



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Influência do mineral precursor no uso de
uma bactéria para reparação de fissuras
no betão**

Vânia Sofia Paulino Vargas

Orientadora: Prof.^a Teresa Pinheiro-Alves

Co- Orientadora: Doutora Marta Laranjo

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: *Construção*

Dissertação

Évora, 2015



UNIVERSIDADE DE ÉVORA

ESCOLA DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA RURAL

**Influência do mineral precursor no uso de
uma bactéria para reparação de fissuras
no betão**

Vânia Sofia Paulino Vargas

Orientadora: Prof.^a Teresa Pinheiro-Alves

Co- Orientadora: Doutora Marta Laranjo

Mestrado em Engenharia Civil

Área de especialização: *Construção*

Dissertação

Évora, 2015

Resumo

Nesta dissertação foi feita uma avaliação da influência do mineral precursor no uso da bactéria *Bacillus cohnii* para reparação de fissuras no betão.

Foram preparadas várias amassaduras de betão onde foram introduzidas bactérias da espécie *Bacillus cohnii* e combinadas com dois tipos diferentes de minerais precursores. Pretendeu-se avaliar qual o mineral precursor mais eficaz na formação de carbonato de cálcio quando combinado com esta bactéria.

Através dos ensaios realizados fez-se um acompanhamento da evolução das fissuras nos betões ao longo do tempo os quais mostram que é possível colmatar em parte as fissuras e que o silicato de cálcio foi o meio precursor mais eficiente.

Palavras-Chave : Betão auto-reparador, bactéria, durabilidade, carbonato de cálcio.

Abstract

Influence of the mineral precursor in the use of a bacterium to heal concrete cracks

In the present study the influence of the mineral precursor in the use of the bacterium *Bacillus cohnii* was evaluated in the healing of concrete cracks.

Several concrete mixings were prepared and bacteria of the species *Bacillus cohnii* were introduced combined with two different types of precursor minerals. The aim was to determine the most effective precursor mineral in the formation of calcium carbonated when combined with the bacterium.

The evolution of concrete cracks was monitored over time, and the performed trials showed that it is possible to partially heal cracks and that calcium silicate showed the best results, being the most effective precursor mineral.

Keywords : self-healing concrete, bacterium, durableness, calcium carbonate.

Abreviaturas / Nomenclaturas

BASE - Betão base

BA - Betão com acetato de cálcio na água da amassadura

BBA1 - Betão com acetato de cálcio e bactérias em diferentes argilas expandidas

BBA2 - Betão com acetato de cálcio e bactérias nas mesmas nas argilas expandidas

BS - Betão com silicato de cálcio na água da amassadura

BBS1 - Betão com silicato de cálcio e bactérias em diferentes argilas expandidas

BBS2 - Betão com silicato de cálcio e bactérias nas mesmas argilas expandidas

DRX - Difração de Raios-X

NMP - Ensaio do número mais provável

SEM/EDS - Microscópio eletrónico de varrimento com Espectroscopia dispersiva de Raios-X

Nomenclatura química:

Al - Alumínio

C - Carbono

Ca - Cálcio

CaCO₃ - Carbonato de cálcio

CaCl₂ - Cloreto de Cálcio

C-S-H - Silicatos de Cálcio

KCl - Cloreto de Potássio

CoCl₂.6H₂O - Cloreto de Cobalto

CuCl₂.2H₂O - Cloreto de Cobre Dihidratado

EDTA - Na₂.2H₂O - Ácido etilenodiamino-tetracético, dissódico di-hidratado

Fe - Ferro

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

$\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ - Sulfato Ferroso Heptahidratado

H_3BO_3 - Ácido Bórico

KH_2PO_4 - Fosfato de Potássio

$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - Cloreto de Magnésio

$\text{MnCl}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ - Cloreto de Manganês Tetrahidratado

