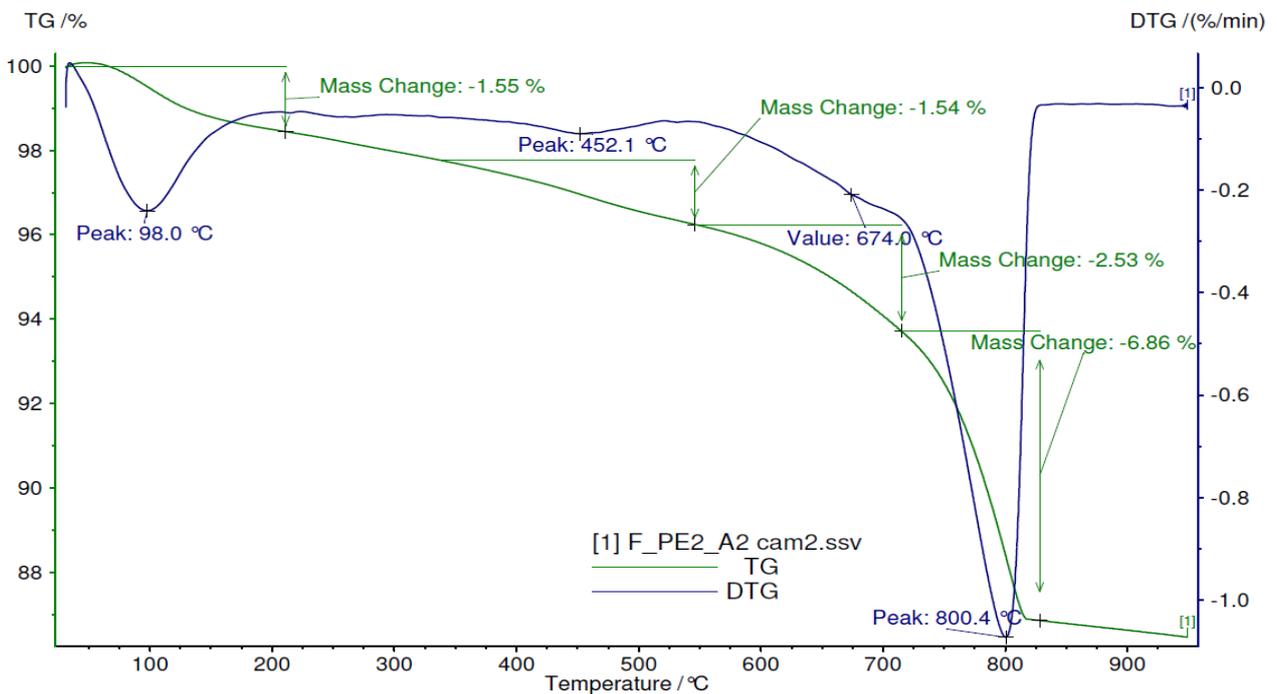
## Caracterização química e mineralógica:

### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	35%	17%
Hematite [H]	2%	2%
Olivinas [O]	8%	10%
Piroxenas [Pi]	23%	29%
Plagioclases [P]	31%	41%
Quartzo [Qz]	0,02%	0,03%

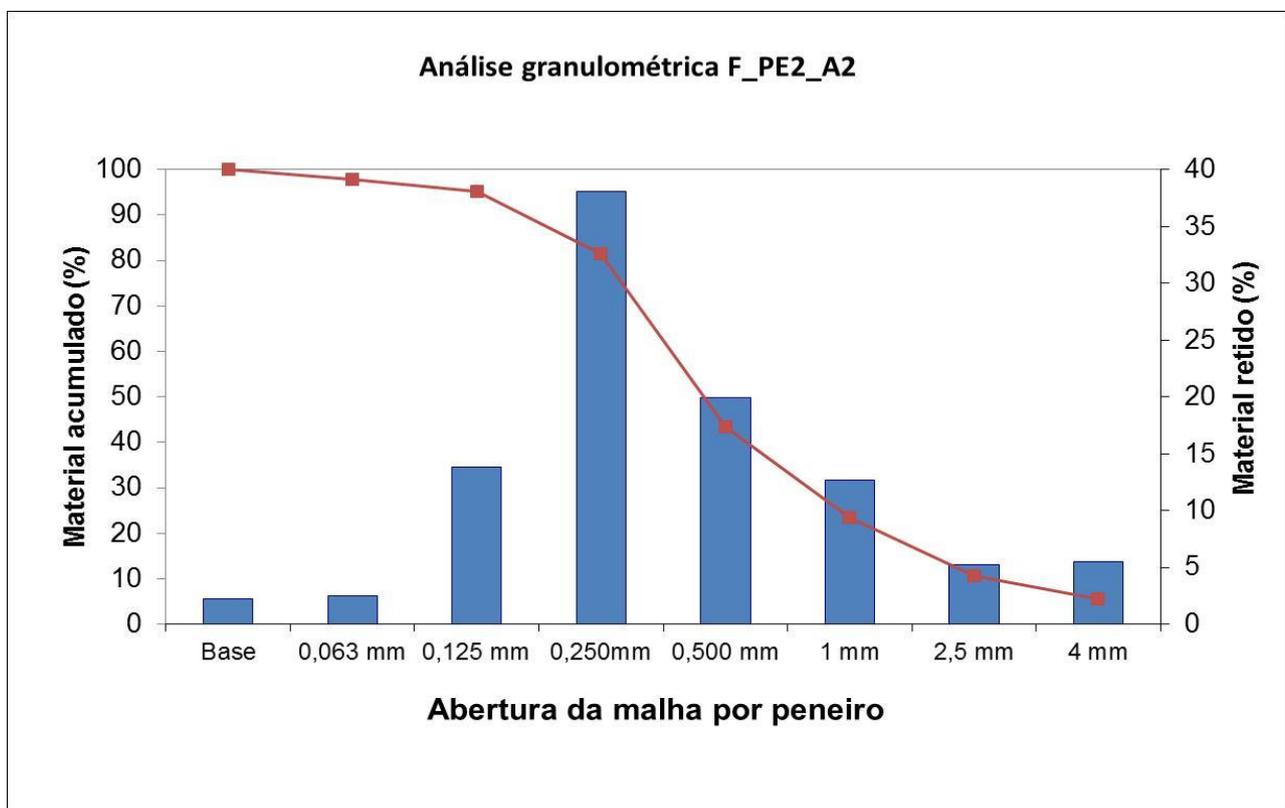
### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,6			1,5	2,5	6,9	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	16	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	69,5

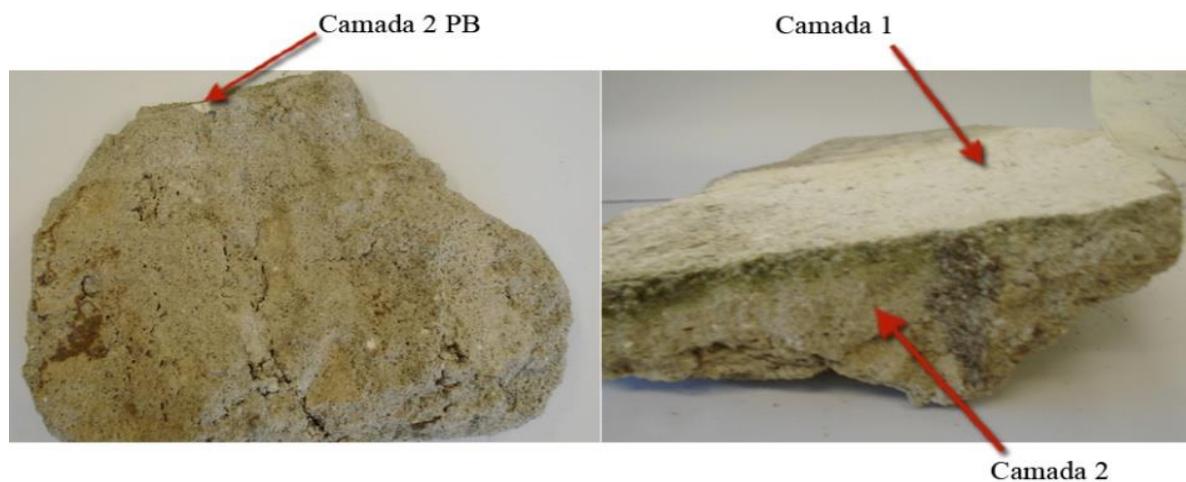


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	5,50	5,50
2,5 mm	5,25	10,75
1 mm	12,71	23,46
0,500 mm	19,89	43,35
0,250 mm	38,08	81,43
0,125 mm	13,83	95,26
0,063 mm	2,50	97,76
Base	2,24	100,00



Localização: São Roque do Faial, Longueira

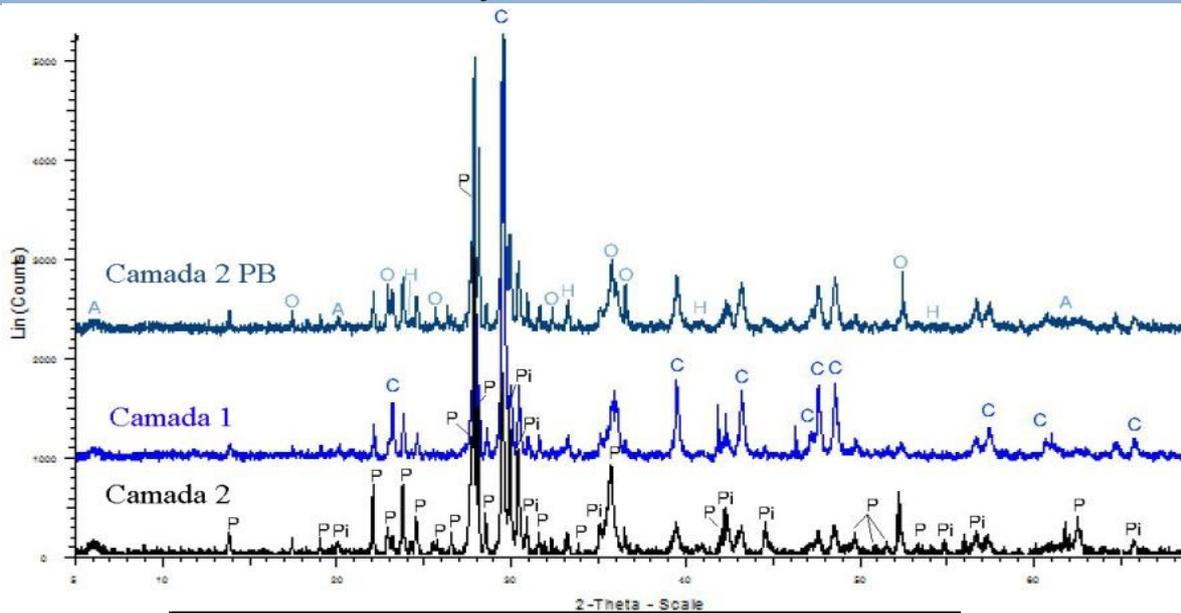
Amostra: F\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior

Observações: Constituída por duas camadas, em que a camada de acabamento (pintura) tem a tonalidade branca e contém vários nódulos brancos.

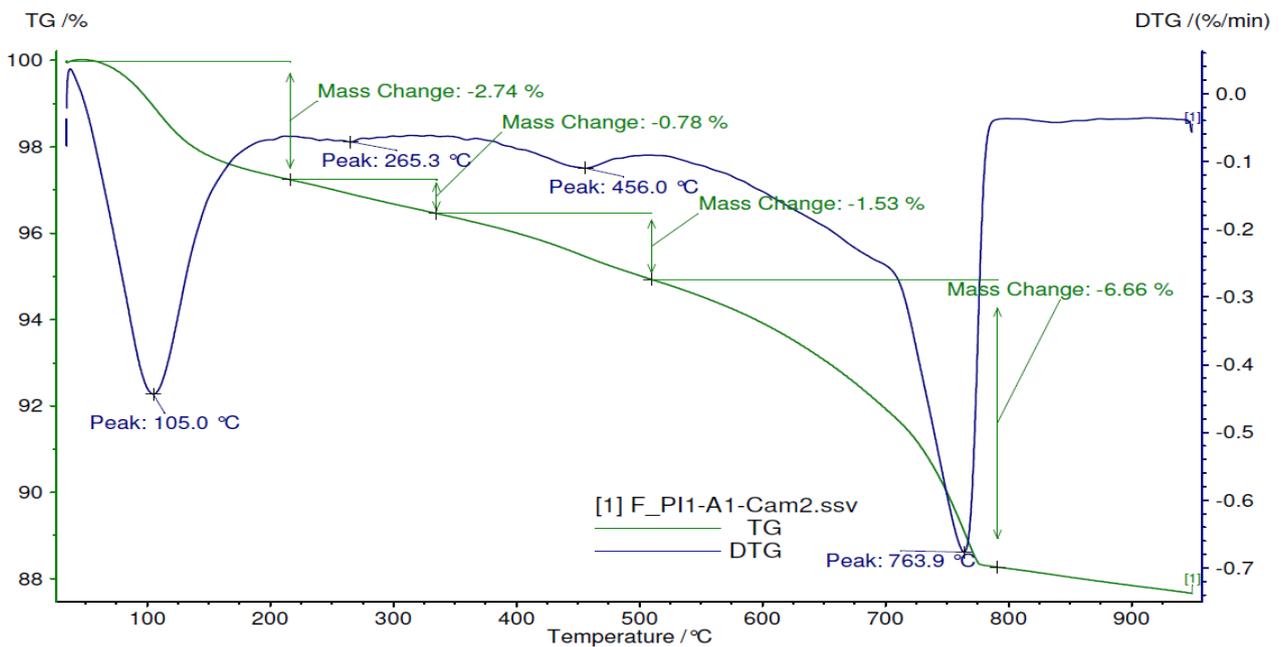
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2	Camada 2 PB
Calcite [C]	39%	13%	30%
Hematite [H]	3%	3%	2%
Olivinas [O]	6%	12%	10%
Piroxenas [Pi]	19%	29%	21%
Plagioclases [P]	33%	43%	37%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

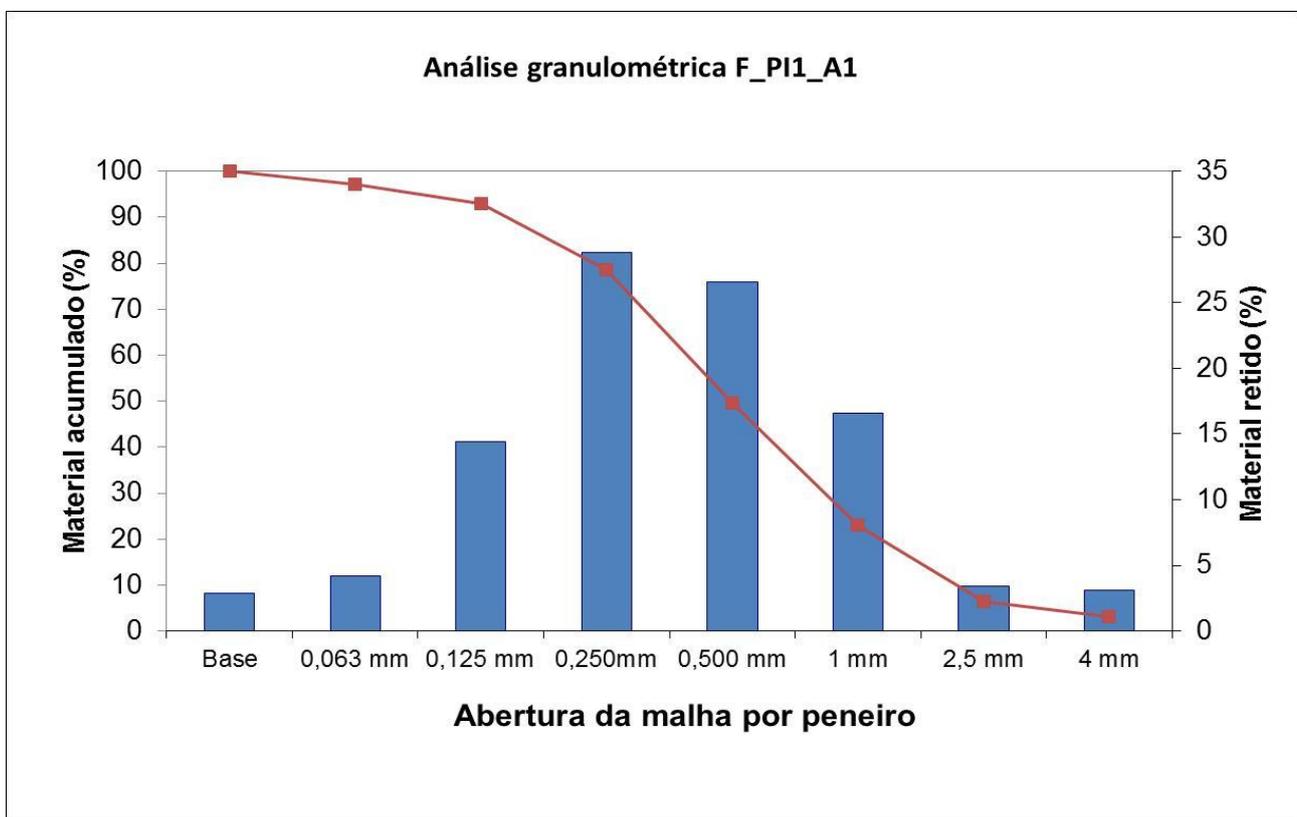
Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	2,7		0,8	1,5		6,7	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	15	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	72,4

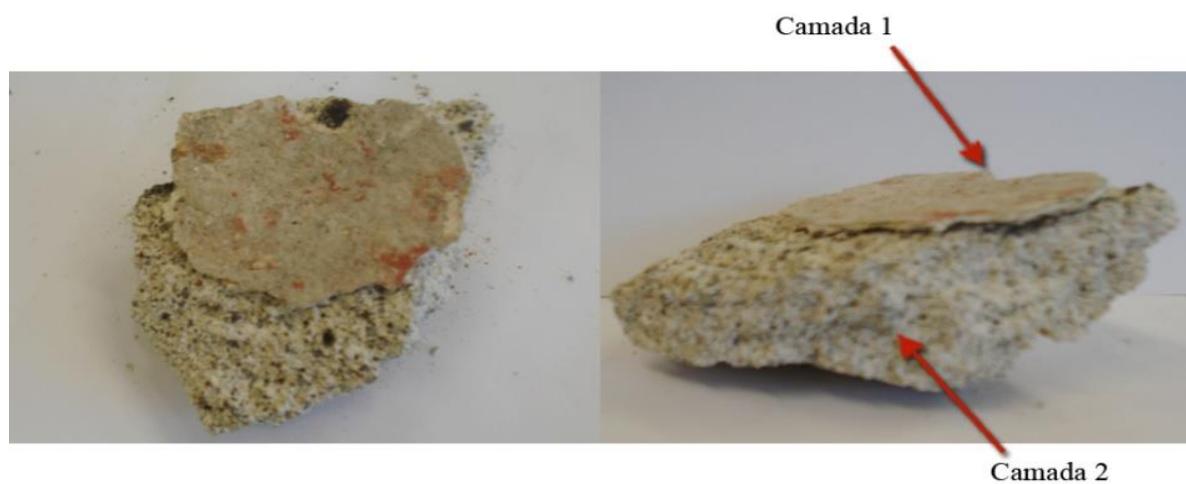


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	3,09	3,09
2,5 mm	3,41	6,50
1 mm	16,56	23,06
0,500 mm	26,61	49,67
0,250 mm	28,83	78,51
0,125 mm	14,39	92,90
0,063 mm	4,20	97,10
Base	2,90	100,00



Localização: Pico da Tanoeira, Santana

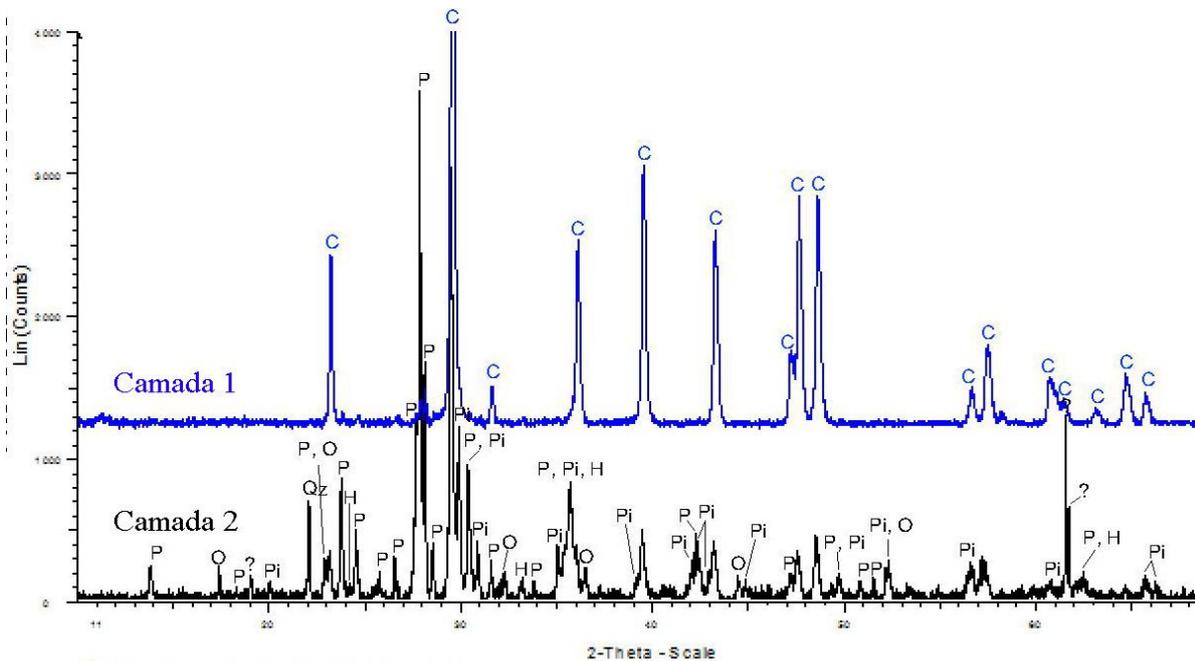
Amostra: S\_PE1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior

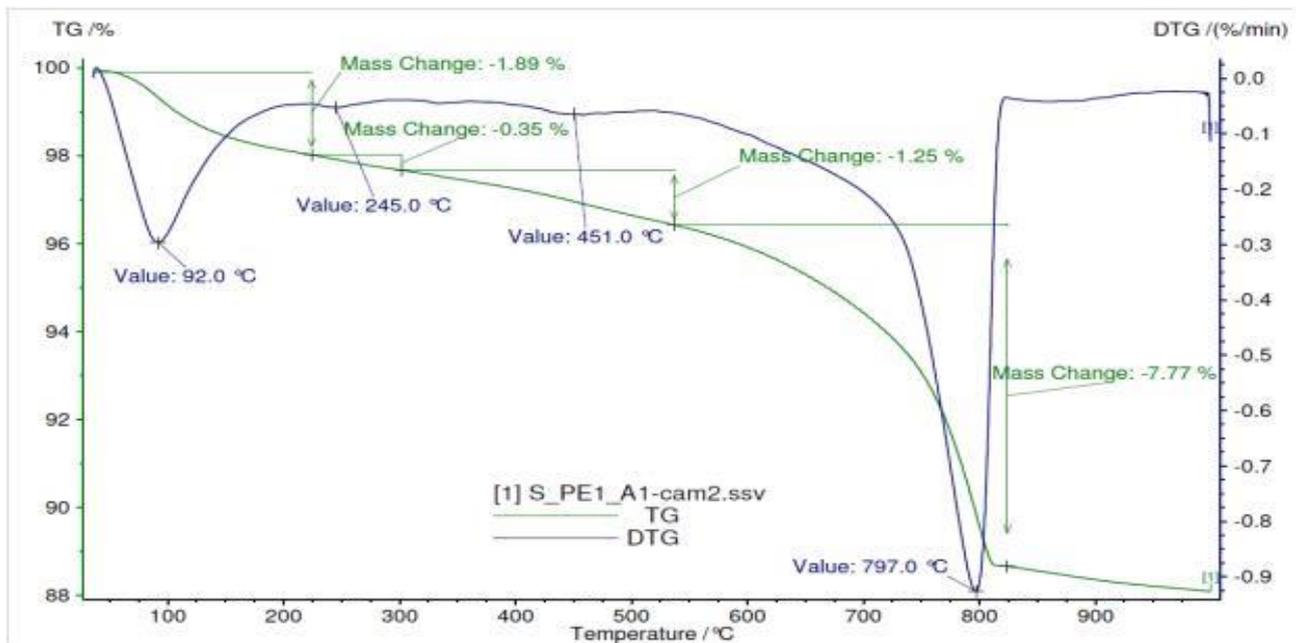
Observações: Constituída por duas camadas, sua camada de acabamento contém o tom cinzento/vermelho.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	89%	20%
Hematite [H]	0,7%	3%
Olivinas [O]	1%	9%
Piroxenas [Pi]	3%	25%
Plagioclases [P]	6%	44%
Quartzo [Qz]	0,02%	0,04%

Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



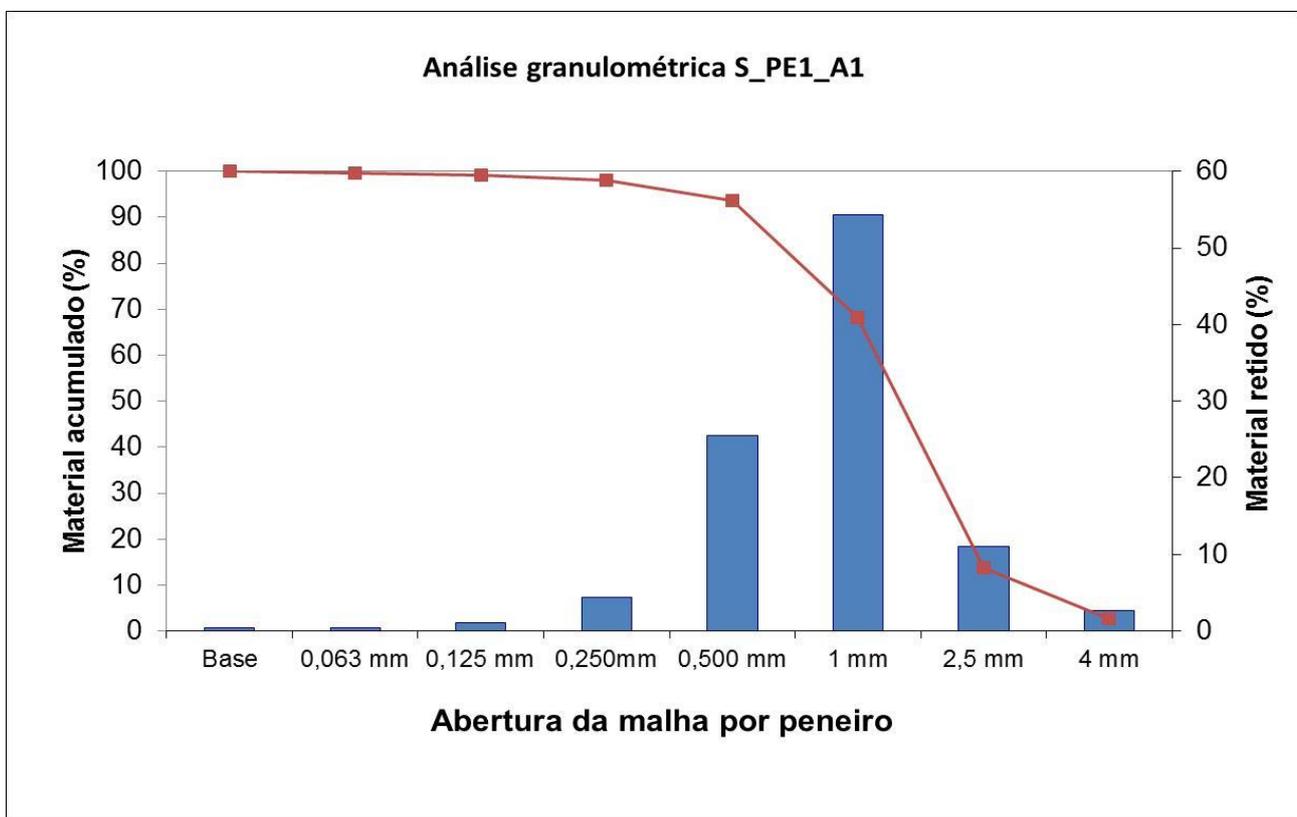
Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,9		0,4	1,3		7,8	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	18	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	70,8

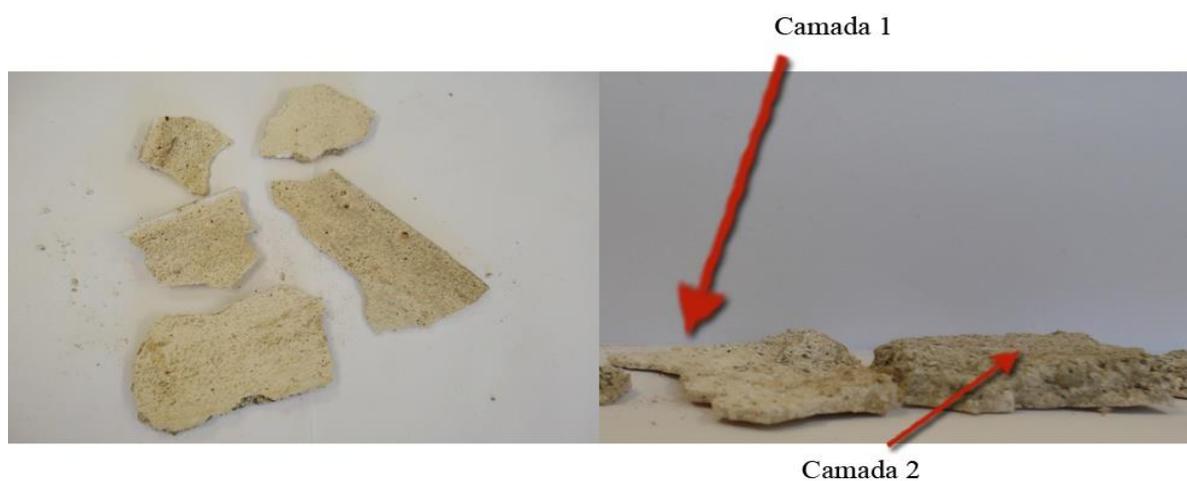


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	2,73	2,73
2,5 mm	11,05	13,78
1 mm	54,34	68,12
0,500 mm	25,51	93,63
0,250 mm	4,40	98,03
0,125 mm	1,11	99,14
0,063 mm	0,47	99,61
Base	0,39	100,00



Localização: Pico da Tanoeira, Santana

Amostra: S\_PII\_A1

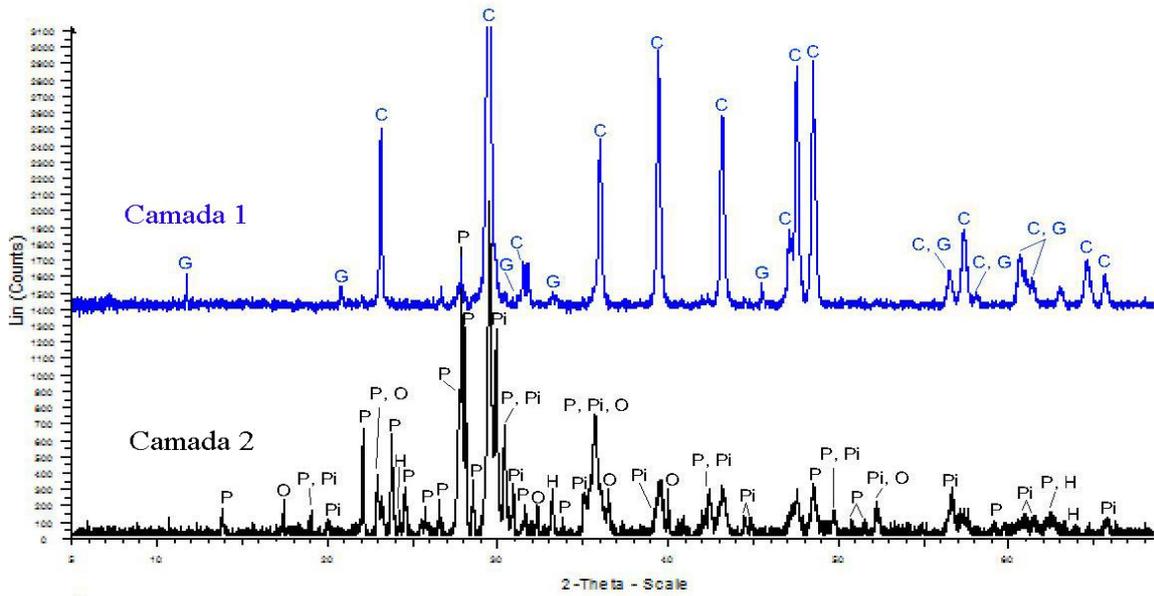


Identificação: Argamassa de revestimento interior

Observações: Constituída por duas camadas, em que a segunda camada apresenta duas tonalidades, uma mais clara e outra mais escura e a camada de acabamento (a primeira camada) é da cor rosa/branco.

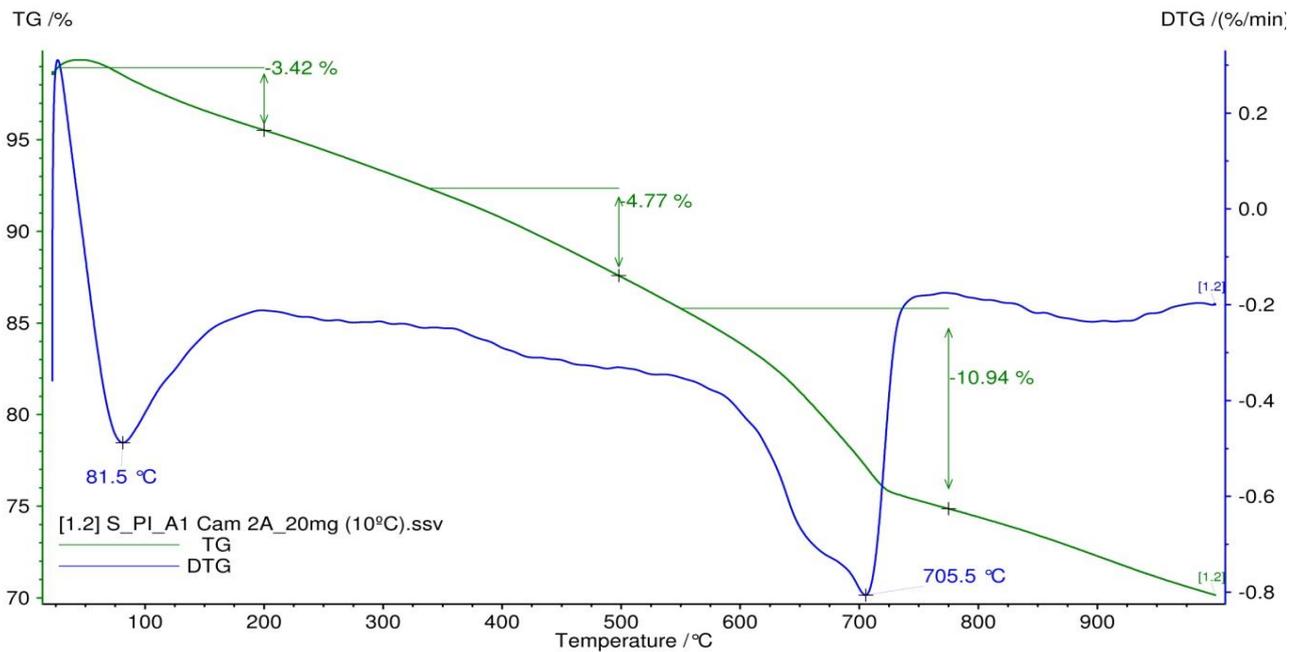
## Caracterização química e mineralógica:

### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	87%	26%
Gesso [G]	1%	0,9%
Hematite [H]	1%	3%
Olivinas [O]	0,04%	2%
Piroxenas [Pi]	4%	26%
Plagioclases [P]	5%	41%

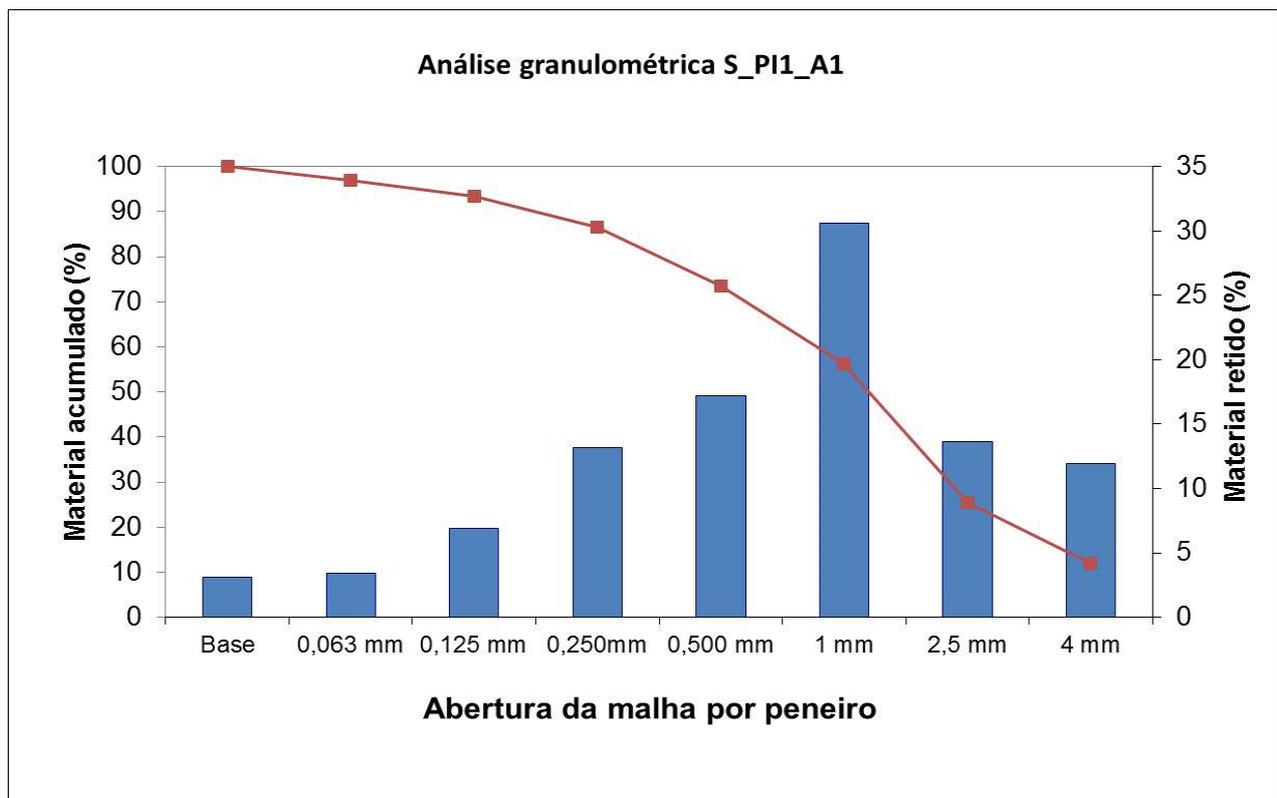
### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)		3,4			4,8	10,9	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	25	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	43,1

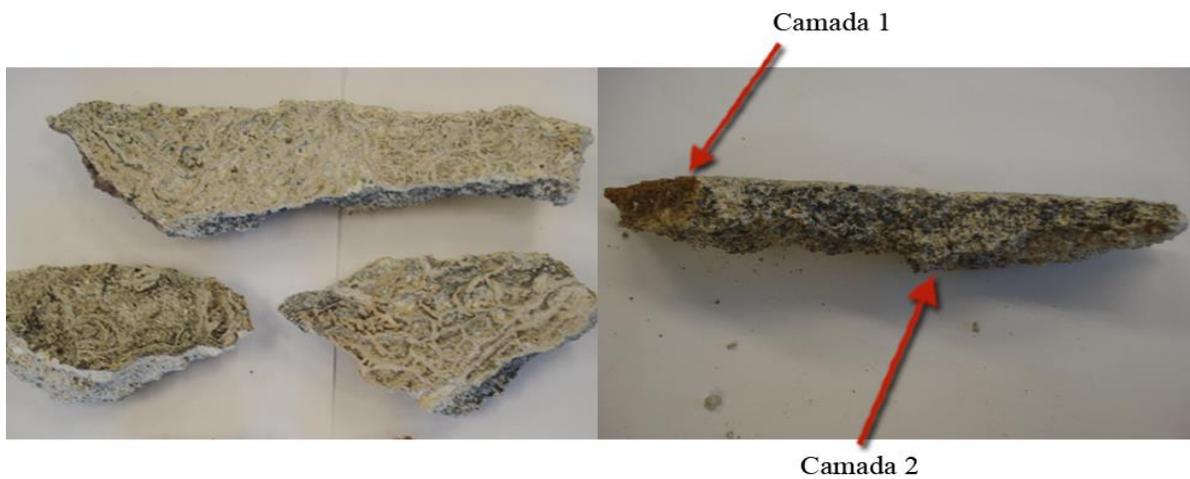


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	11,90	11,90
2,5 mm	13,66	25,56
1 mm	30,61	56,17
0,500 mm	17,22	73,39
0,250 mm	13,17	86,56
0,125 mm	6,90	93,46
0,063 mm	3,43	96,89
Base	3,11	100,00



Localização: Praia do Calhau, São Jorge

Amostra: SJ\_PE1\_A1

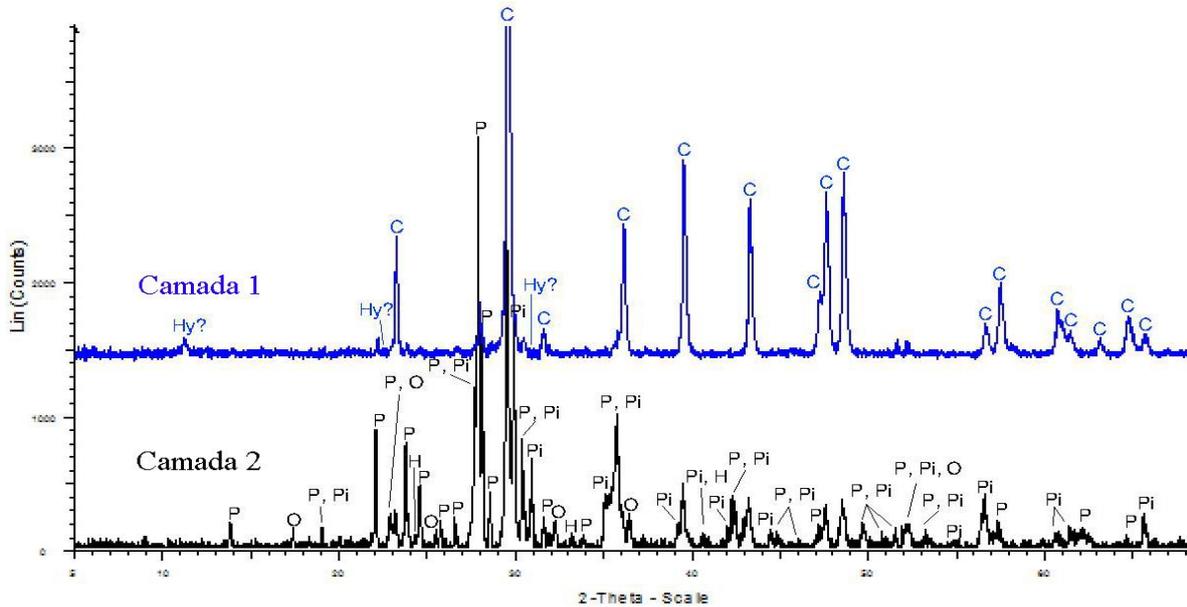


Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

Observações: Constituída por duas camadas, em que a primeira camada, a camada de acabamento é da cor preta com uma superfície irregular branca.

Caracterização química e mineralógica:

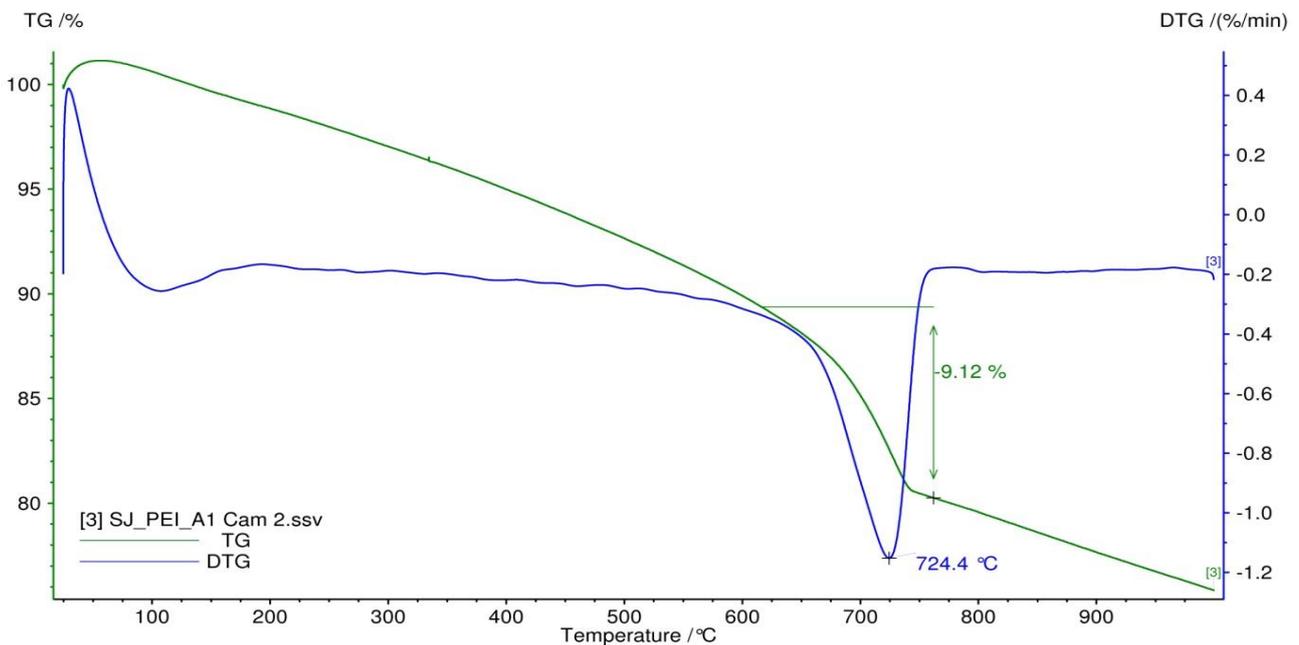
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	84%	20%
Hematite [H]	0,6%	2%
Olivinas [O]	0,2%	1%
Piroxenas [Pi]	5%	31%
Plagioclases [P]	10%	46%

Nota: Não foi possível quantificar a hydrocalomite (Hy), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

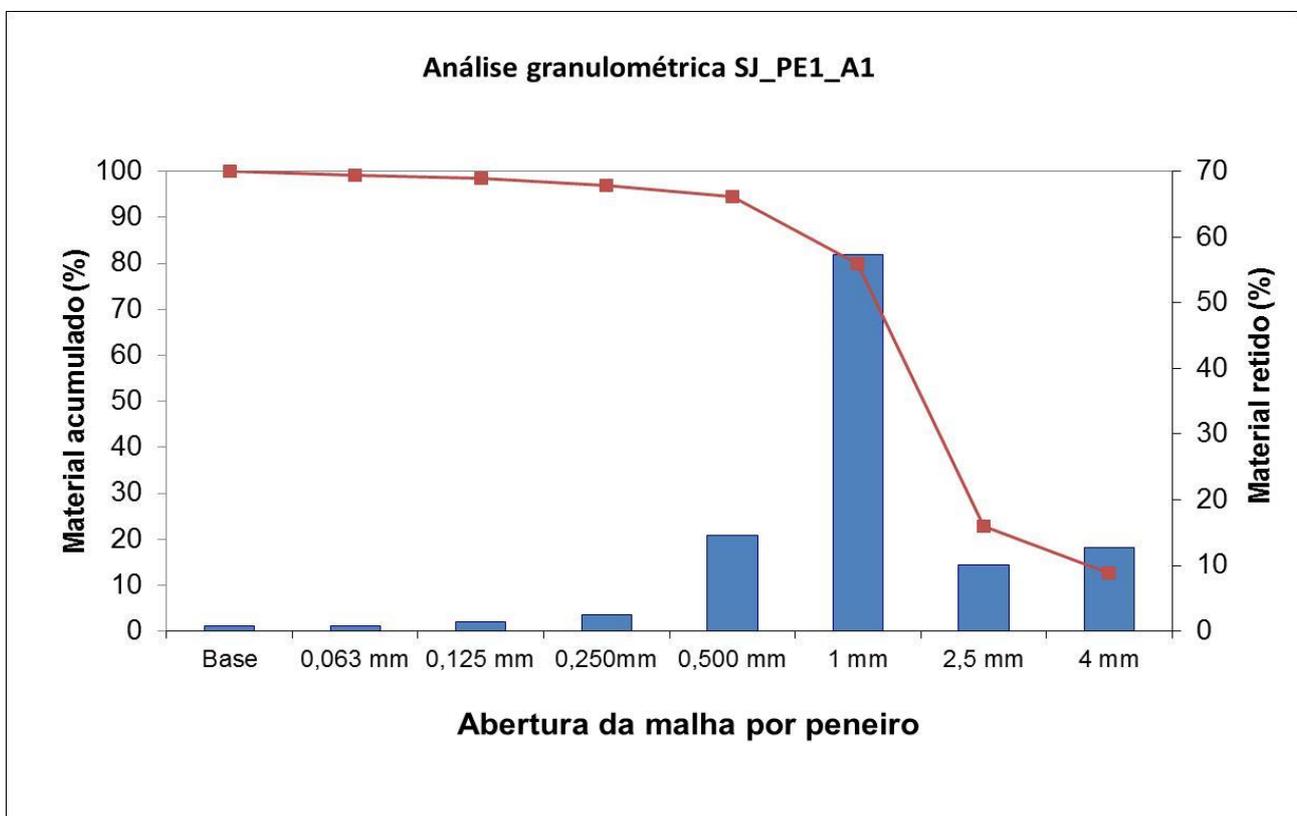
Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)						9,1	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	21	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	63,8