$\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Sulfato de Manganês

NaHCO_3 - Bicarbonato de Sódio

$\text{NaMoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ - Molibdato de Sódio Dihidratado

Na_2CO_3 - Carbonato de Sódio

NH_4Cl - Cloreto de amónio

$\text{NiCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ - Cloreto de Níquel Hexahidratado

O - Oxigénio

Si - Silício

ZnCl_2 - Cloreto de Zinco

Índice

Resumo	I
Abstract	II
Abreviaturas / Nomenclaturas	III
Índice	V
Índice de Figuras	V
Índice de Tabelas	VIII
1 Introdução	1
2 Objetivos	2
3 Antecedentes	2
4 Métodos e Materiais	14
4.1 Materiais	14
4.2 Métodos	19
5 Resultados obtidos e sua análise	50
5.1 Resistência à compressão	50
5.2 Microscópio estéreo zoom	51
5.3 Microscópio eletrónico de varrimento com Espectroscopia dispersiva de Raios-X (SEM/EDS)	68
5.4 Difração de Raios-X (DRX)	90
5.5 Ensaio do Número Mais Provável (NMP)	103
6 Conclusões	107
7 Bibliografia	109
8 Anexos	113
Índice de Anexos	113

Índice de Figuras

Figura 1 - Curva granulométrica.	15
Figura 2- Curva granulométrica (Martins, 2015).....	18
Figura 3 - Bactéria <i>B. cohnii</i> no meio de crescimento na placa de Petri.	19
Figura 4 - Máquina de peneiração com os peneiros utilizados.....	20
Figura 5 - Provete de argila expandida na estufa.	21
Figura 6 - Amostra de areia no dessecador de vidro.....	21
Figura 7 - Imagem do SEM/EDS da bactéria <i>B. cohnii</i>	22
Figura 8 - Imagem do SEM/EDS da bactéria <i>B. cohnii</i> , com dimensões.	22

Figura 9 - Imagem do SEM/EDS dos esporos bacterianos do <i>B. cohnii</i>	23
Figura 10 - Imagem do SEM/EDS dos esporos bacterianos do <i>B. cohnii</i> , com dimensões.....	23
Figura 11 - Aparelho de medição do pH na solução do agar nutritivo.....	24
Figura 12 - Solução com 500 ml com agar.....	24
Figura 13 - Recipiente com NaHCO ₃ e água destilada.....	25
Figura 14 - Recipiente com Na ₂ CO ₃ anidro com água destilada.....	25
Figura 15 - Pesagem do reagente EDTA- Na ₂ .2H ₂ O na balança da marca OHAUS analytical plus.....	26
Figura 16 - Diluição do EDTA- Na ₂ .2H ₂ O na água destilada e os restantes reagentes pesados.....	26
Figura 17 - Medição do pH da solução final.....	27
Figura 18 - Fracos com as soluções do meio de esporulação e SL12-B.....	28
Figura 19 - Bactéria <i>B. cohnii</i> a ser riscada na placa de Petri.....	28
Figura 20 - Bactéria crescida na placa de Petri.....	29
Figura 21 - Introdução da bactéria no meio alcalino líquido.....	29
Figura 22 - Introdução do meio alcalino líquido com bactéria no meio de esporulação.	29
Figura 23 - Introdução do meio de esporulação numa lâmina de contagem.....	30
Figura 24 - Diluição do acetato de cálcio em água.....	31
Figura 25 - Impregnação do acetato de cálcio na argila expandida.....	31
Figura 26 - Acetato de cálcio embebido na argila expandida.....	32
Figura 27 - Diluição do silicato de cálcio.....	32
Figura 28 - Silicato de cálcio ao ser embebido na argila expandida.....	32
Figura 29 - Silicato de cálcio embebido na argila expandida.....	33
Figura 30 - Argila expandida com silicato de cálcio.....	33
Figura 31 - Argila expandida com acetato de cálcio.....	33
Figura 32 - Provetes BASEH na cura húmida.....	35
Figura 33 - Enchimento do molde seguido de 25 pancadas.....	35
Figura 34 - Medição do abaixamento.....	36
Figura 35 - Compactação manual do provete.....	36
Figura 36 - Provetes envolvidos em película aderente.....	36
Figura 37 - Desmolde dos provetes.....	37
Figura 38 - Corte dos cubos após fissuração.....	37
Figura 39 - Máquina de ensaio a resistência à compressão.....	38
Figura 40 - Microscópio trinocular estéreo zoom, marca Olympus.....	40
Figura 41 - Microscópio trinocular estéreo zoom, marca Leica.....	41
Figura 42 - Microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X.....	42
Figura 43 - Metalizador.....	42
Figura 44 - Amostras apos metalizadas no SEM/EDS.....	43
Figura 45 - Amostra de betão preparada para a difração de Raios-X.....	44
Figura 46 - Máquina de difração de Raios-X.....	45
Figura 47 - Moinho de bolas planetário.....	46
Figura 48 - Almofariz com betão em pó.....	46