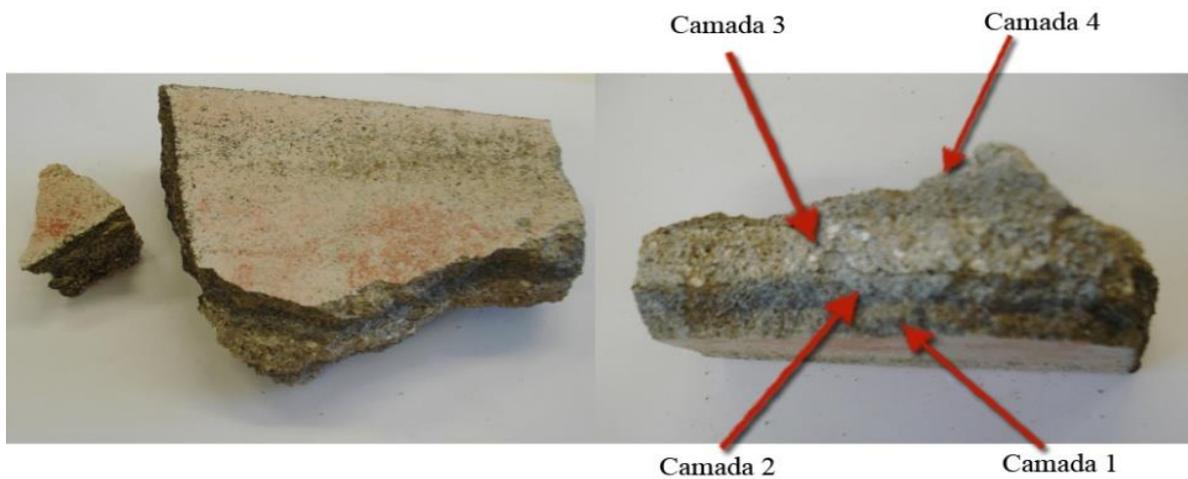


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	12,67	12,67
2,5 mm	10,04	22,71
1 mm	57,30	80,01
0,500 mm	14,57	94,58
0,250 mm	2,48	97,06
0,125 mm	1,37	98,43
0,063 mm	0,80	99,23
Base	0,77	100,00



Localização: Praia do Calhau, São Jorge

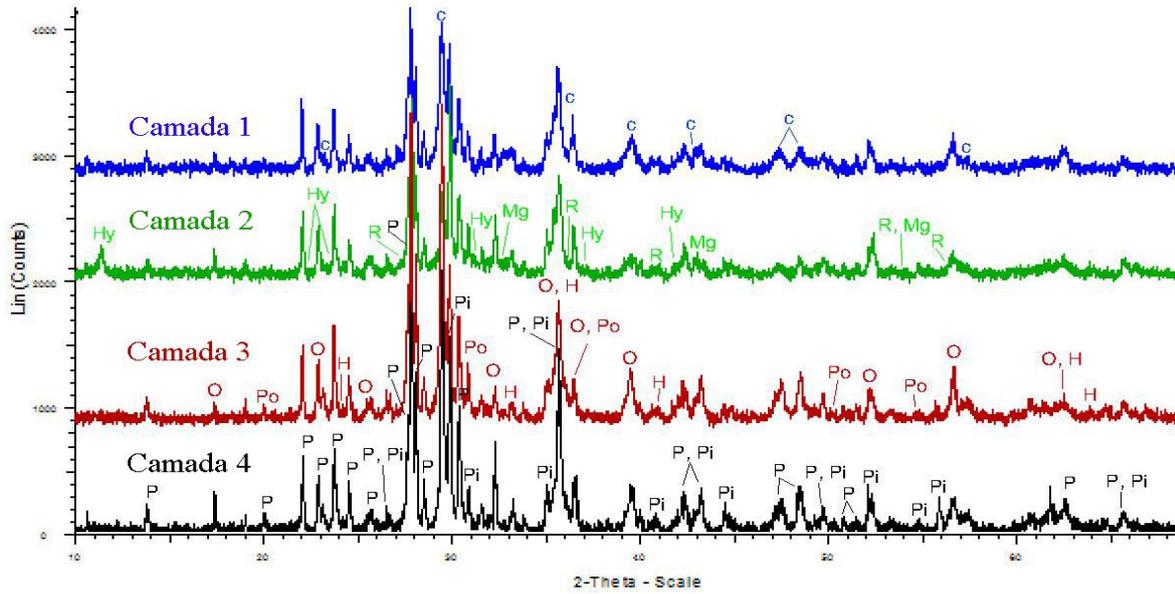
Amostra: SJ\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior

Observações: Apresenta a cor branca/rosa e é constituída por quatro camadas.

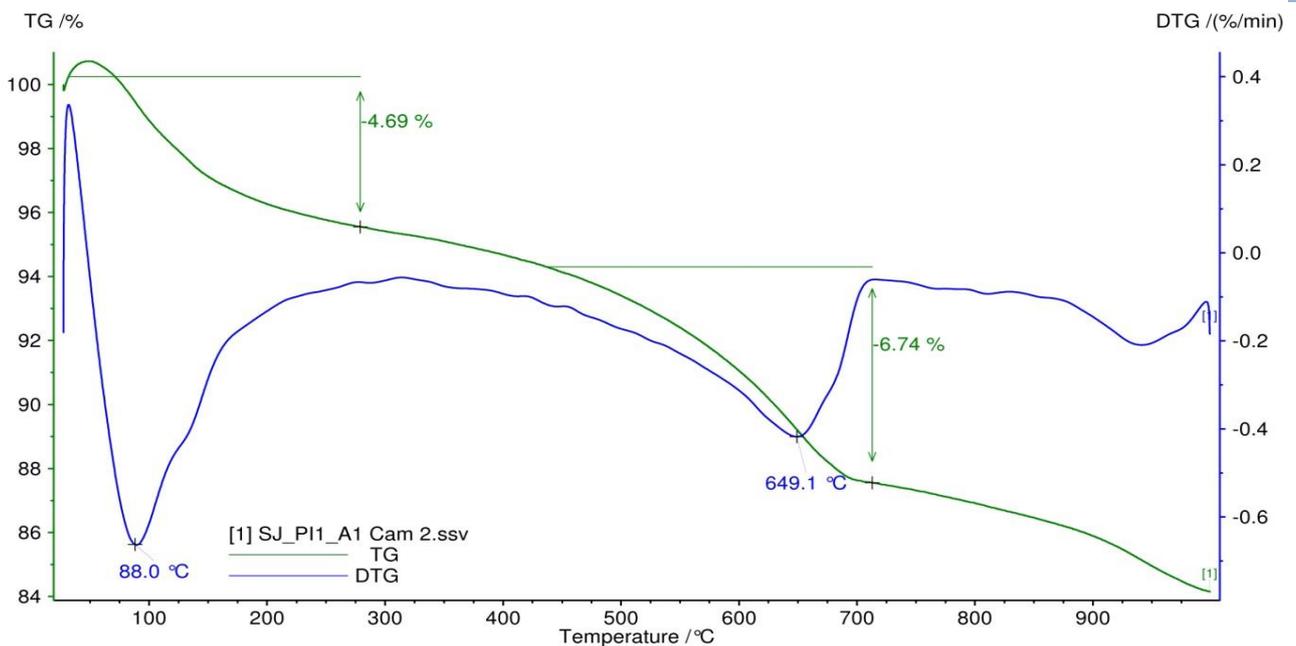
Difração de raio - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2	Camada 3	Camada 4
Calcite [C]	20%	9%	23%	18%
Gesso [G]	---	2%	0,2%	0,9%
Hematite [H]	4%	4%	3%	3%
Magnesite [Mg]	5%	5%	2%	2%
Olivinas [O]	1%	3%	2%	3%
Piroxenas [Pi]	30%	36%	29%	30%
Plagioclases [P]	38%	40%	40%	42%
Portlandite [Po]	0,04%	---	0,03%	---
Rutile [R]	1%	2%	0,8%	0,7%

Nota: Não foi possível quantificar a hydrocalomite (Hy), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)

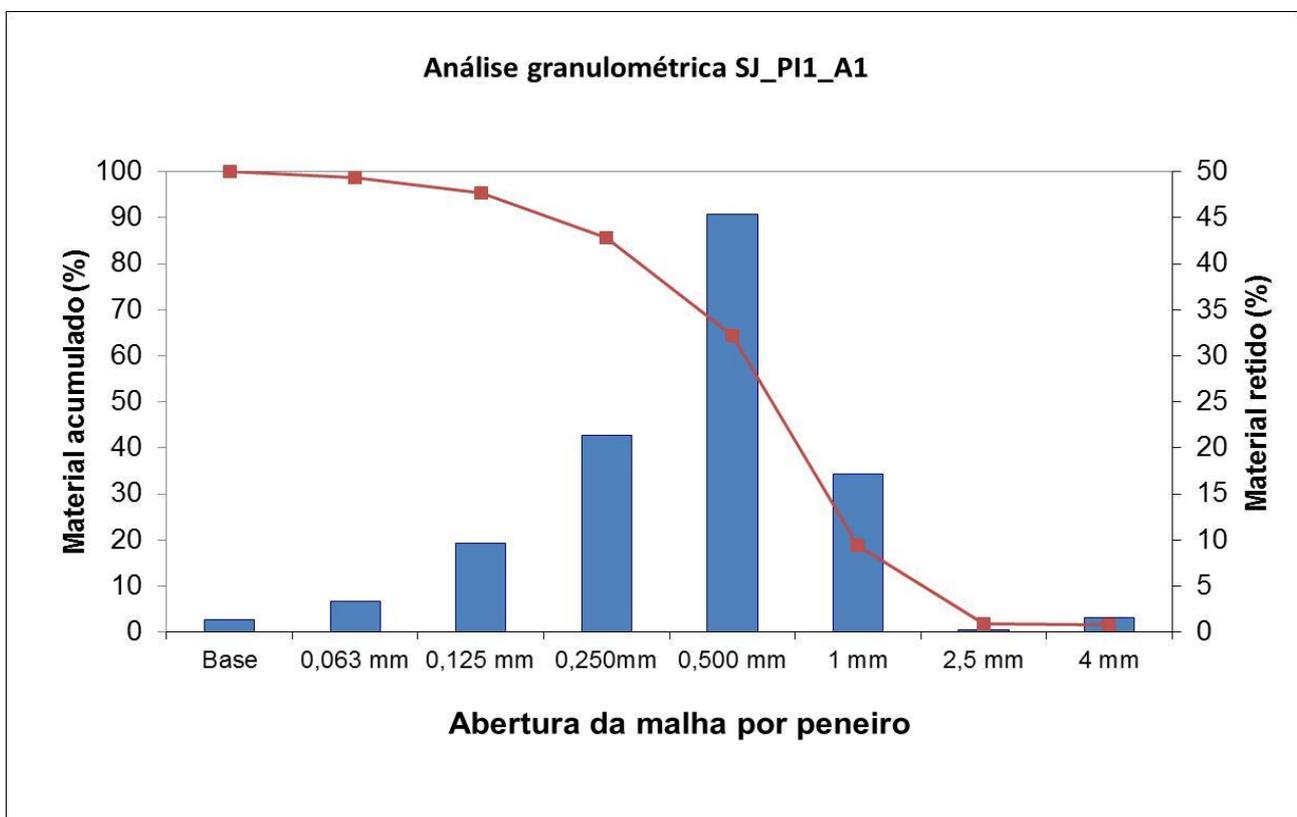


Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)			4,7			6,7	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	15	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	50,7



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	1,53	1,53
2,5 mm	0,25	1,79
1 mm	17,13	18,92
0,500 mm	45,41	64,33
0,250 mm	21,36	85,69
0,125 mm	9,68	95,36
0,063 mm	3,29	98,65
Base	1,35	100,00



Localização: Praia do Calhau, São Jorge

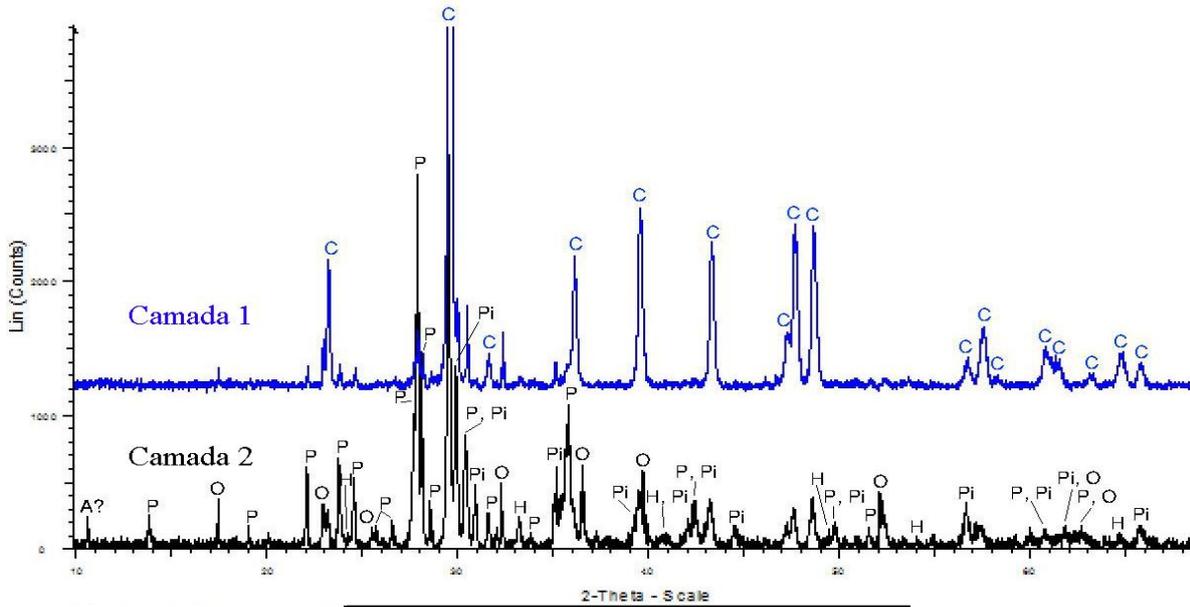
Amostra: SJ\_PI1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) é da cor preta.

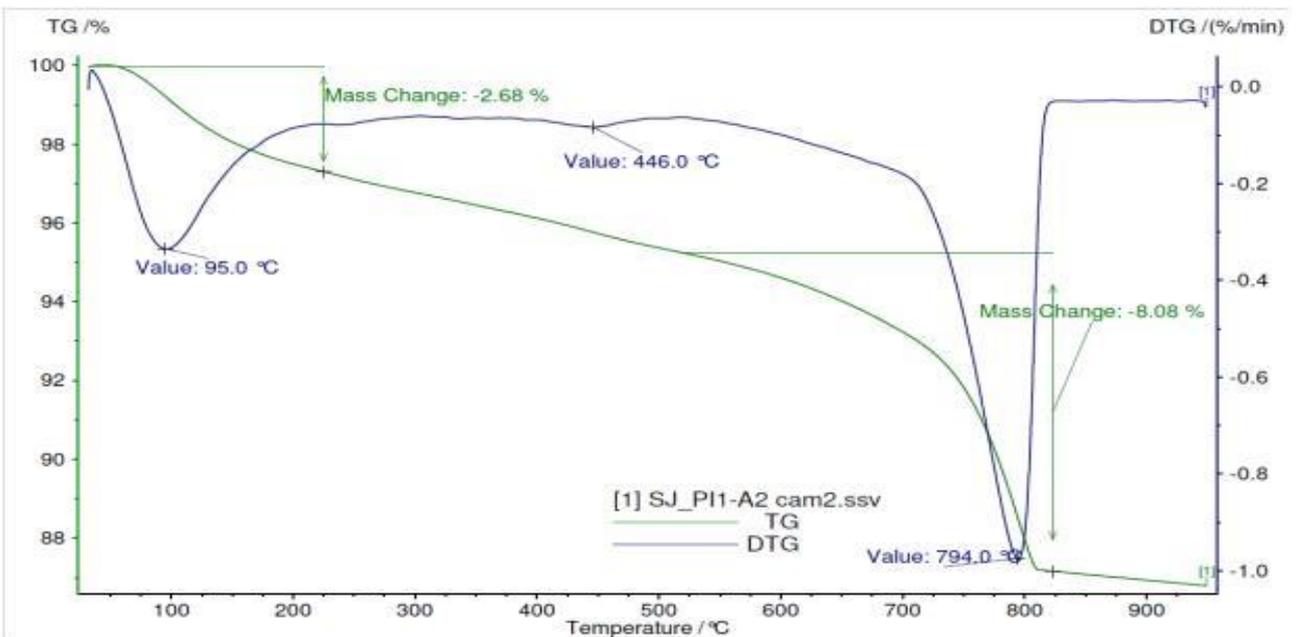
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	80%	20%
Hematite [H]	1%	3%
Olivinas [O]	0,7%	3%
Piroxenas [Pi]	6%	30%
Plagioclases [P]	12%	44%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

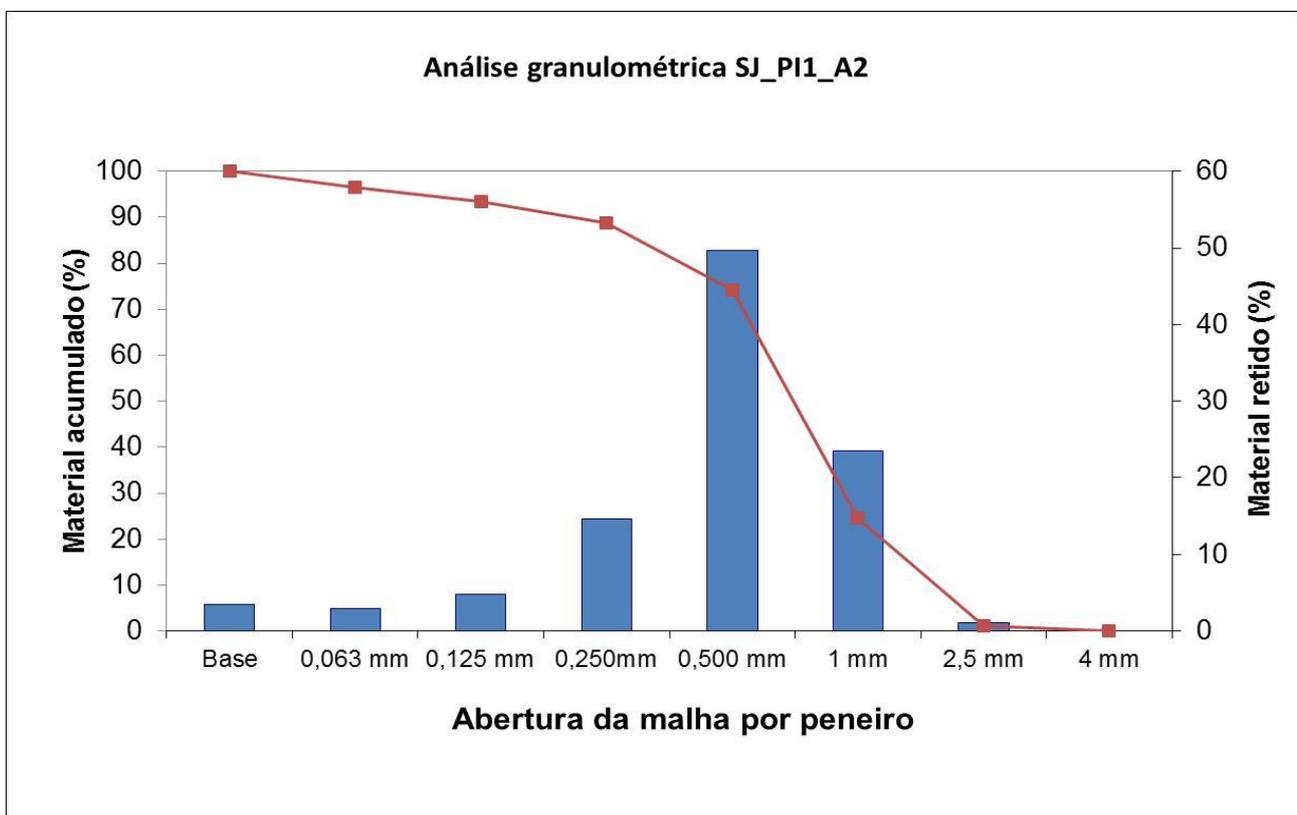
Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	2,7					8,1	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	18	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	53,4

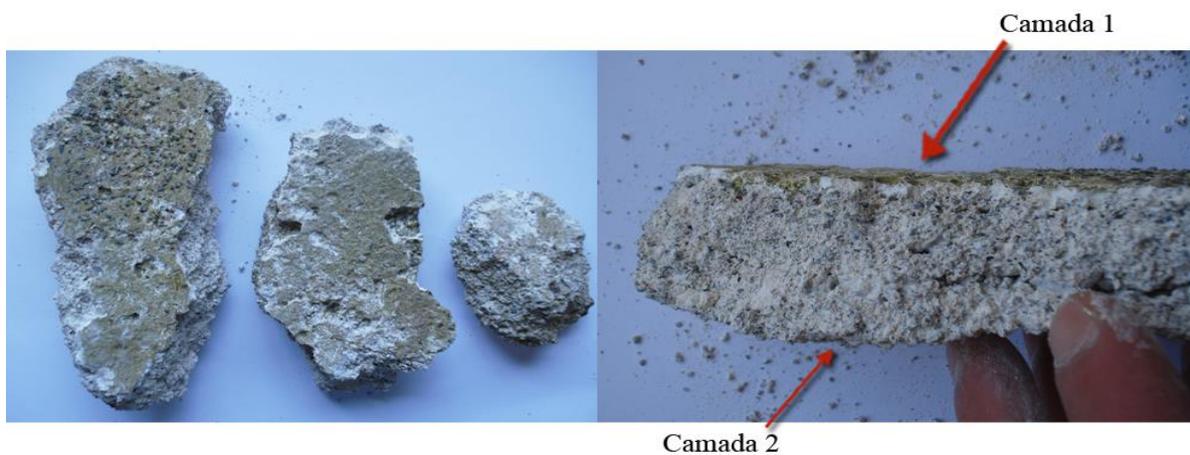


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,00	0,00
2,5 mm	1,03	1,03
1 mm	23,50	24,53
0,500 mm	49,65	74,18
0,250 mm	14,56	88,74
0,125 mm	4,73	93,47
0,063 mm	3,00	96,47
Base	3,53	100,00



Localização: Sítio da Silveira, Boaventura.

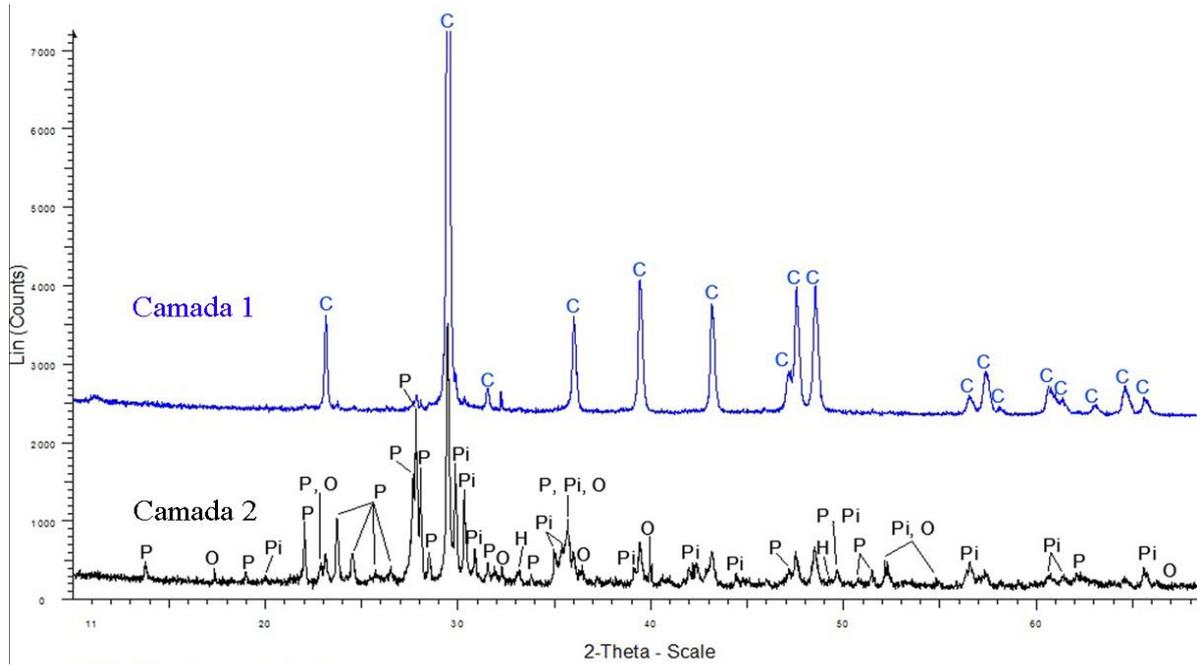
Amostra: B\_PE1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

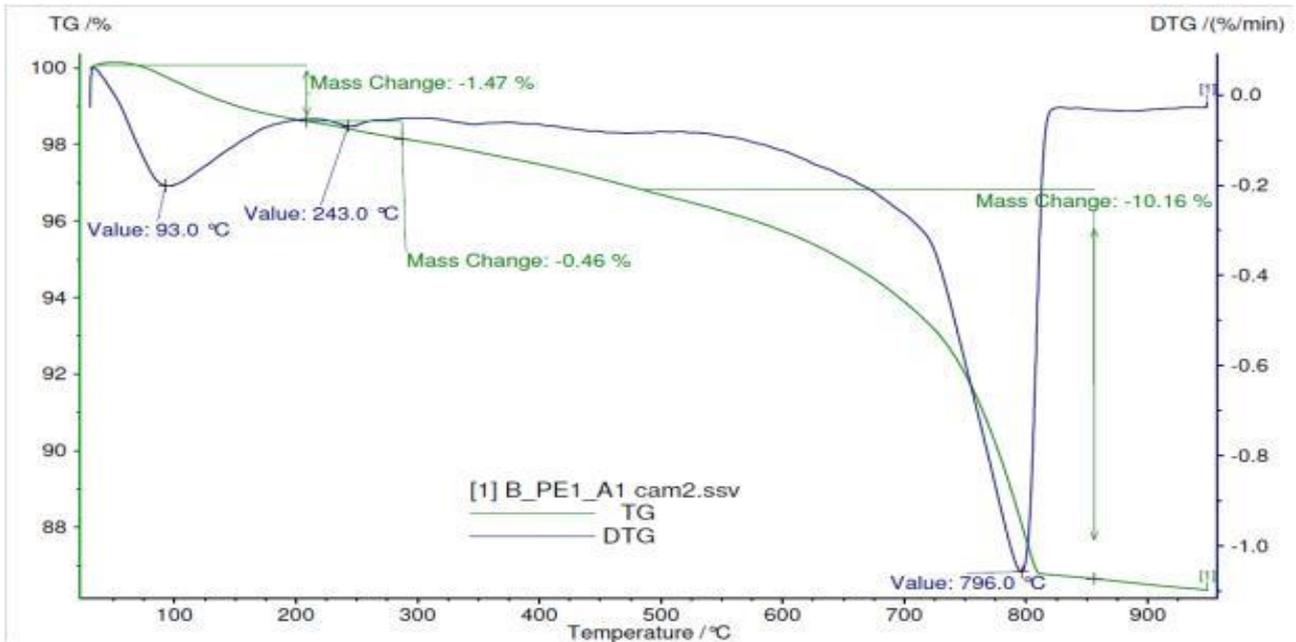
Observações: Constaída por duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor esverdeada e a sua superfície é irregular.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	93%	22%
Hematite [H]	0,2%	2%
Olivinas [O]	1%	8%
Piroxenas [Pi]	1%	25%
Plagioclases [P]	5%	43%

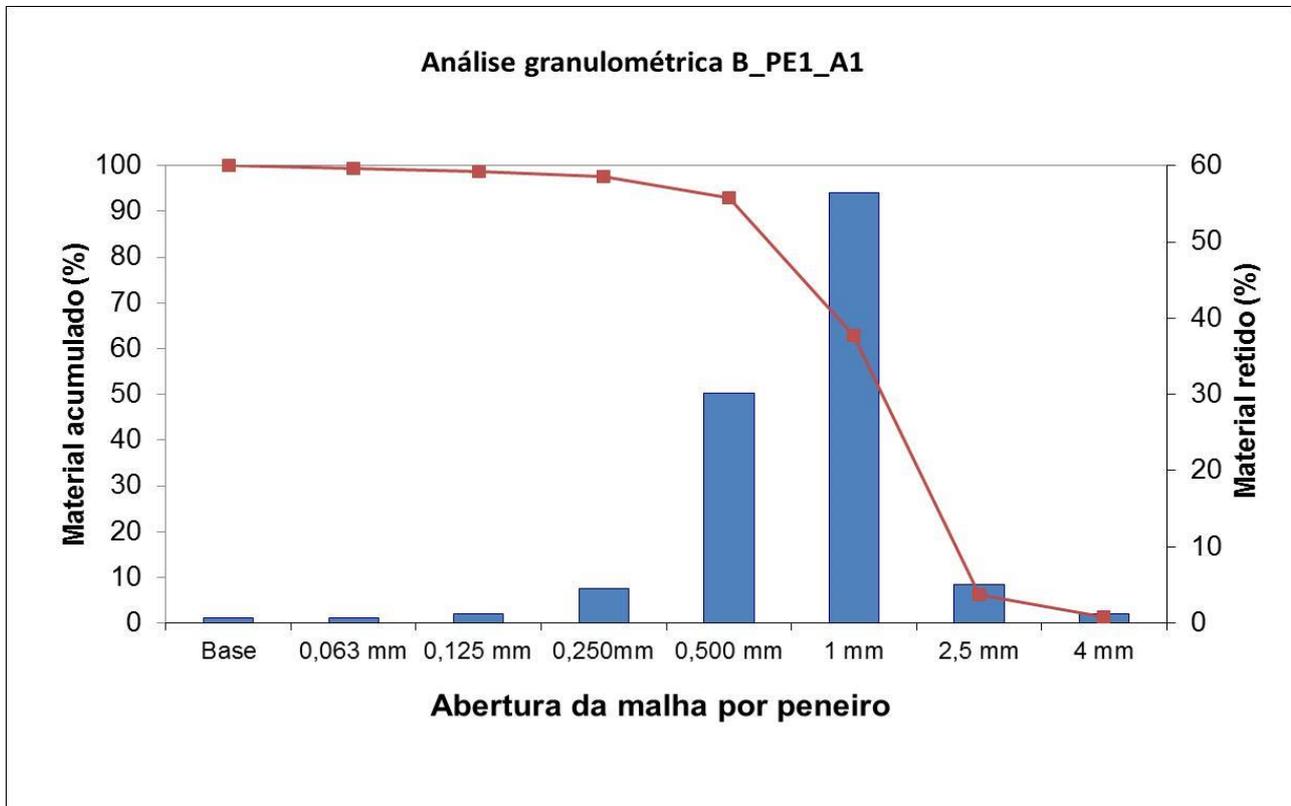
Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,5		0,5			10,2	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	23	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	66,1



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	1,26	1,26
2,5 mm	5,07	6,33
1 mm	56,48	62,81
0,500 mm	30,22	93,03
0,250 mm	4,50	97,53
0,125 mm	1,18	98,71
0,063 mm	0,66	99,37
Base	0,63	100,00



Localização: Sítio da Silveira, Boaventura.

Amostra: B\_PI1\_A1

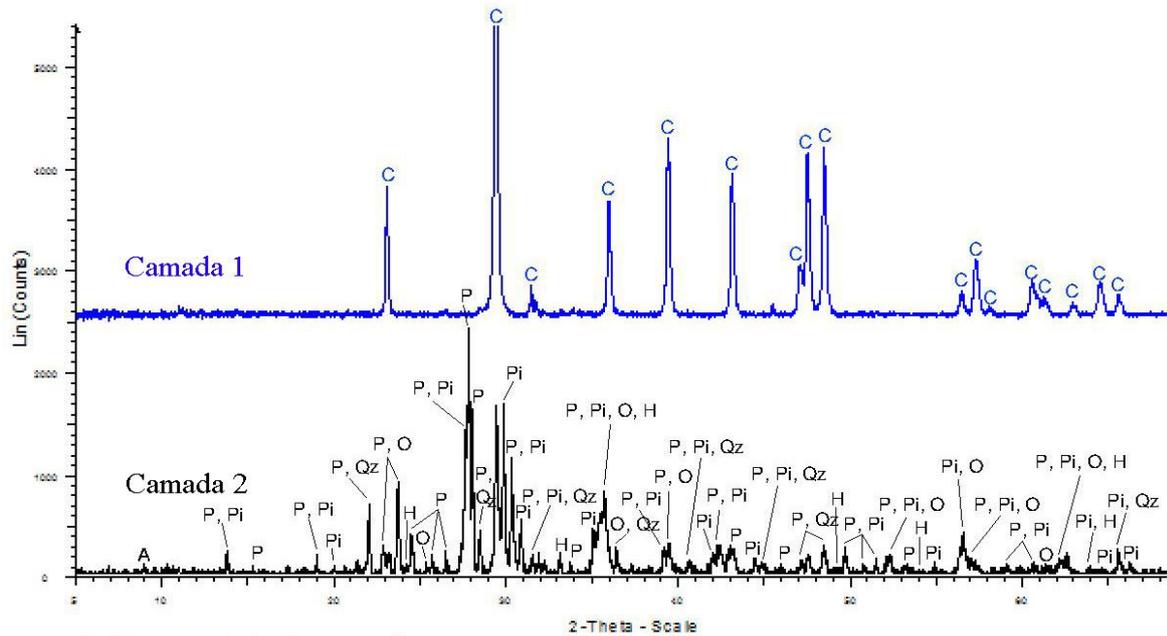


Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constaída por duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor branca/rosa.

## Caracterização química e mineralógica:

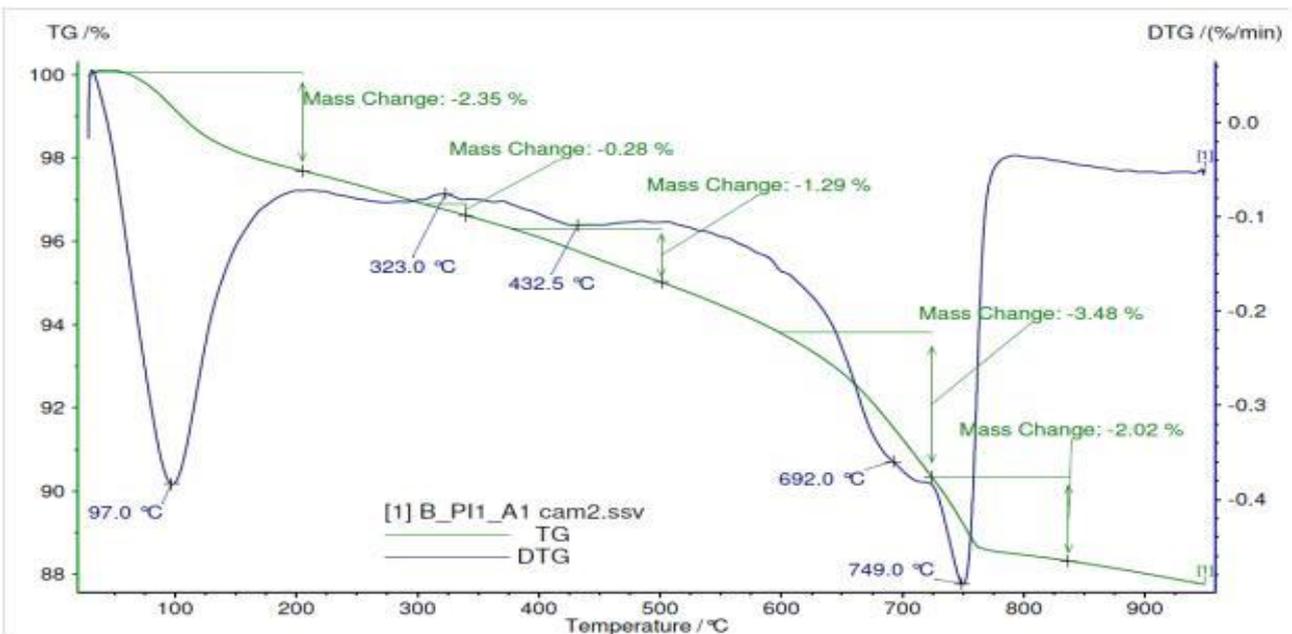
### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	95%	13%
Hematite [H]	0,4%	2%
Olivinas [O]	1%	8%
Piroxenas [Pi]	2%	31%
Plagioclases [P]	0,5%	46%
Quartzo [Qz]	---	0,8%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

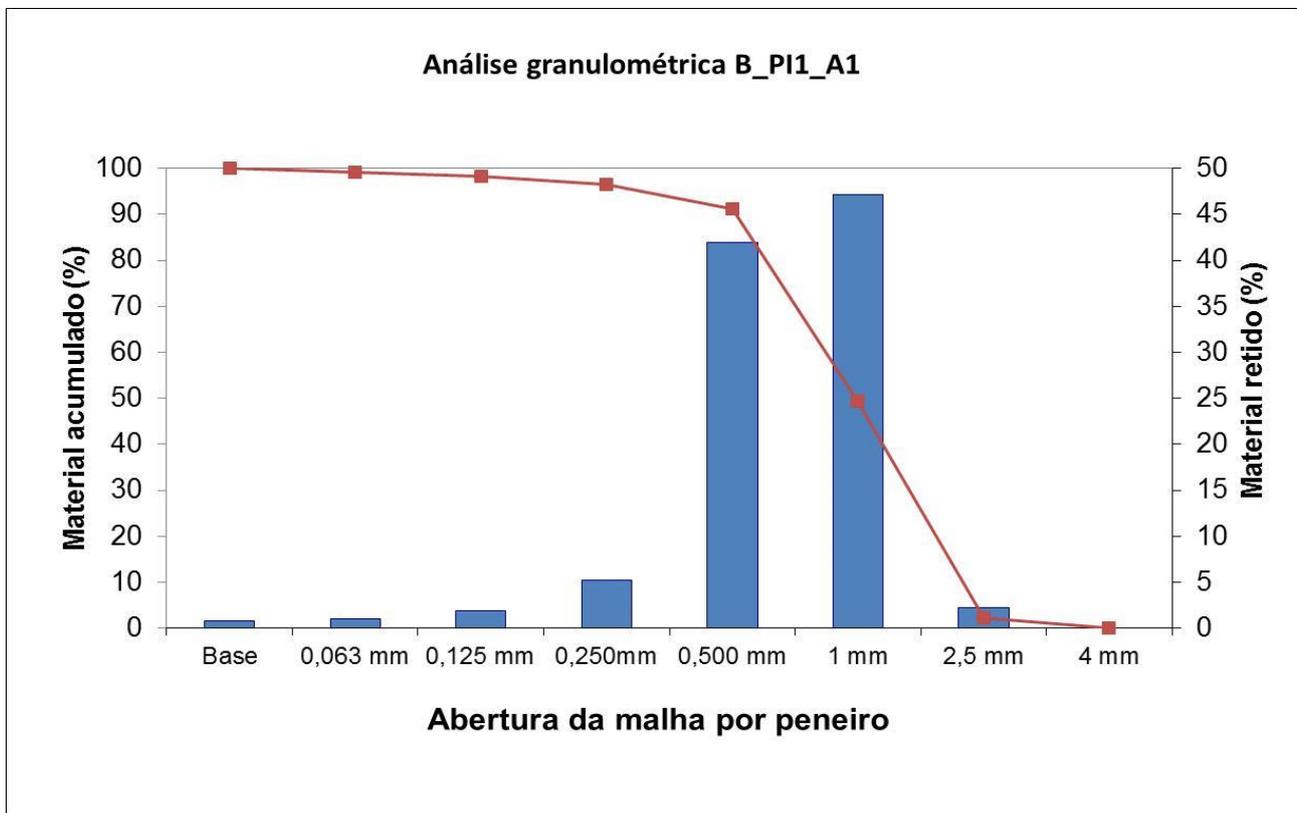
### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	2,4		0,3	1,3	3,5	6,5	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	15	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	51,8

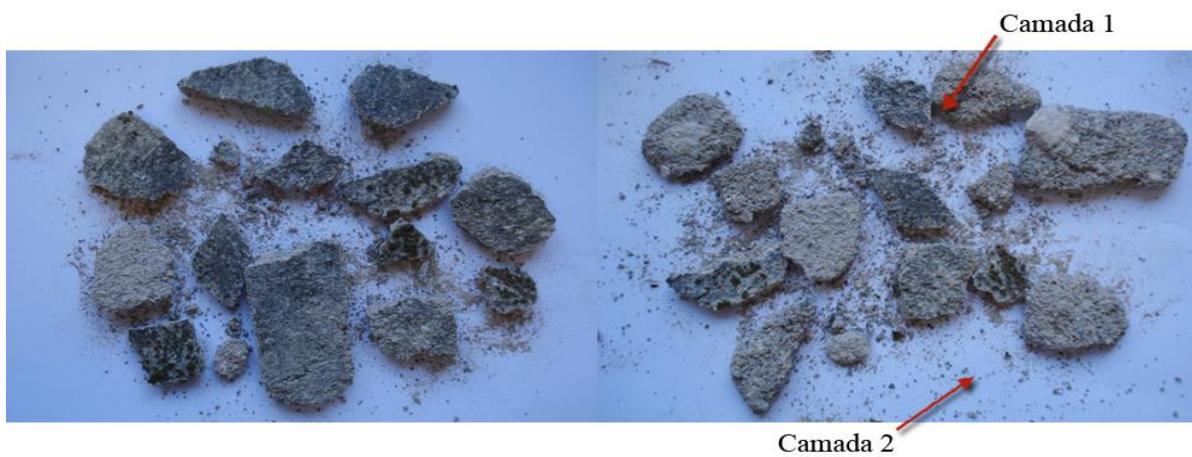


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,00	0,00
2,5 mm	2,18	2,18
1 mm	47,14	49,32
0,500 mm	41,91	91,23
0,250 mm	5,18	96,41
0,125 mm	1,89	98,30
0,063 mm	0,96	99,26
Base	0,74	100,00



Localização: Sítio da Silveira, Boaventura.

Amostra: B\_PI2\_A1

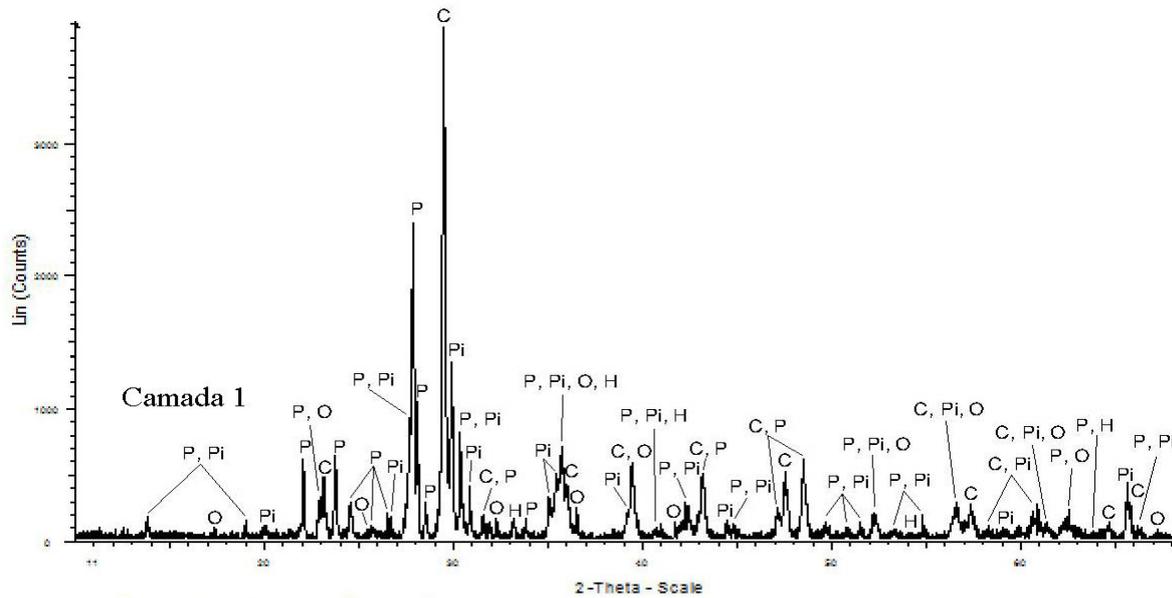


Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constaída por uma única camada de tom cinzento escuro.

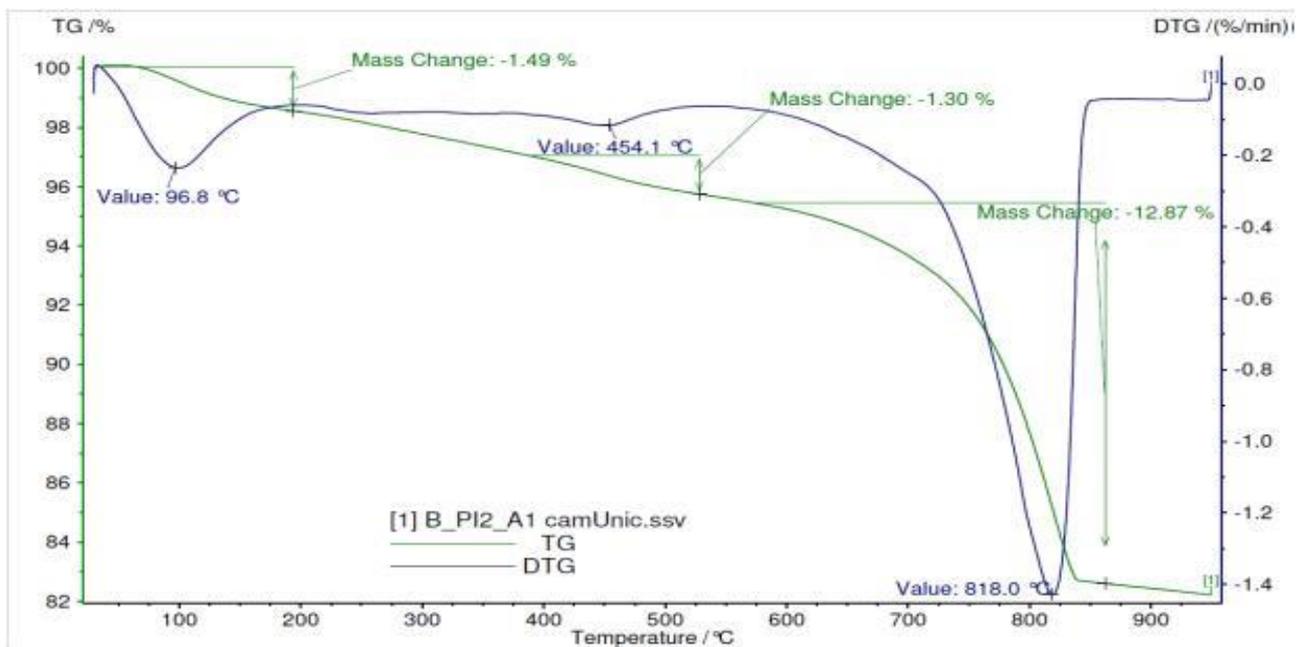
## Caracterização química e mineralógica:

### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1
Calcite [C]	29%
Hematite [H]	2%
Olivinas [O]	9%
Piroxenas [Pi]	26%
Plagioclases [P]	34%

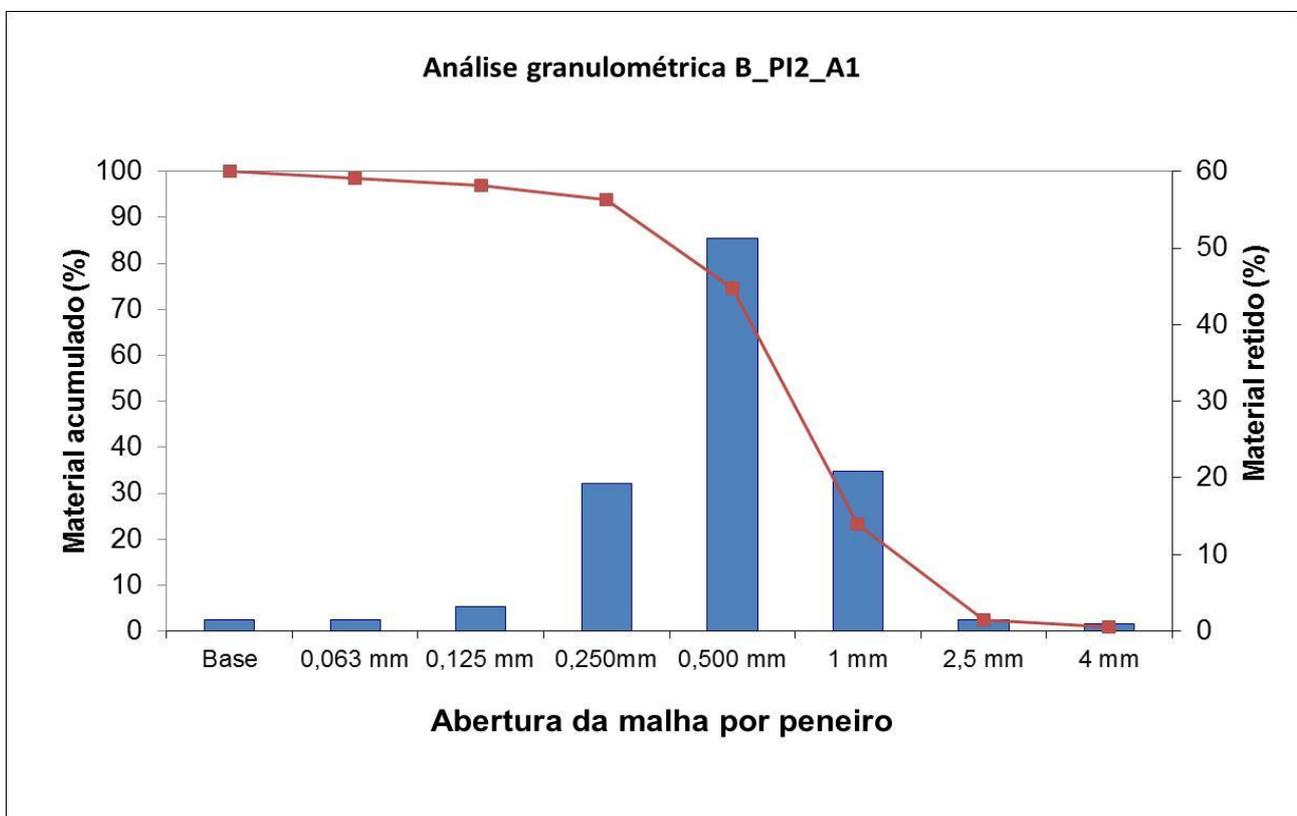
### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,5			1,3		12,9	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	29	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	59,8

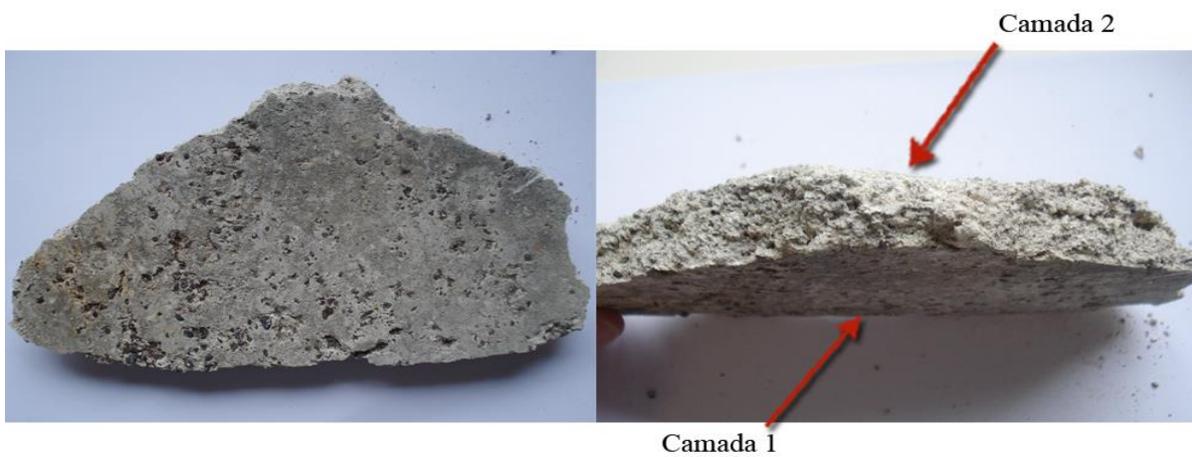


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,99	0,99
2,5 mm	1,48	2,47
1 mm	20,84	23,31
0,500 mm	51,34	74,65
0,250 mm	19,22	93,87
0,125 mm	3,17	97,04
0,063 mm	1,48	98,52
Base	1,48	100,00



Localização: Sítio do Pico, Ponta Delgada.