Figura 49 - Tubo Falcon com betão BASE.....	48
Figura 50 - Tubos Falcon para cada amostra no agitador.....	48
Figura 51 - Distribuição das soluções pelas placas de Petri.....	49
Figura 52 - Espalhar a solução na placa de Petri.	49
Figura 53 - Gráfico de resistência à compressão dos provete, valores médios.....	50
Figura 54 - Quadro da inspeção visual do betão BASE dos 7 aos 94 dias.	54
Figura 55 - Quadro da inspeção visual do betão BA dos 7 aos 94 dias.....	55
Figura 56 - Quadro da inspeção visual do betão BS dos 7 aos 94 dias.....	56
Figura 57 - Quadro da inspeção visual do betão BBA1 dos 7 aos 94 dias.....	57
Figura 58 - Quadro da inspeção visual do betão BBS1 dos 7 aos 94 dias.....	58
Figura 59 - Quadro da inspeção visual do betão BBA2 dos 7 aos 94 dias.....	59
Figura 60 - Quadro do microscópio estéreo zoom do BBS2.....	60
Figura 61 - Quadro da inspeção visual do betão BASE aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 20x.....	61
Figura 62 - Quadro da inspeção visual do betão BA aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.....	62
Figura 63 - Quadro da inspeção visual do betão BS aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.....	63
Figura 64 - Quadro da inspeção visual do betão BBA1 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.....	64
Figura 65 - Quadro da inspeção visual do betão BBS1 aos 7 dias aos 94 dias, ampliação 45x.....	65
Figura 66 - Quadro da inspeção visual do betão BBA2 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.....	66
Figura 67 - Quadro da inspeção visual do betão BBS2 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.....	67
Figura 68- SEM/EDS do betão BASE aos 30 dias.....	68
Figura 69 - SEM do betão BASE na matriz.....	69
Figura 70 - SEM do BA na matriz aos 56 dias.....	70
Figura 71 - SEM do BA na fissura.	71
Figura 72 - SEM/EDS do BA na fissura.....	72
Figura 73 - SEM do BS na matriz aos 45 dias.....	73
Figura 74 - SEM/EDS do BS na fissura aos 30 dias.	73
Figura 75 - SEM/EDS do BBA1 nos grãos de argila aos 30 dias.	74
Figura 76 - SEM do BBA1 na matriz.	75
Figura 77 - EDS do BBA1 na matriz.....	76
Figura 78 - SEM do BBA1 na fissura.	77
Figura 79 - SEM/EDS do BBA1 na fissura.....	78
Figura 80 - do BBS1 nas argilas expandidas aos 45 dias.	79
Figura 81 - SEM/EDS do BBS1 nas argilas expandidas aos 94 dias.	79
Figura 82 - SEM do BBS1 na matriz.	80
Figura 83 - SEM/EDS do BBS1 na fissura.....	82
Figura 84 - SEM/EDS do BBS1 na fissura.....	83
Figura 85 - SEM/EDS do BBA2 na fissura.....	84
Figura 86 - SEM/EDS do BBS2 nas argilas expandidas aos 94 dias.....	85