Amostra: PD\_PE1\_A1

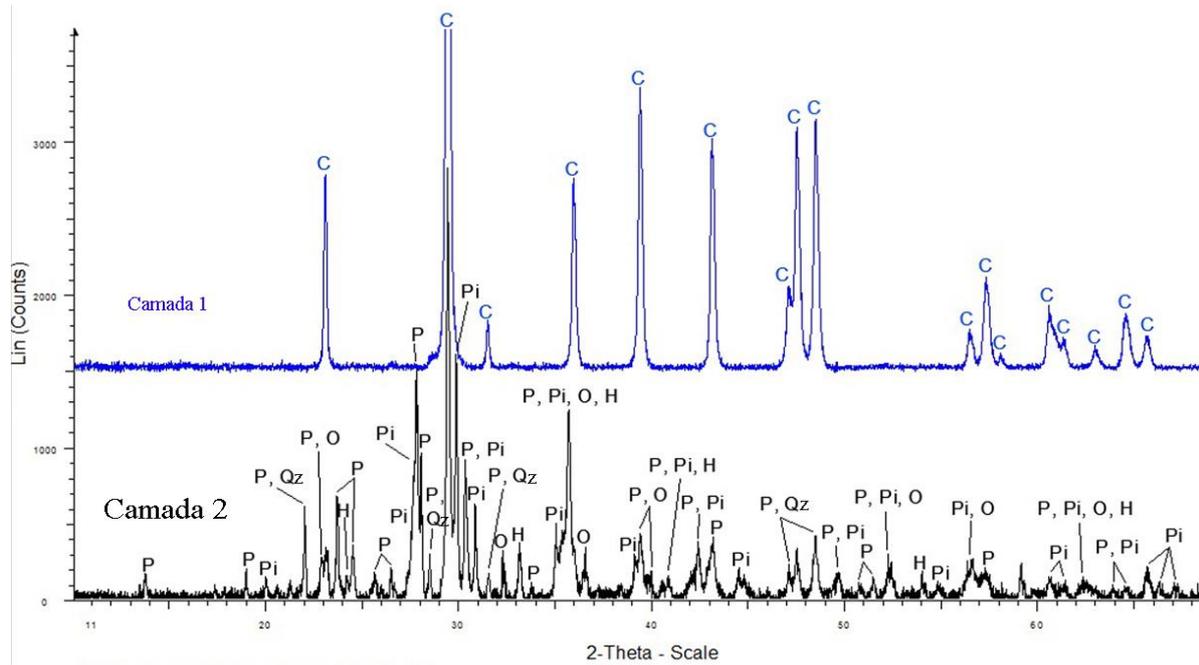


Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento é do tom cinzento.

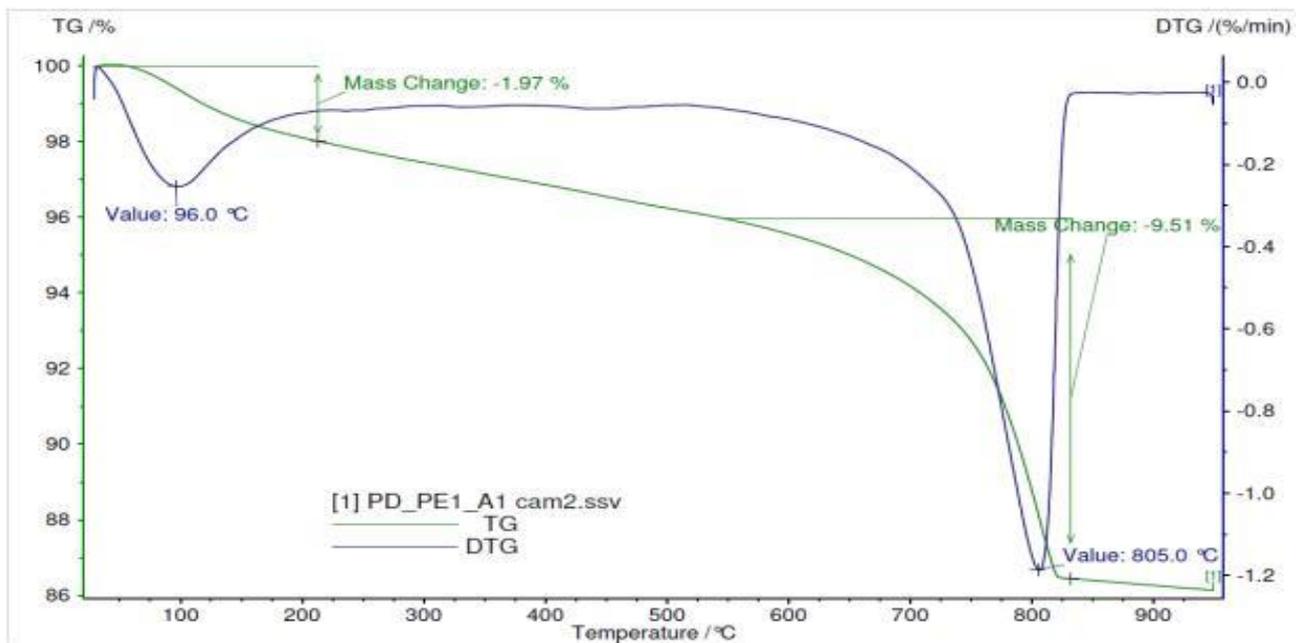
## Caracterização química e mineralógica:

### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	99%	20%
Hematite [H]	0,3%	3%
Olivinas [O]	0,5%	12%
Piroxenas [Pi]	0,6%	32%
Plagioclases [P]	0,01%	33%
Quartzo [Qz]	---	0,4%

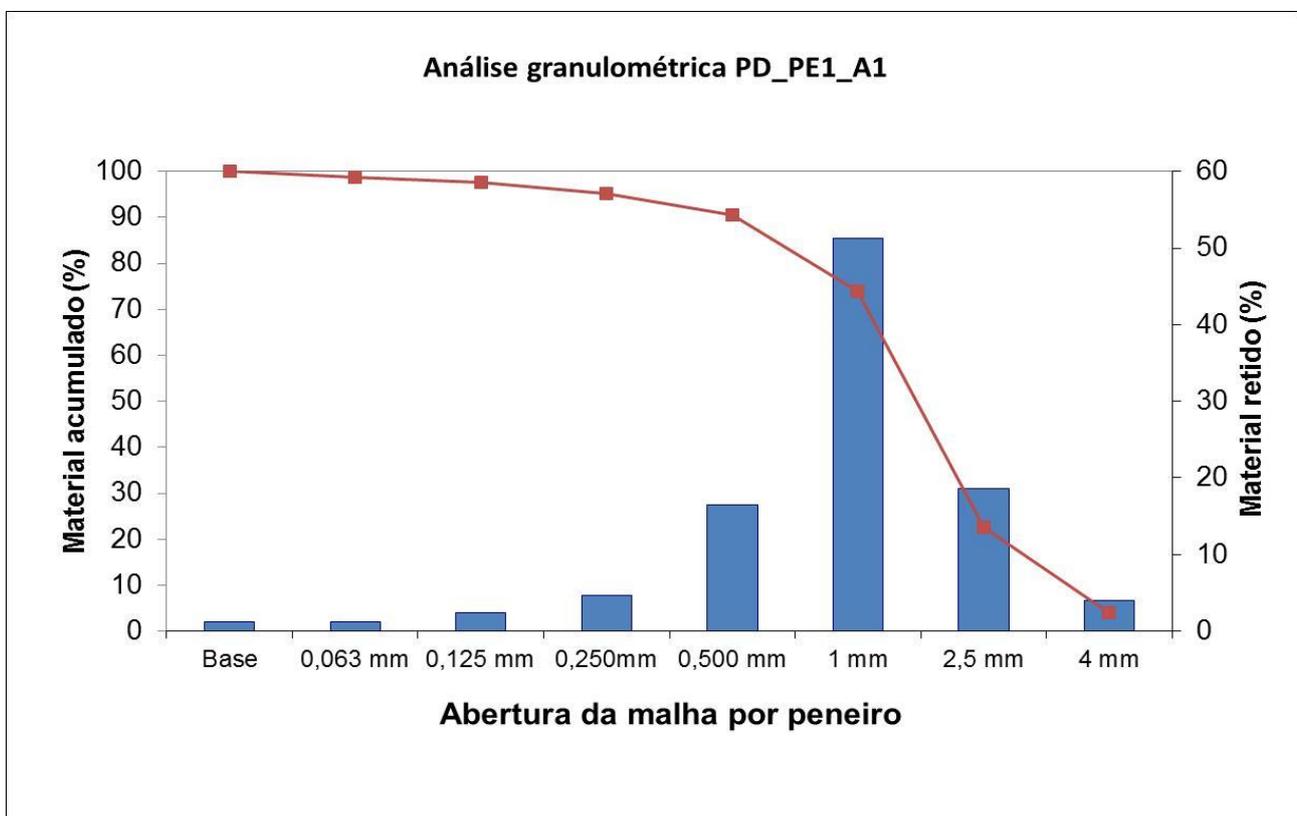
### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	2,0					9,5	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	22	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	68,6

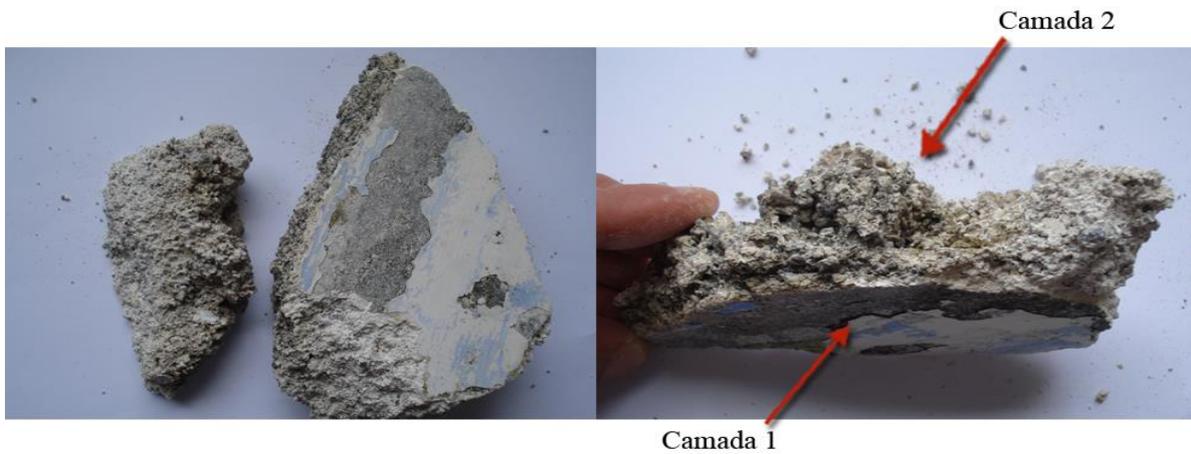


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	4,01	4,01
2,5 mm	18,66	22,67
1 mm	51,32	73,99
0,500 mm	16,53	90,52
0,250 mm	4,71	95,23
0,125 mm	2,37	97,60
0,063 mm	1,23	98,83
Base	1,17	100,00



Localização: Sítio do Pico, Ponta Delgada.

Amostra: PD\_P11\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

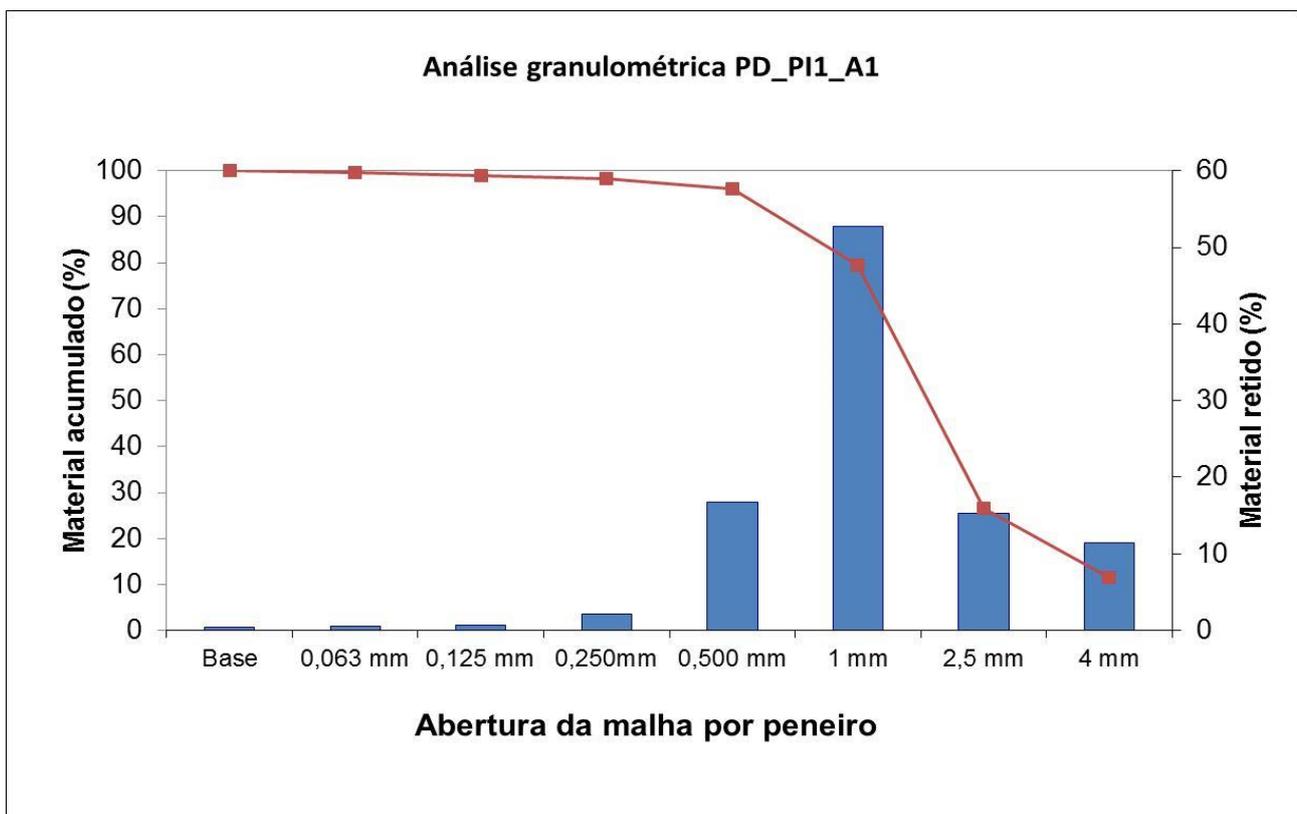
Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento apresenta a tonalidade cinzenta/branca.



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,1			0,8		7,8	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	18	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	71,4



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	11,43	11,43
2,5 mm	15,26	26,69
1 mm	52,76	79,45
0,500 mm	16,72	96,17
0,250 mm	2,16	98,33
0,125 mm	0,70	99,03
0,063 mm	0,57	99,60
Base	0,40	100,00



Localização: Camacha, Porto Santo

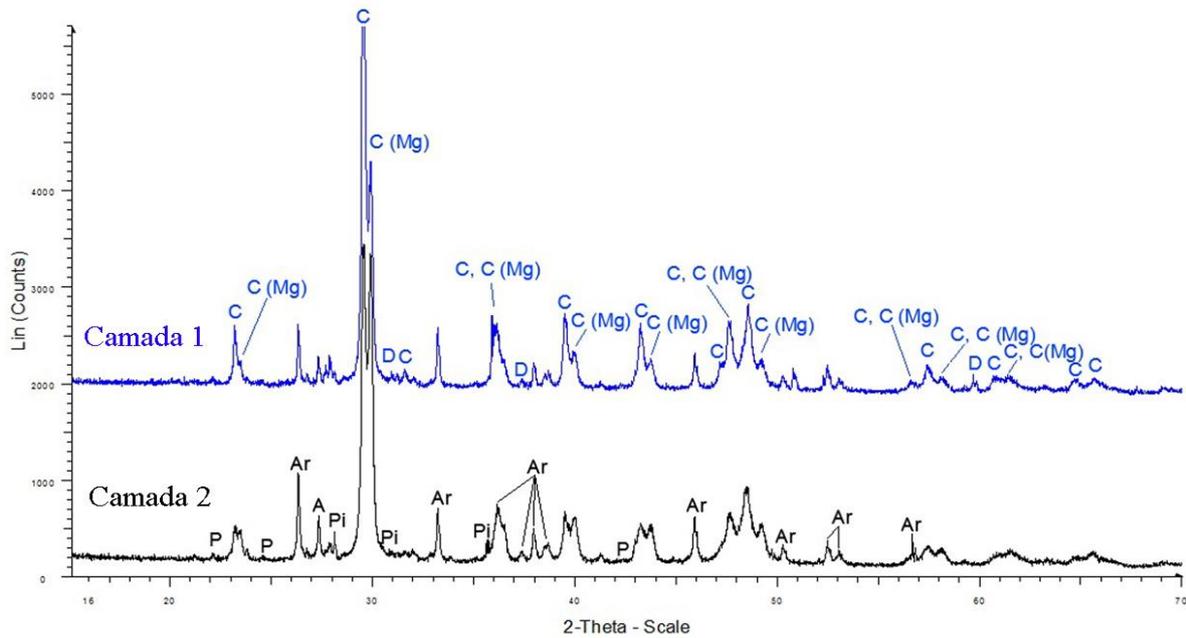
Amostra: PSC1\_PE1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

Observações: Apesar de parecer ter apenas uma única camada, raspou-se a camada exterior que apresentava um tom mais escuro com o intuito de averiguar essa diferença de tonalidade deve-se a ataques químicos.

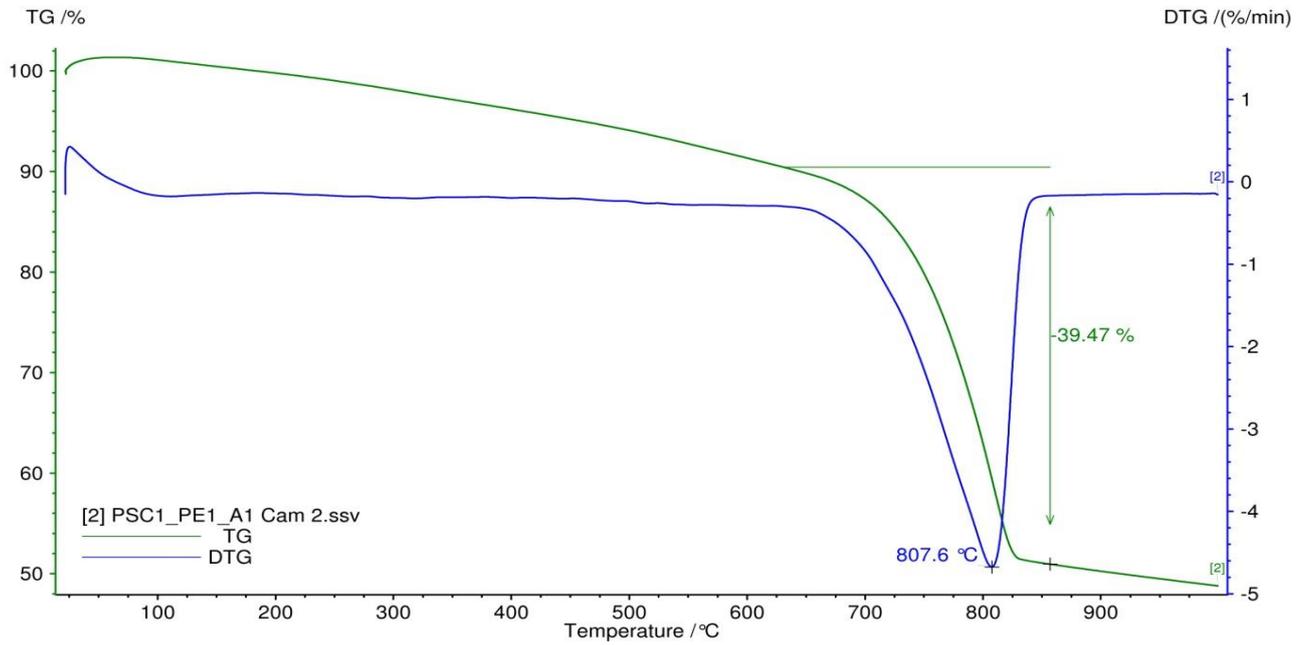
Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	16%	22%
Calcite [C]	42%	33%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	32%	38%
Dolomite [D]	vtg	vtg
Piroxenas [Pi]	5%	3%
Plagioclases [P]	4%	4%

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.

## Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)						39,5	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	90	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964



Localização: Camacha, Porto Santo

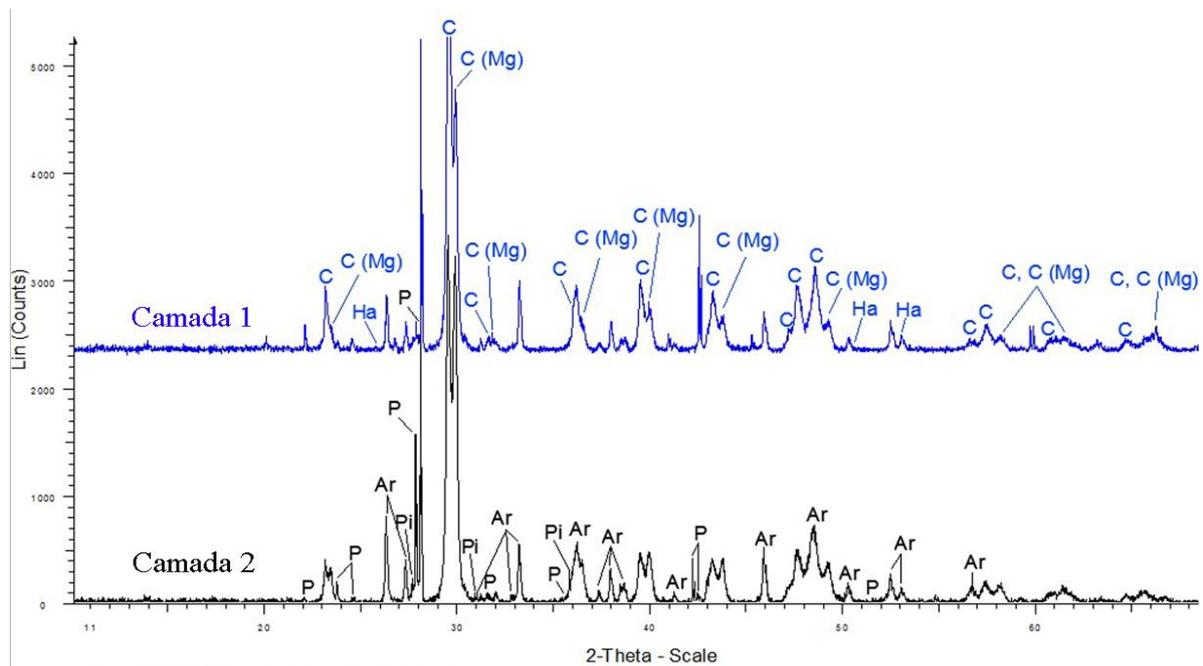
Amostra: PSC1\_PE1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

Observações: A camada de acabamento (camada 1) é da cor castanho escuro com mistura de cinzento. Apesar de parecer ter apenas uma única camada, separou-se em duas camadas.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	15%	20%
Calcite [C]	39%	32%
Calcite magnesia [C (Mg)]	34%	39%
Halite [Ha]	0,8%	0,5%
Piroxenas [Pi]	6%	3%
Plagioclases [P]	6%	5%



Localização: Camacha, Porto Santo

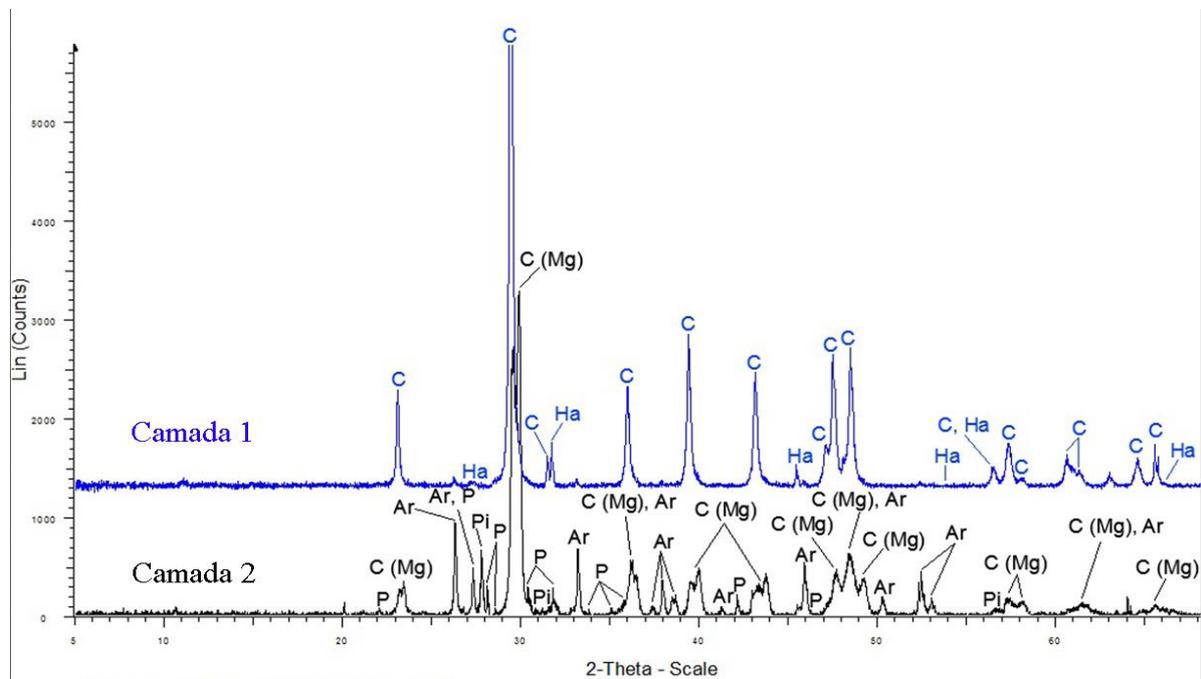
Amostra: PSC1\_PII\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constituída por duas camadas, em que a primeira camada é uma camada de acabamento de cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	2%	23%
Calcite [C]	74%	29%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	18%	39%
Halite [Ha]	2%	1%
Piroxenas [Pi]	4%	4%
Plagioclases [P]	0,6%	5%



Localização: Camacha, Porto Santo

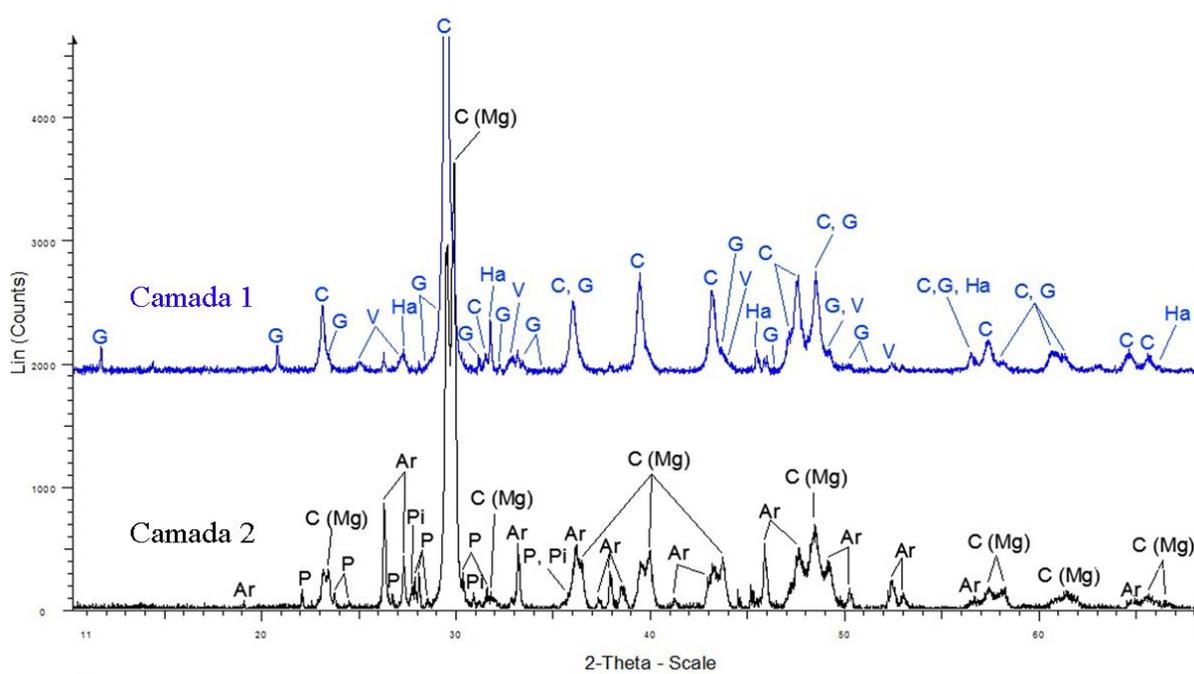
Amostra: PSC2\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constituída por duas camadas, em que a primeira camada é da cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	4%	22%
Calcite [C]	60%	32%
Calcite magnesia [C(Mg)]	19%	36%
Gesso [G]	3%	0,6%
Halite [Ha]	2%	0,8%
Piroxenas [Pi]	3%	4%
Plagioclases [P]	0,4%	3%
Vaterite [V]	9%	2%



Localização: Camacha, Porto Santo

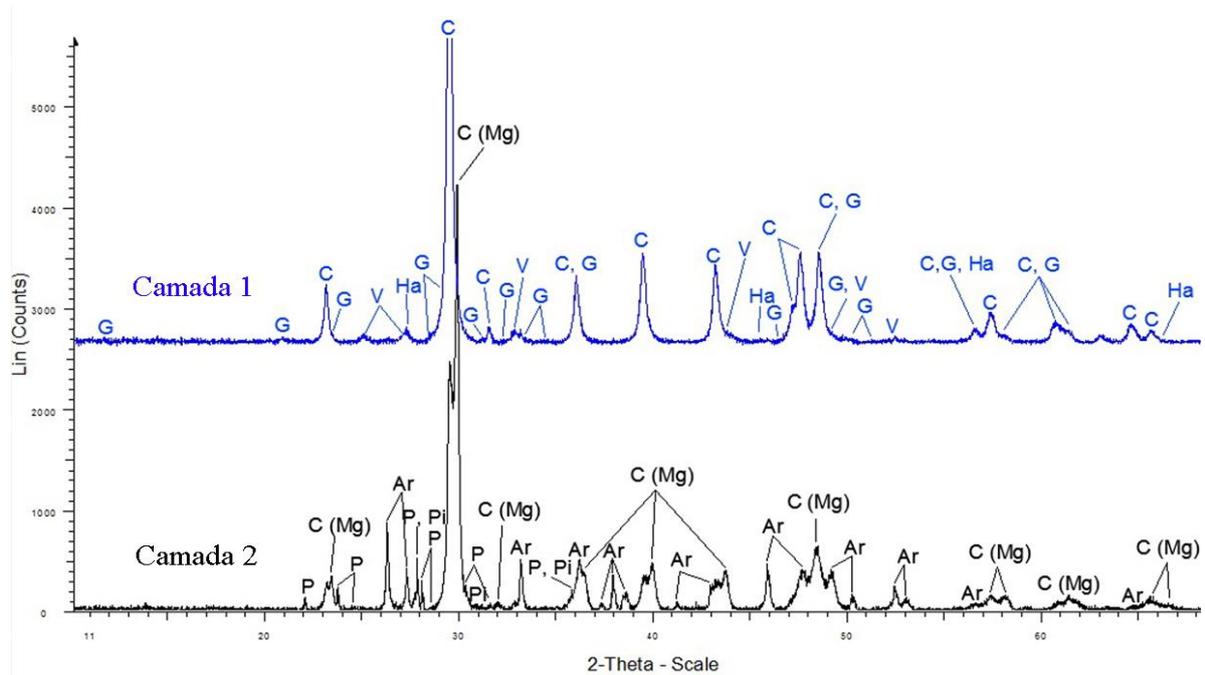
Amostra: PSC2\_PI1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constituída por duas camadas, em que a primeira camada é da cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	2%	23%
Calcite [C]	65%	33%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	19%	34%
Gesso [G]	1%	0,6%
Halite [Ha]	0,5%	0,2%
Piroxenas [Pi]	3%	3%
Plagioclases [P]	0,07%	3%
Vaterite [V]	9%	2%



Localização: Farrobo, Porto Santo

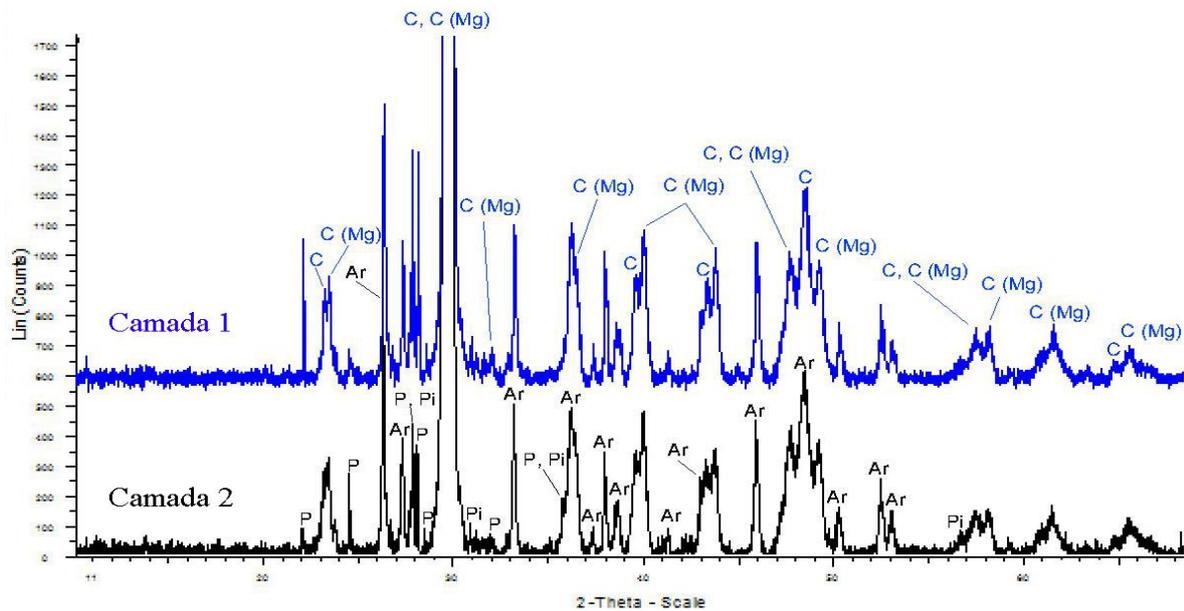
Amostra: PSF1\_PE1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

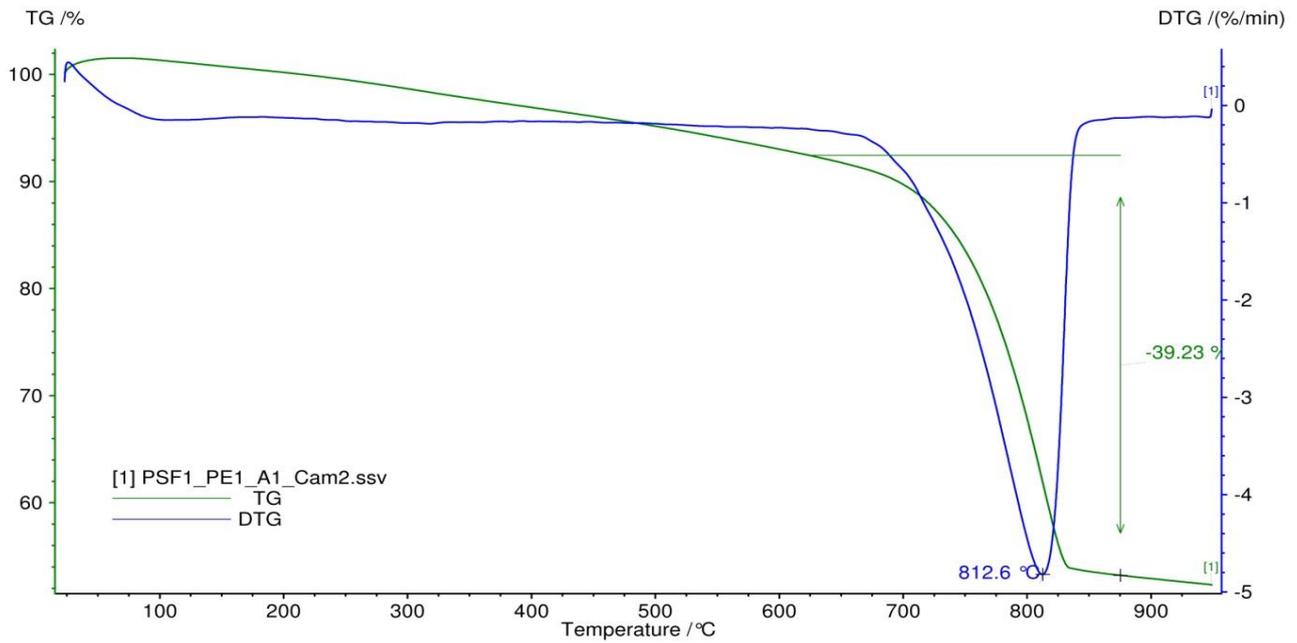
Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) é da cor preta.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	24%	24%
Calcite [C]	30%	32%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	39%	37%
Piroxenas [Pi]	3%	3%
Plagioclases [P]	4%	3%

## Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)						39,2	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	89	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964



Localização: Farrobo, Porto Santo

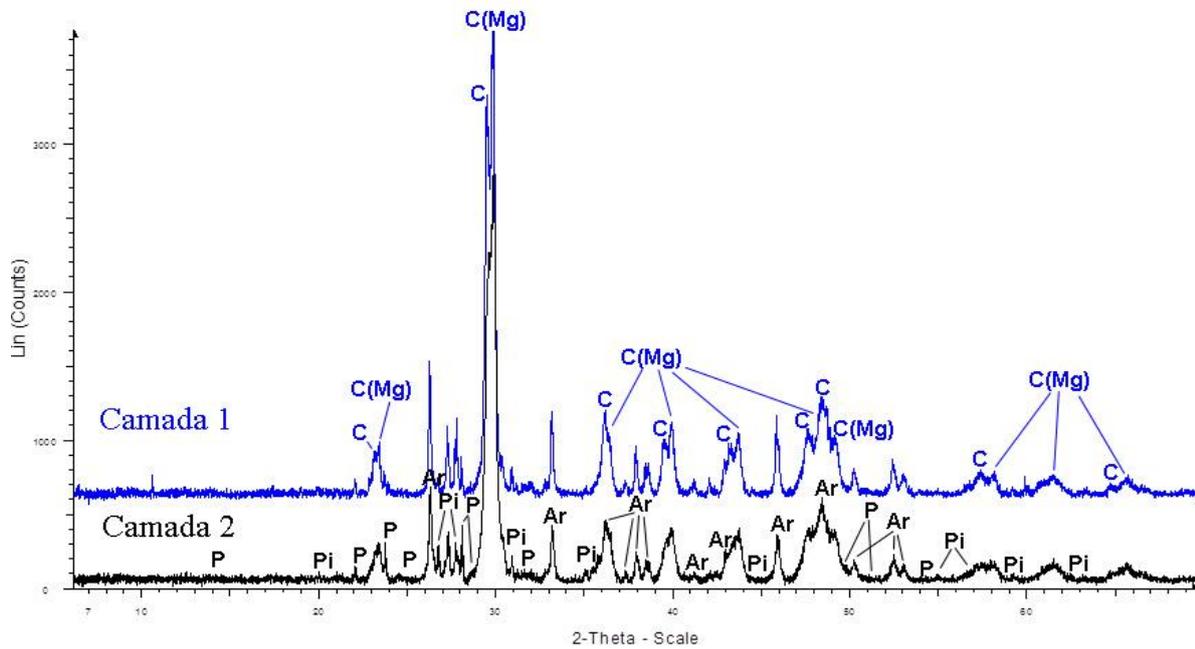
Amostra: PSF1\_PE1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento exterior.

Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) um tom mais escurecido.

Difração de raios - X (DRX)

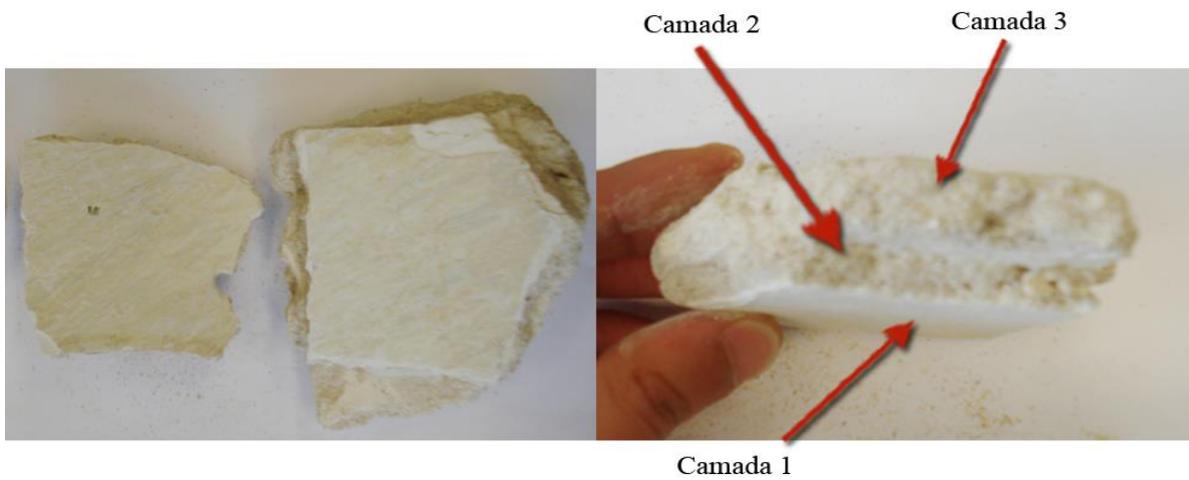


Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	25%	24%
Calcite [C]	32%	31%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	37%	35%
Piroxenas [Pi]	4%	5%
Plagioclases [P]	3%	4%



Localização: Farrobo, Porto Santo

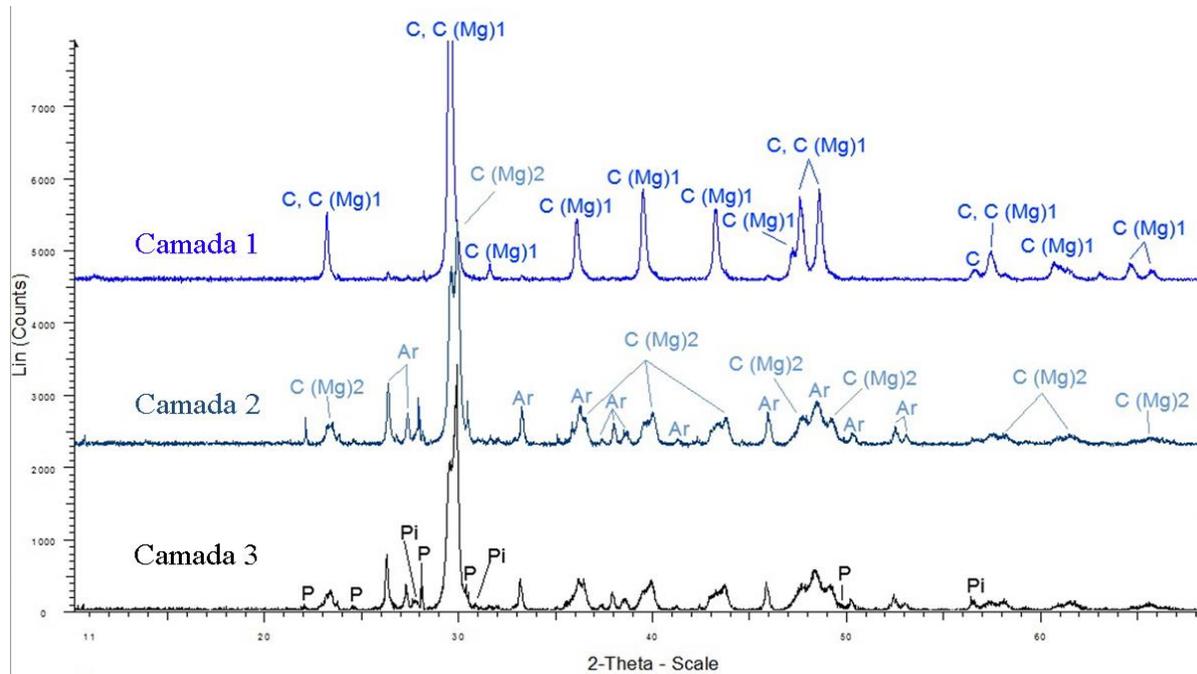
Amostra: PSF1\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior

Observações: Constituída por três camadas, em que a camada de acabamento é da cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2	Camada 3
Aragonite [Ar]	3%	24%	24%
Calcite [C]	69%	29%	31%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	22%	35%	36%
Piroxenas [Pi]	5%	6%	4%
Plagioclases [P]	0,9%	6%	5%

Nota: O programa de quantificação apenas consegue quantificar um tipo de calcite magnesiana.