Figura 87 - SEM do BBS2 na matriz.	86
Figura 88 - SEM do BBS2 na fissura.	87
Figura 89 - SEM/EDS do BBS2 na fissura.	88
Figura 90 - Percentagem de Calcite para os diferentes betões analisados através do DRX	94
Figura 91 - Percentagem de Aragonite para os diferentes betões analisados através do DRX	94
Figura 92 - Percentagem de Vaterite para os diferentes betões analisados através do DRX	95
Figura 93 - DRX do betão BASE aos 14, 30 e 56 dias.	96
Figura 94 - DRX do BA aos 14, 30 e 56 dias.	97
Figura 95 - DRX do BS aos 14, 30 e 56 dia.	98
Figura 96 - DRX do BBA1 aos 14,30 e 56 dias.	99
Figura 97 - DRX do BBS1 aos 14, 30 e 56 dias.	100
Figura 98 - DRX do BBA2 aos 14, 30 e 56 dia.	101
Figura 99 - DRX do BBS2 aos 14, 30 e 56 dias.	102
Figura 100 - Placas de Petri com SM, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}	103
Figura 101 - Placa de Petri com BBS1 em diluição de 10^{-1} aos 14 dias.	103
Figura 102 - Placa de Petri com BBS2 em solução mãe aos 14 dias.	104
Figura 103 - Placa de Petri com BBA1 em diluição de 10^{-3} aos 36 dias.	104
Figura 104 - Placa de Petri com BBS2 em solução mãe aos 36 dias.	104
Figura 105 - Placa de Petri com BBA2 em diluição de 10^{-3} aos 36 dias.	105

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características químicas.	14
Tabela 2 - Características mecânicas.	14
Tabela 3 - Características físicas.	15
Tabela 4 - Características químicas, mecânicas e físicas da argila expandida.	15
Tabela 5 - Características químicas, mecânicas e físicas da areia fina.	17
Tabela 6 - Reagentes e quantidades do agar nutritivo.	23
Tabela 7 - Reagentes e quantidade para o meio.	24
Tabela 8 - Reagentes e quantidades da solução.	26
Tabela 9 - Reagentes e quantidades do meio.	27
Tabela 10 - Concentrações dos esporos bacterianos.	30
Tabela 11 - Composição do betão (Martins, 2015).	34
Tabela 12 - Quantidades para cada amassadura.	35
Tabela 13 - Condições para realizar o ensaio de resistência à compressão.	38
Tabela 14 - Condições para realizar a inspeção visual (Microscópio trinocular estéreo).	40
Tabela 15 - Condições para realizar o SEM/EDS.	43
Tabela 16 - Condições para realizar o ensaio de difração de Raios-X.	45
Tabela 17 - Condições para realizar o ensaio NMP.	47
Tabela 18 - Meio MRD (Martins, 2015).	47

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Tabela 19 - Preparação para o ensaio NMP para cada amostra.	48
Tabela 20 - Resultados da difração Raios-X do betão BASE.	90
Tabela 21 - Resultados da difração Raios-X do BA.	91
Tabela 22 - Resultados da difração Raios-X do BS.	91
Tabela 23 - Resultados da difração Raios-X do BBA1.	92
Tabela 24 - Resultados da difração Raios-X do BBS1.	92
Tabela 25 - Resultados da difração Raios-X do BBA2.	93
Tabela 26 - Resultados da difração Raios-X do BBS2.	93
Tabela 27 - Resultados do NMP aos 14 dias e aos 36 dias.	105

1 Introdução

O betão é o material mais utilizado na construção civil em todo o mundo, é formado por uma mistura de cimento, água, agregados grossos e finos e, por vezes, adjuvantes e adições (Costa, 2002).

A utilização do betão em estruturas tem algumas vantagens e desvantagens, como vantagem é um material barato, forte e de fácil colocação, como desvantagem este material é prejudicial para o meio ambiente, devido à energia consumida para a sua produção e transporte dos seus constituintes (por exemplo cimento e agregados) e, por consequência, a libertação para a atmosfera de dióxido de carbono (Jonkers *et al.*, 2010).

O excessivo número de construções *per capita* já existentes leva, cada vez mais, a uma maior necessidade de reabilitar esses edifícios. Para maximizar o seu aproveitamento é indispensável encontrar soluções que facilitem a reabilitação deste tipo de estruturas e essa é uma das razões que levou ao desenvolvimento desta dissertação.

O aparecimento de microfissuras em estruturas de betão é usual, e estas podem ocorrer devido a vários fatores, tais como carregamentos externos, deformações impostas por gradientes de temperatura, encolhimento devido ao tempo e assentamentos, retração plástica e reações expansivas devido a ataques de sulfatos, corrosão e reação alcalina-silica. Essas microfissuras podem diminuir a durabilidade e, conseqüentemente, a vida útil da estrutura de betão, pois facilitam a entrada e transporte de líquidos e gases que podem conter substâncias prejudiciais para o mesmo (Tittelboom *et al.*, 2010).

É fundamental reparar estas microfissuras. Essa reparação pode ser feita pelo método tradicional que consiste na impregnação da microfissura com pasta de cimento, base epóxi ou enchimentos sintéticos mas, nas mais pequenas e profundas, este método poderá não ser eficaz (Jonkers *et al.*, 2010).

Nesta dissertação pretende-se estudar um método não tradicional de reparação de microfissuras em estruturas de betão, que consiste na incorporação de esporos no betão, de maneira a que os mesmos tenham condições para conseguirem formar

carbonato de cálcio. Uma das bactérias mais utilizada é do género *Bacillus*, pelas suas capacidades de se adaptar a meios agressivos (Jonkers *et al.*, 2010).

Os betões com capacidade de autorreparação podem ser uma solução útil para o futuro. Mas é necessário estudá-los e criar uma maneira acessível de os aplicar em obra.

2 Objetivos

Esta dissertação tem como objetivos principal estudar a influência de diferentes meios precursores quando aplicados em betões em conjunto com a bactéria *Bacillus cohnii*, avaliando quais os que produzem maiores quantidades de CaCO_3 nas microfissuras e consequentemente conseguem colmatar as mesmas.

3 Antecedentes

Na bibliografia consultada foram vários os artigos científicos encontrados que falavam sobre betões auto-reparadores e que utilizavam a bactéria do género *Bacillus*, mas que diferiam na sua espécie, nomeadamente *Bacillus sphaericus*, *Bacillus cohnii*, *Bacillus pseudofirmus*, *Bacillus pasteurii* e *Bacillus subtilis*.

Os métodos e os resultados variaram de artigo para artigo, mas o objetivo final de todos foi a precipitação de cristais de carbonato de cálcio no interior das microfissuras do betão e respectiva colmatação da mesma. Na pesquisa foram avaliadas as bactérias utilizadas e meios precursores, assim como a metodologia adoptada. Os principais trabalhos são descritos a seguir.

Em 2007, relativamente às bactérias *B. cohnii*, *B. halodurans*, *B. pseudofirmus* e *Sporosarcina pasteurii* (Jonkers, 2007), são estudadas as suas capacidades de selar fissuras, usando a peptona e citrato de sódio como minerais precursores, e estas bactérias são introduzidas na forma de esporos nas amostras. As bactérias têm como características serem aeróbias. Para os ensaios da resistência à compressão e à tração são feitos a provetes com bactéria, sem bactéria e com aspartato de sódio, glutamato de sódio, poliacrilato de sódio, gluconato de sódio, ácido citrato de sódio e ácido ascórbico de sódio, e os ensaios são feitos a três provetes de cada tipo. Para a monitorização da existência de cristais, os provetes foram curados 24h à temperatura