Localização: Farrobo, Porto Santo

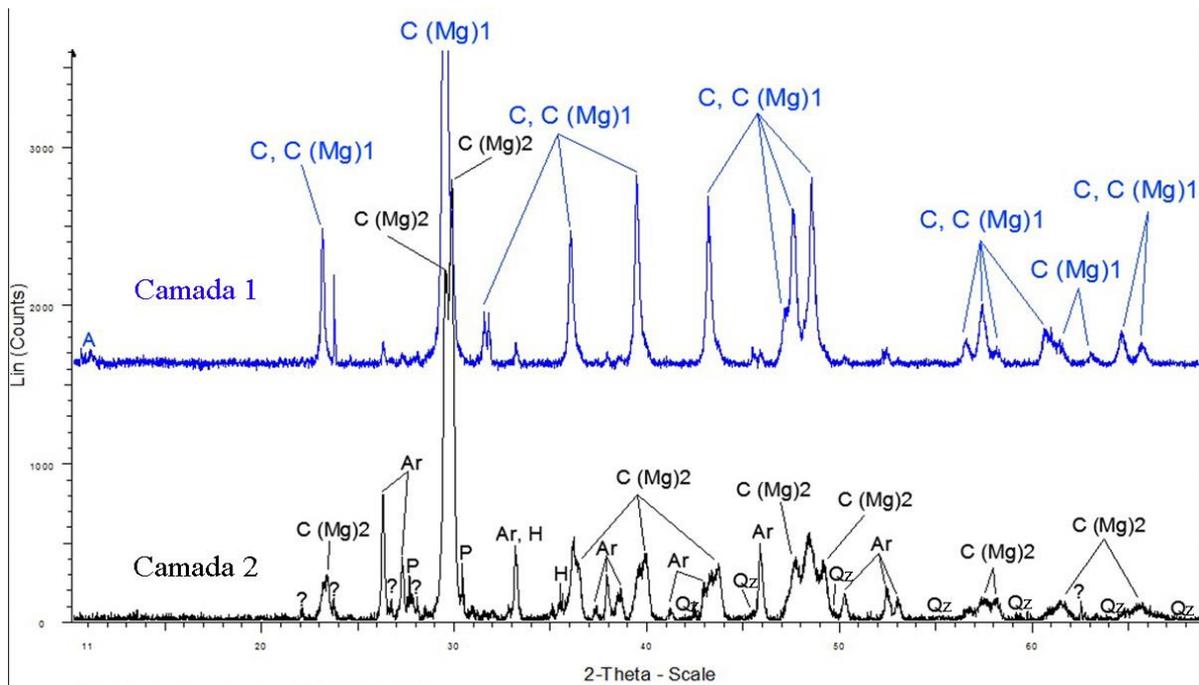
Amostra: PSF1\_PI1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	5%	26%
Calcite [C]	65%	31%
Calcite magnesiana [C (Mg)]	24%	34%
Hematite [H]	0,5%	0,5%
Piroxenas [Pi]	4%	3%
Plagioclases [P]	2%	4%
Quartzo [Qz]	0,3%	1%

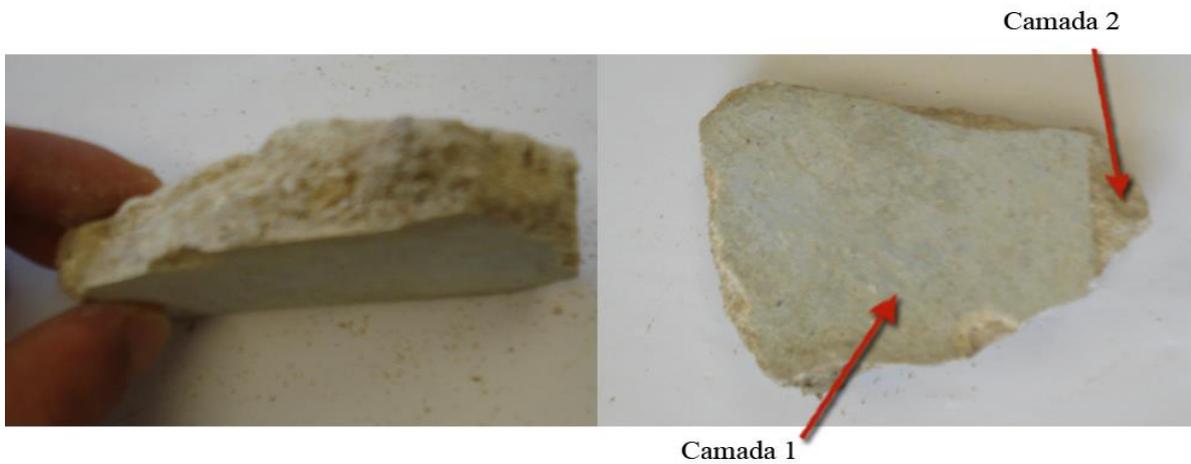
Nota: O programa de quantificação apenas consegue quantificar um tipo de calcite magnesiana.

Nota: Não foi possível quantificar a argila (A), pois o programa utilizado para a quantificação não contém este mineral na sua base de dados.



Localização: Farrobo, Porto Santo

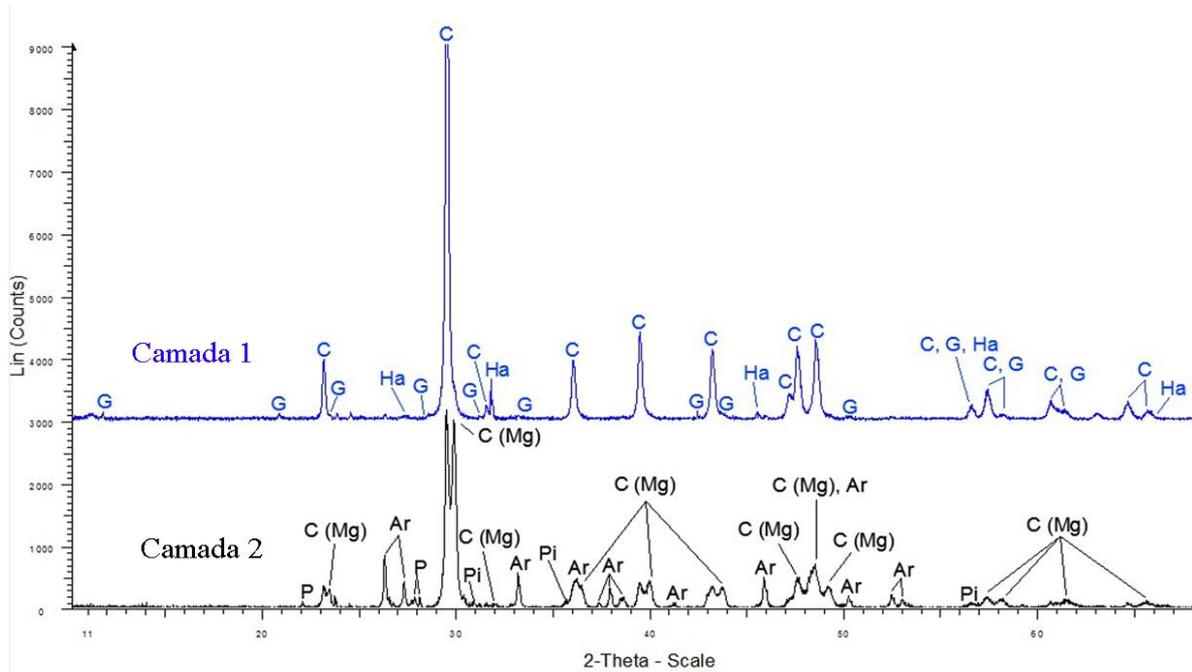
Amostra: PSF2\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constuída por duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor azul/cinzenta.

Difração de raios - X (DRX)

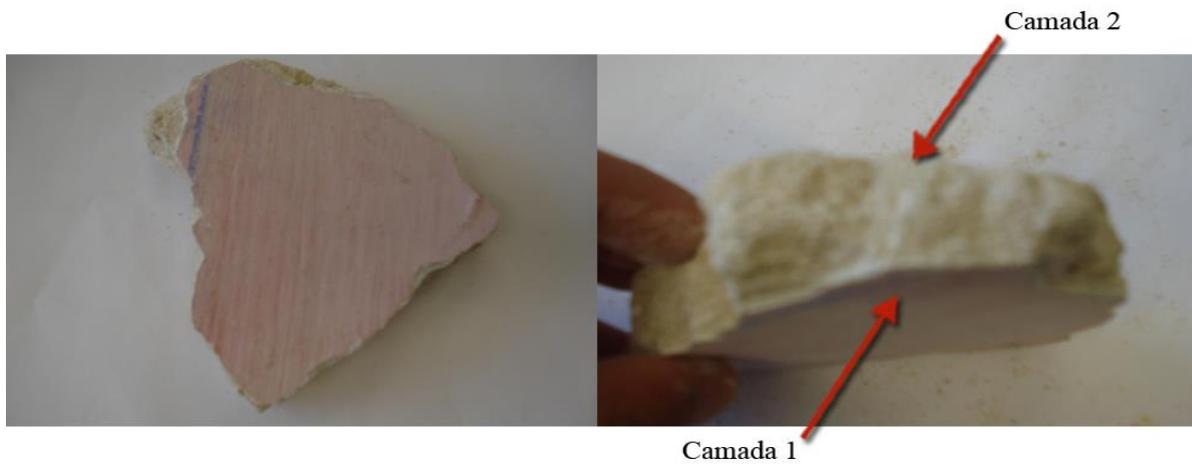


Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	3%	24%
Calcite [C]	77%	30%
Calcite magnésiana [C (Mg)]	13%	38%
Gesso [G]	2%	1%
Halite [Ha]	2%	0,4%
Piroxenas [Pi]	3%	3%
Plagioclases [P]	0,3%	4%



Localização: Farrobo, Porto Santo

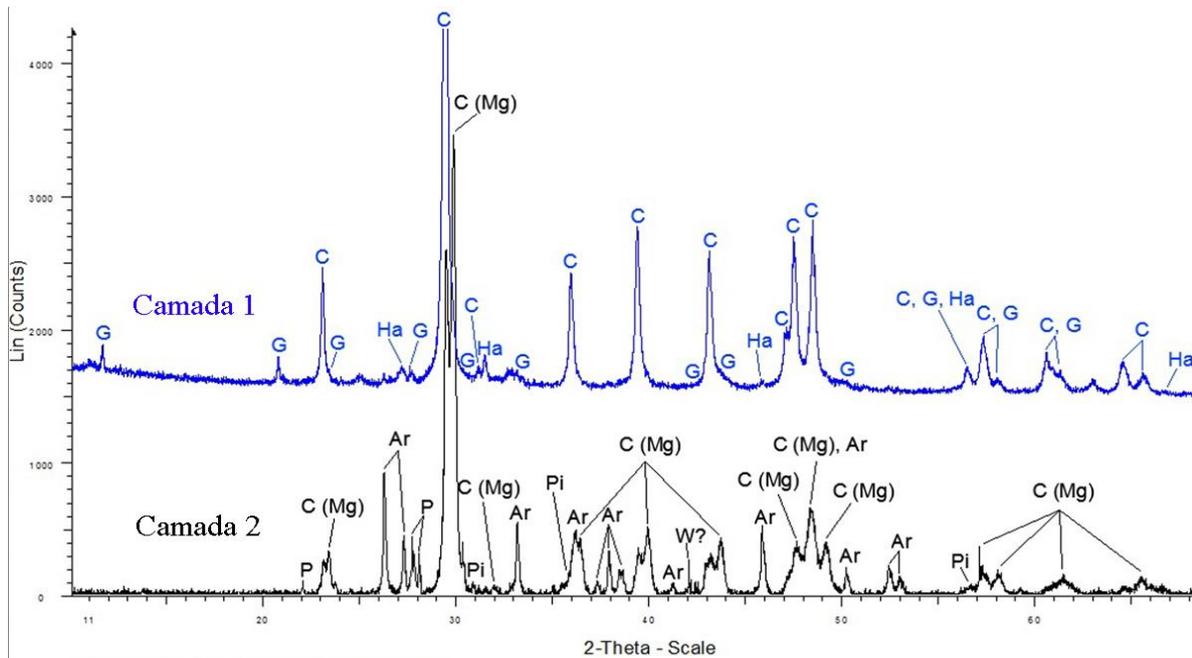
Amostra: PSF2\_PI1\_A2



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Constaída por duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor rosa.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Aragonite [Ar]	3%	25%
Calcite [C]	74%	27%
Calcite magnésiana [C (Mg)]	15%	40%
Gesso [G]	4%	0,8%
Halite [Ha]	0,5%	0,1%
Piroxenas [Pi]	2%	3%
Plagioclases [P]	1%	4%



Localização: Serra de Dentro, Porto Santo.

Amostra: PSS1\_PI1\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

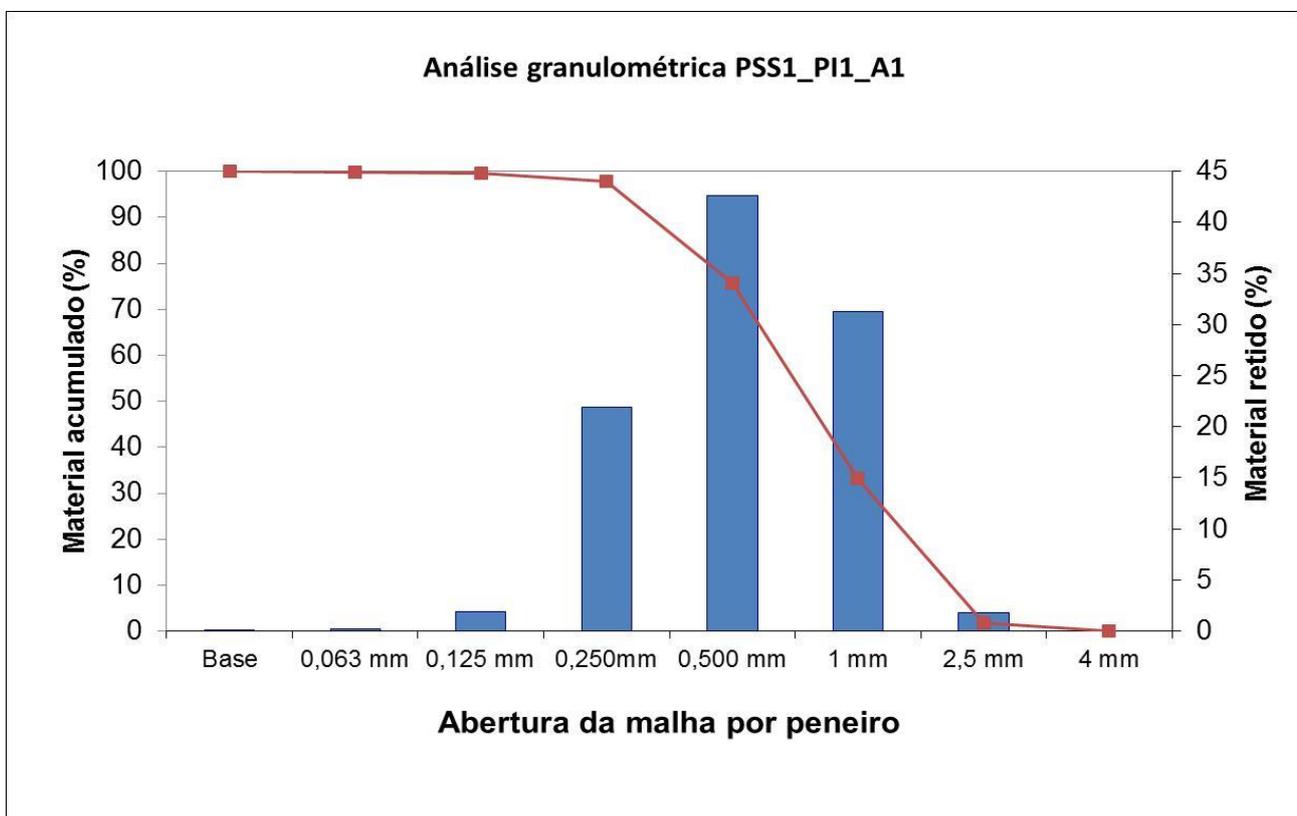
Observações: Constaída por duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) é da cor branca/amarela.



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	0,7		0,6			5,6	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	13	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	73,5



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,00	0,00
2,5 mm	1,83	1,83
1 mm	31,29	33,12
0,500 mm	42,66	75,78
0,250 mm	21,96	97,74
0,125 mm	1,91	99,65
0,063 mm	0,19	99,84
Base	0,16	100,00



Localização: Serra de Dentro, Porto Santo.

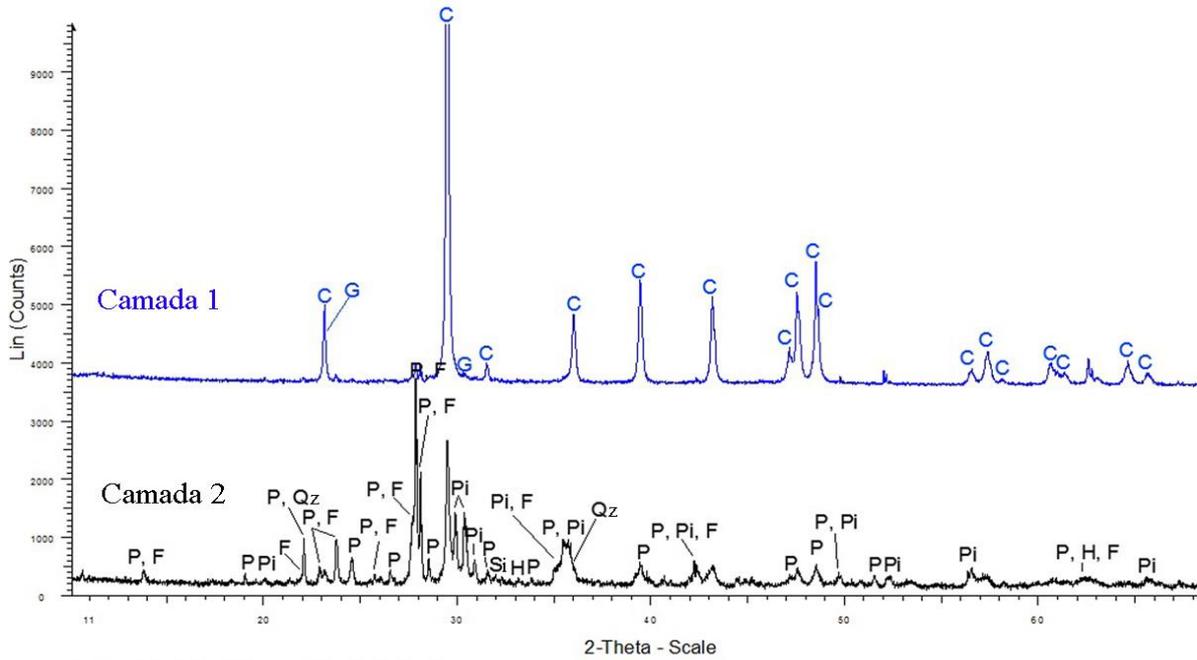
Amostra: PSS1\_PI2\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

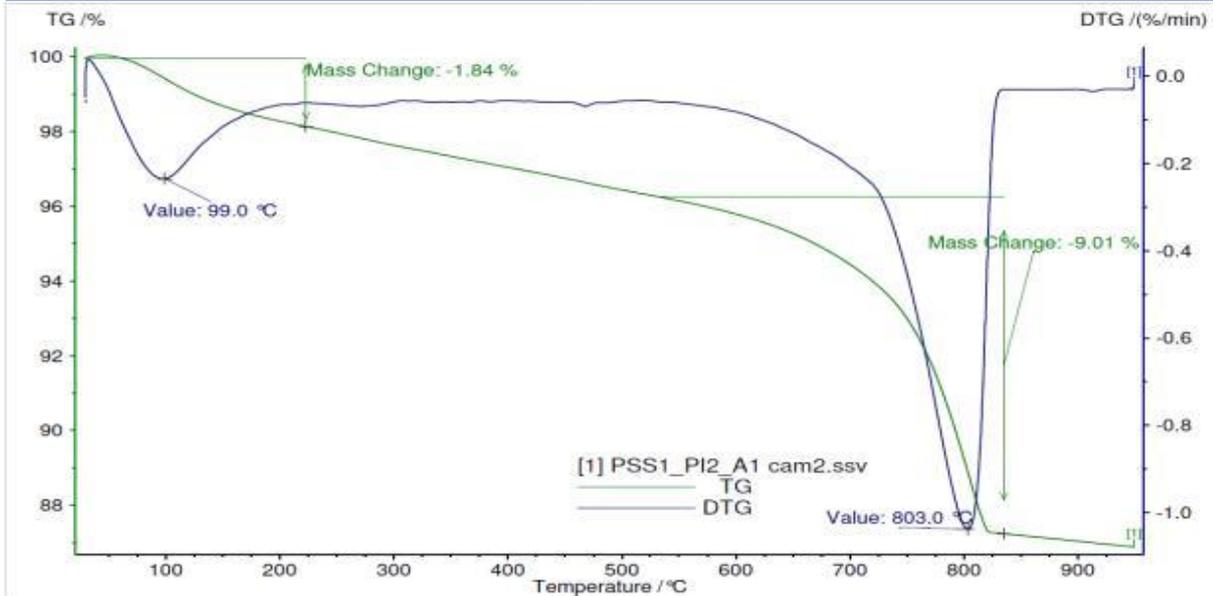
Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) é da cor branca.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	85%	17%
Feldspato [F]	4%	32%
Gesso [G] ?	0,6%	0,4%
Hematite [H]	1%	2%
Piroxenas [Pi]	6%	33%
Plagioclases [P]	3%	15%
Siderite [Si]	0,5%	0,8%
Quartzo [Qz]	0,3%	---

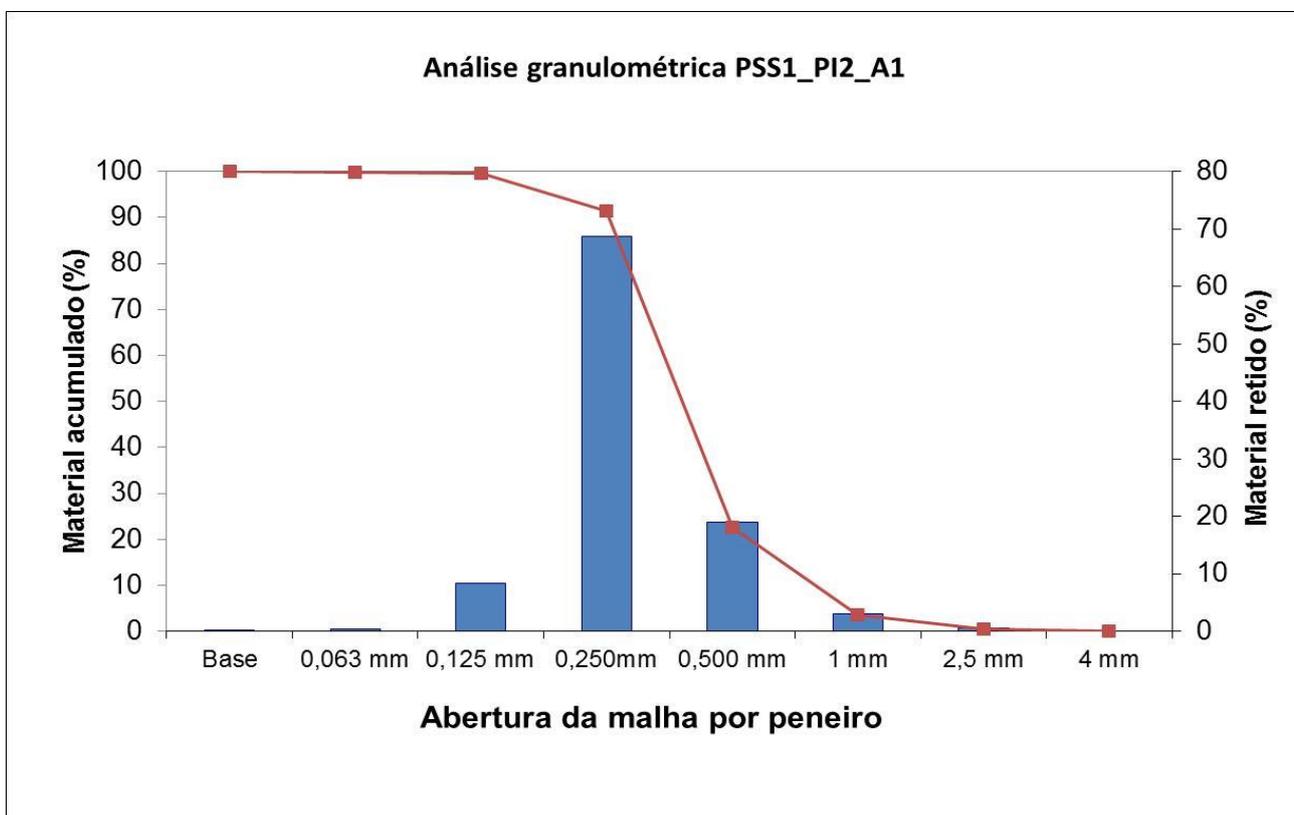
Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)	1,8					8,2	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	19	
M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875						
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964						

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	67,6

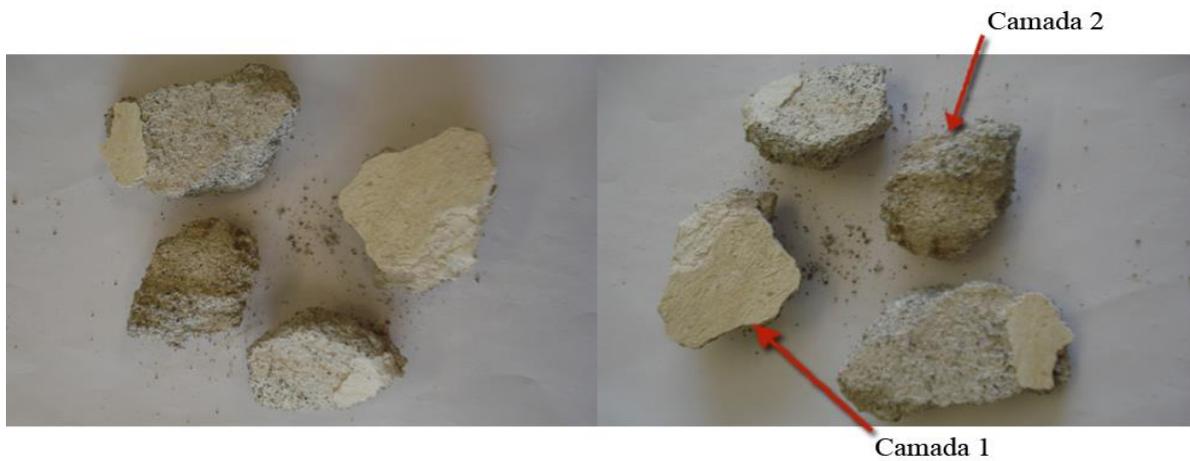


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,00	0,00
2,5 mm	0,50	0,50
1 mm	3,04	3,54
0,500 mm	19,00	22,54
0,250 mm	68,78	91,32
0,125 mm	8,26	99,58
0,063 mm	0,30	99,88
Base	0,12	100,00



Localização: Serra de Dentro, Porto Santo.

Amostra: PSS2\_PI1\_A1

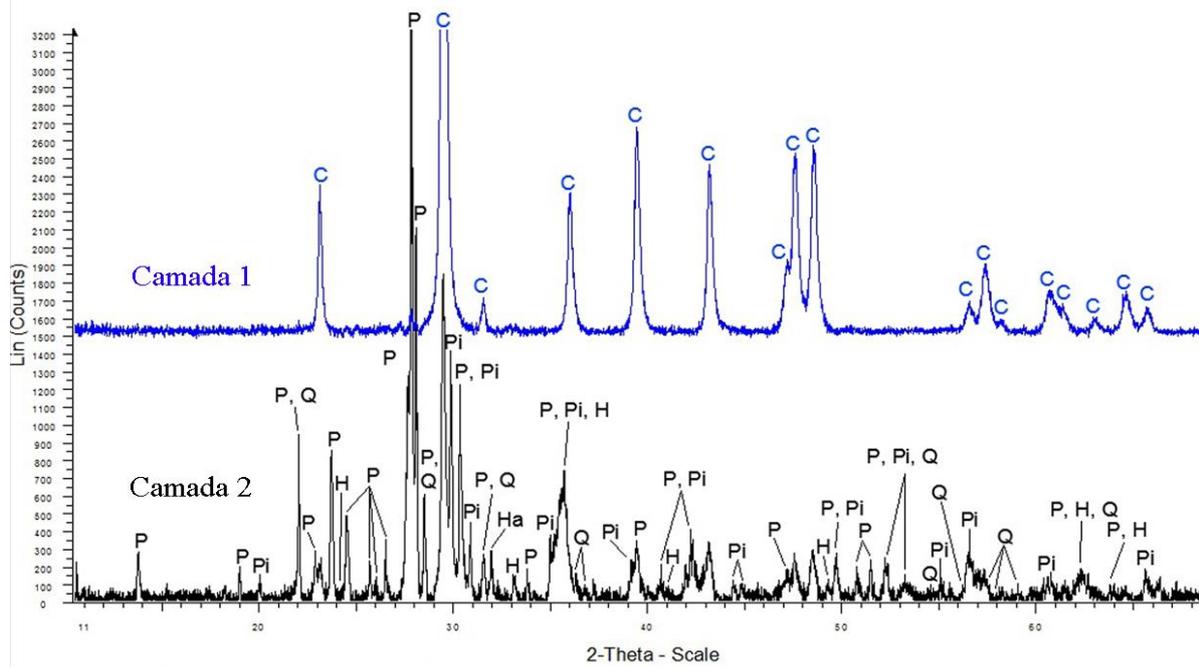


Identificação: Argamassa de revestimento interior.

Observações: Consta de duas camadas, em que a camada de acabamento (camada 1) é da cor branca.

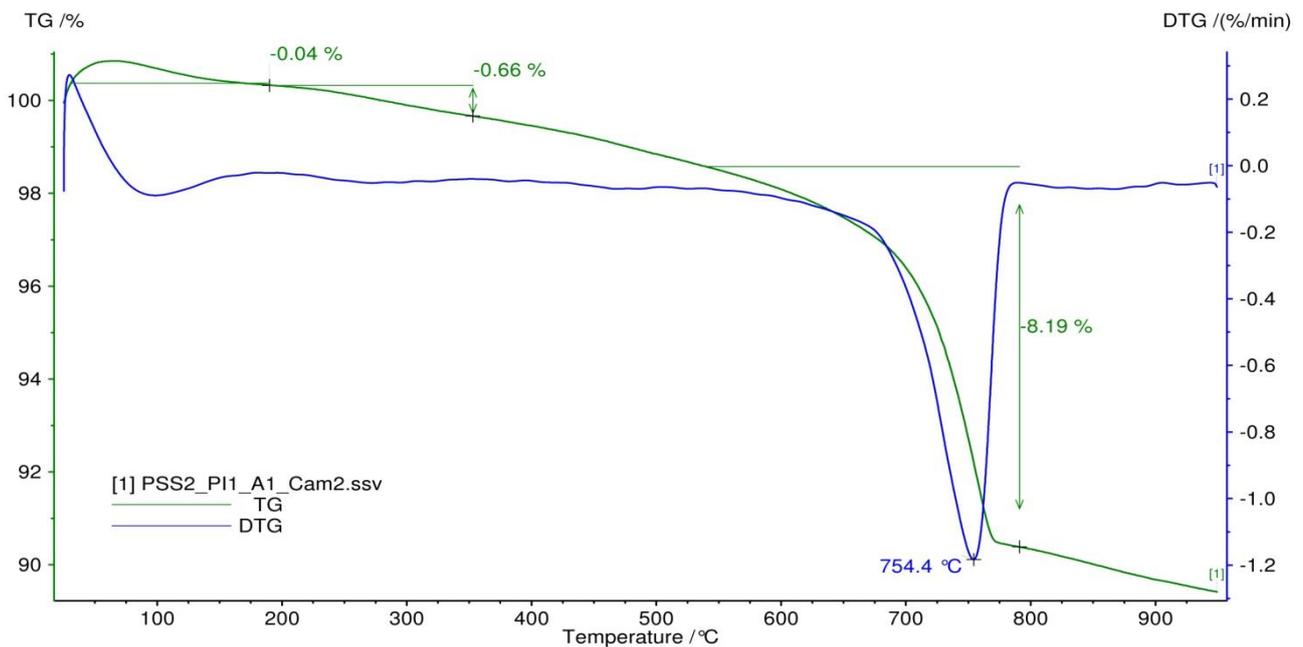
## Caracterização química e mineralógica:

### Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	91%	16%
Halite [Ha]	0,3%	0,7%
Hematite [H]	0,8%	2%
Piroxenas [Pi]	6%	28%
Plagioclases [P]	2%	53%

### Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



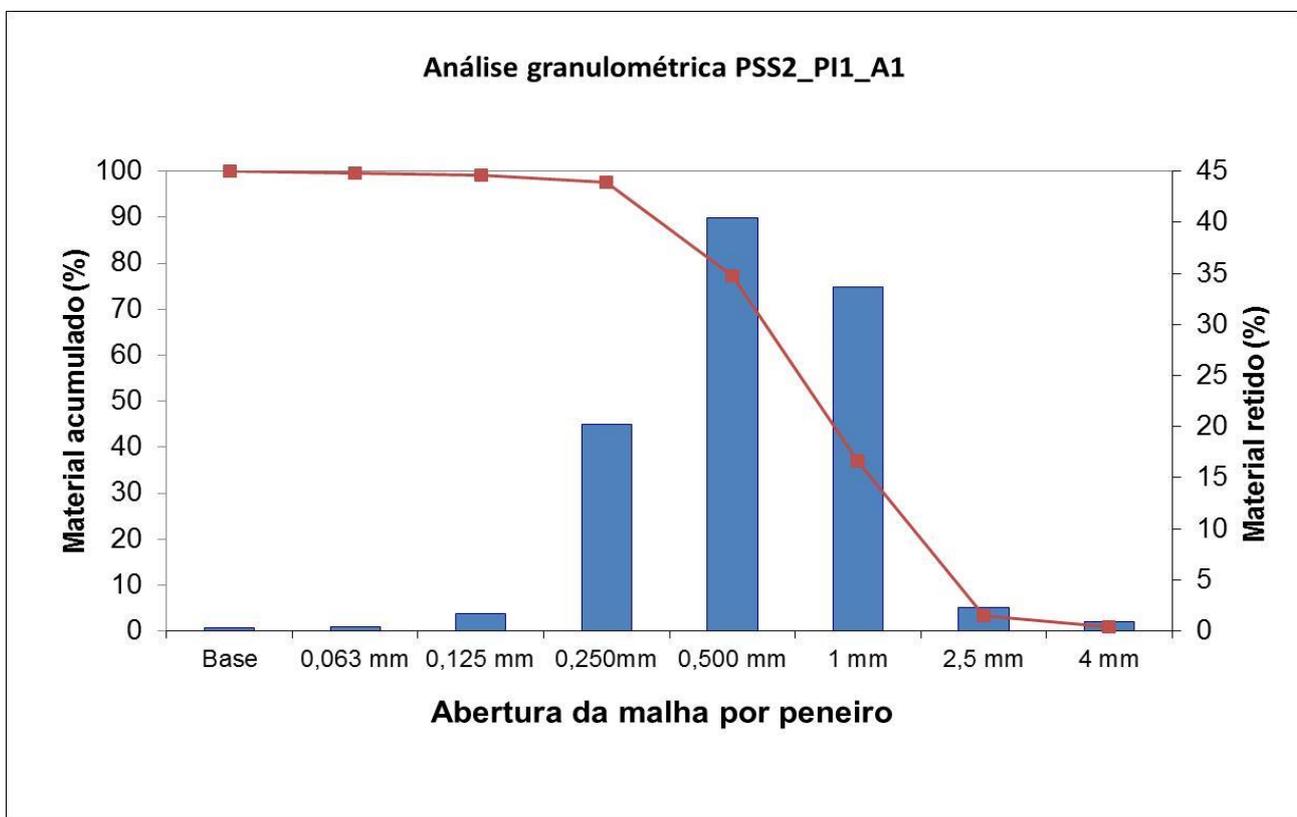
Gamas de Temperatura (° C)							
	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)		0,04	0,7			8,2	
					CaCO <sub>3</sub> (%)	19	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

### Análise Granulométrica

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	71,0

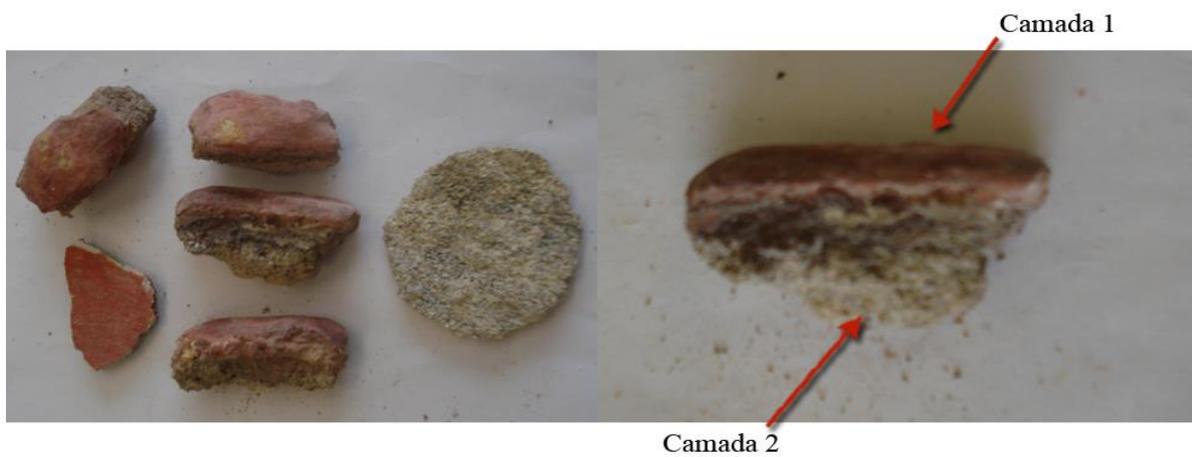


Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,95	0,95
2,5 mm	2,31	3,26
1 mm	33,69	36,95
0,500 mm	40,41	77,36
0,250 mm	20,24	97,60
0,125 mm	1,67	99,27
0,063 mm	0,45	99,72
Base	0,28	100,00



Localização: Serra de Dentro, Porto Santo.

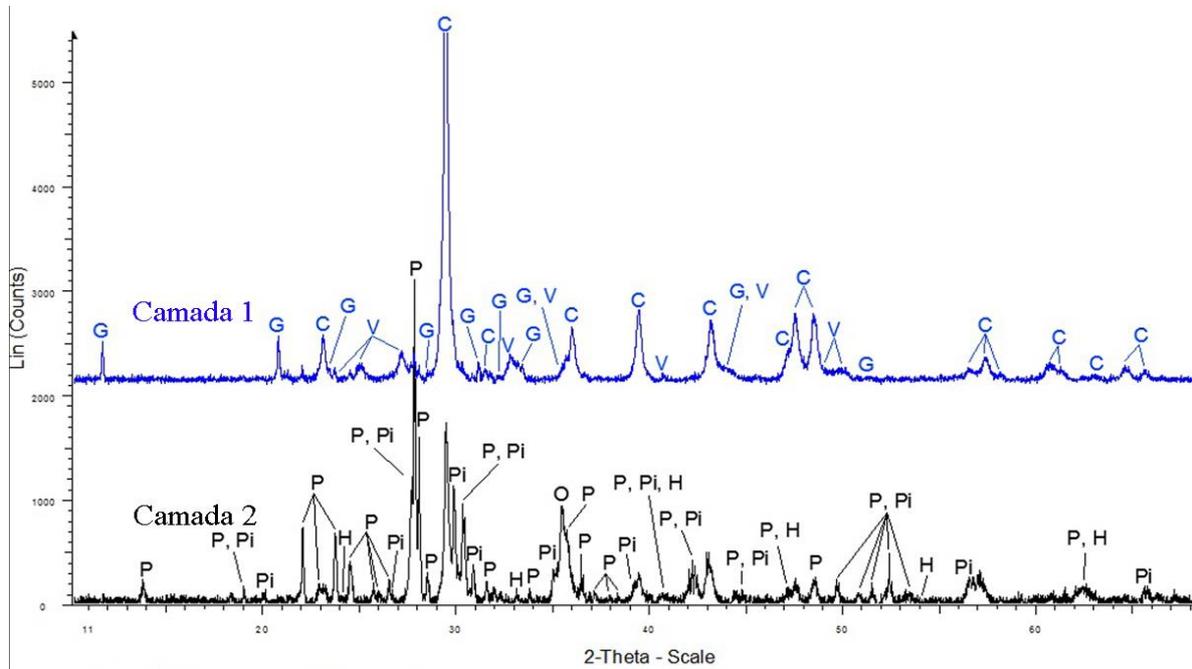
Amostra: PSS2\_PI2\_A1



Identificação: Argamassa de revestimento interior.

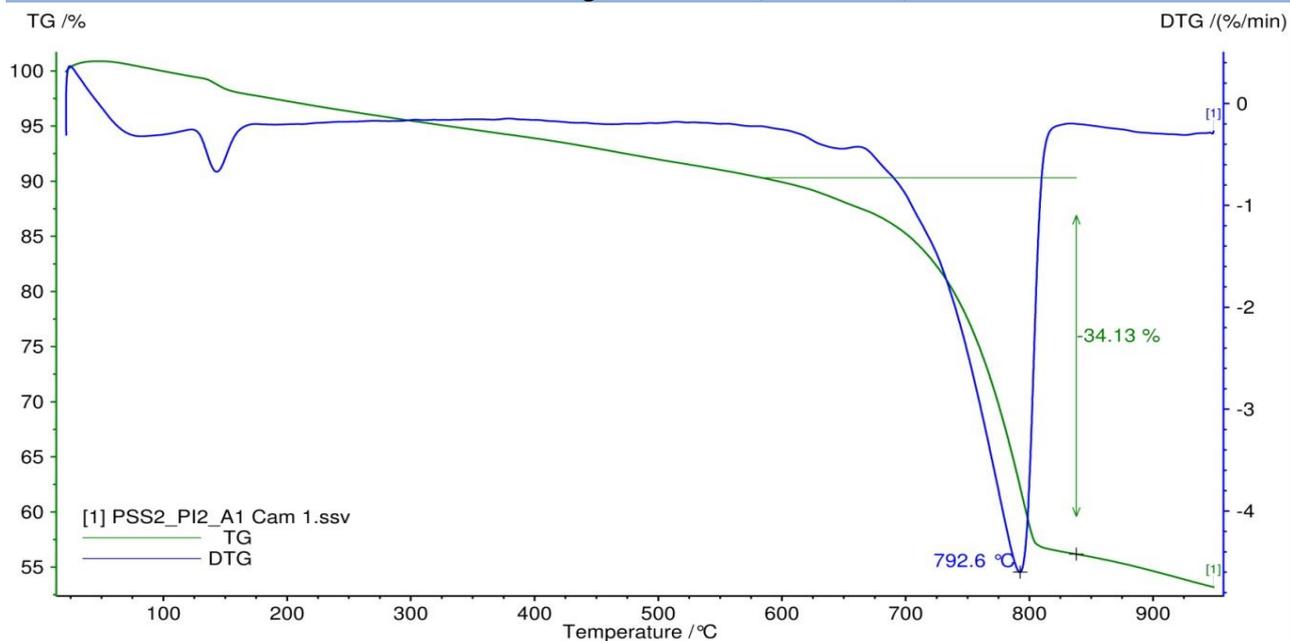
Observações: Constaída por duas camadas, em que a camada de acabamento é da cor vermelha.

Difração de raios - X (DRX)



Minerais	Camada 1	Camada 2
Calcite [C]	59%	16%
Gesso [G]	5%	0,9%
Hematite [H]	2%	2%
Olivinas [O]	2%	7%
Piroxenas [Pi]	6%	29%
Plagioclases [P]	5%	43%
Vaterite [V]	21%	2%

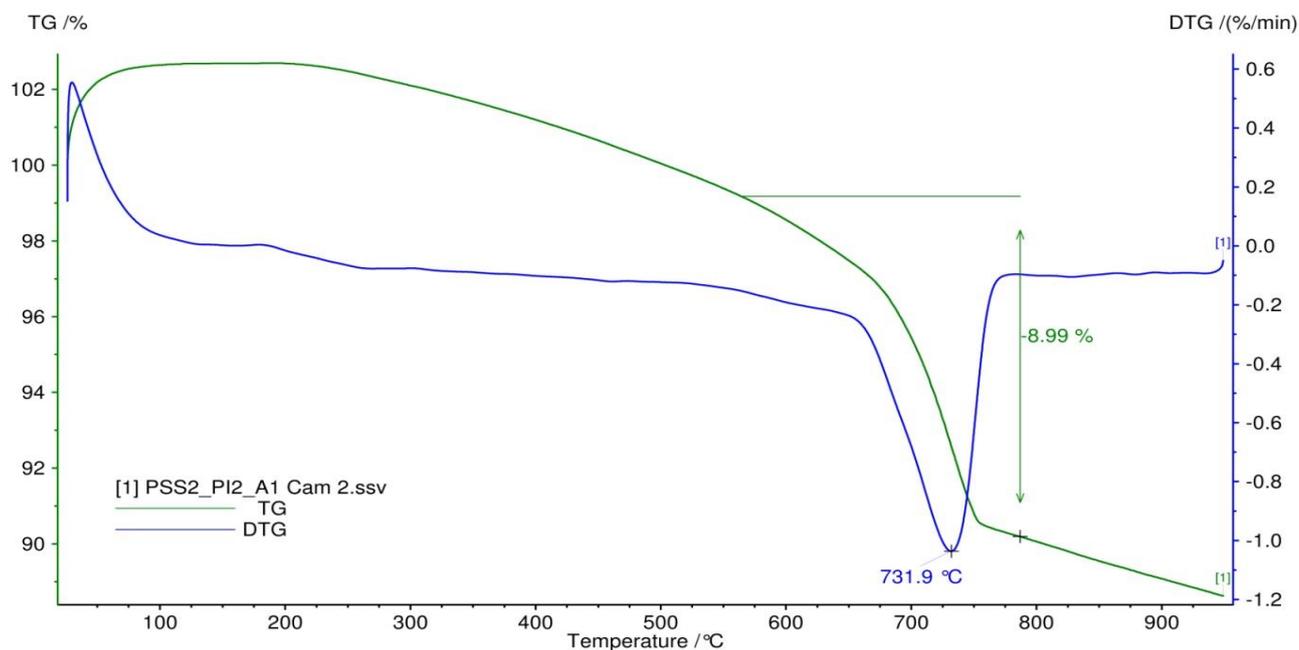
## Análise Termogravimétrica (ATG/DTG)



### Gamas de Temperatura (° C)

	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)						34,1	
CaCO <sub>3</sub> (%)						78	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

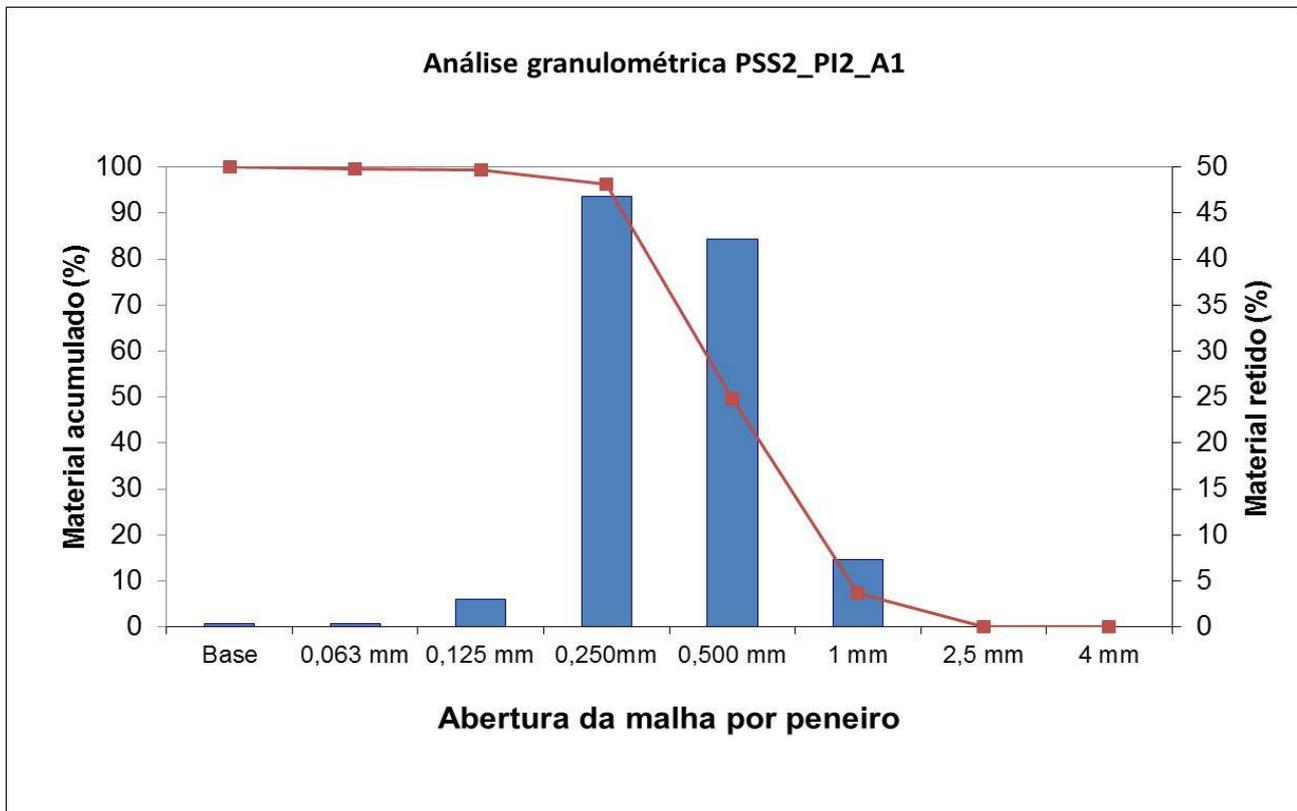


### Gamas de Temperatura (° C)

	20 - 140	140 - 230	230 - 370	370 - 480	480 - 700	700 - 890	890 - 1000
$\Delta m$ (%)						9,0	
CaCO <sub>3</sub> (%)						20	

M(CaCO <sub>3</sub> ) [g/mol]	100,0875
M(CO <sub>2</sub> ) [g/mol]	44,00964

Análise Química	
Resíduo insolúvel (%)	65,6



Peneiro	% retido	% acum.
4 mm	0,00	0,00
2,5 mm	0,00	0,00
1 mm	7,29	7,29
0,500 mm	42,23	49,52
0,250 mm	46,81	96,33
0,125 mm	2,98	99,31
0,063 mm	0,39	99,70
Base	0,30	100,00