ambiente, 10 dias em água da torneira à temperatura ambiente e posteriormente, foram partidos em pedaços pequenos, mas o método utilizado para introduzir os esporos bacterianos não é descrito com clareza. Como resultados foram encontrados cristais de carbonato de cálcio quando se utilizou a bactéria *B. pseudofirmus* em amostras de cimento e nas amostras sem bactéria não foram encontrados cristais. Não se verificou perda da resistência à compressão, nem à tração aos 28 dias com a introdução da bactéria *Sporosarcina pasteurii* em amostras de betão em comparação com amostras sem bactéria. Mas dos quatro tipos de bactérias referidas no artigo, apenas são revelados os resultados de duas das bactérias e são usadas em diferentes contextos, pois a bactéria *Sporosarcina pasteurii* apenas é utilizada para ensaios de resistência à forças e a bactéria *B. pseudofirmus* apenas é utilizada para se verificar se existe, ou não, produção de cristais. Através da aplicação de diferentes bactérias em estudos diferentes, não se pode concluir qual delas é a melhor bactéria para a finalidade proposta, que é selar as fissuras do betão.

Em 2008, as bactérias *B. cohnii*, *B. halodurans* e *B. pseudofirmus* (Jonkers, 2008) são usadas para preencher fissuras na pasta de cimento, introduzidas na forma de esporos bacterianos e o meio precursor usado nas três bactérias é o lactato de cálcio. Os ensaios de resistência são feitos a provetes com bactérias, sem bactérias e apenas com o mineral precursor. Para a resistência à compressão, os ensaios são feitos aos 3, 7 e 28 dias e para os ensaios à tração os ensaios são feitos aos 28 dias para provetes com bactérias, sem bactérias e com onze minerais precursores diferentes mas os agregados foram excluídos dos provetes. Para a monitorização do aparecimento, ou não, dos cristais, os provetes são mantidos nos moldes durante sete dias e, após esse tempo, os provetes são cortados e metidos em água durante dez dias, a bactéria e os minerais são misturados na pasta de cimento. Os resultados dos ensaios da resistência à compressão revelam que existe uma diminuição da resistência com a introdução da bactéria, quando se utiliza *B. pseudofirmus* e nos ensaios de resistência à tração também existe uma diminuição dos valores em comparação com o provete de controlo, quando há utilização de minerais orgânicos.

O estudo, acima citado, revela resultados positivos ao introduzir a bactéria com o mineral precursor, pois existe aparecimento de cristais de carbonato de cálcio quando se usa a bactéria *B. cohnii*, mas não revela os resultados para as três bactérias. Como aconteceu no artigo de 2007 de Jonkers, no artigo de 2008 o autor volta a não esclarecer com clareza os resultados obtidos pois são testadas três bactérias mas apenas são revelados os resultados de duas bactérias para testes diferentes. Nos

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

ensaios de resistência os resultados são sobre a bactéria *B. pseudofirmus* e para a monitorização do aparecimento, ou não, dos cristais de carbonato de cálcio, os resultados revelados são sobre a bactéria *B. cohnii*, e a bactéria *B. halodurans* cai no esquecimento em termos de resultados apresentados.

Com a análise deste dois artigos de Jonkers, acima mencionados, pode concluir-se que apenas o mineral precursor não faz aparecer os cristais de carbonato de cálcio no betão mas, ao adicionar-se a bactéria, esses surgem com maior facilidade, pois é necessário existir uma fonte de cálcio para iniciar a atividade da bactéria, e assim, dar origem a cristais de carbonato de cálcio. É nos artigos de autoria de Jonkers que esta investigação mais se apoia, pois todos os meios de cultura utilizados e até a escolha da bactéria têm como referência esse artigos, devido aos resultados positivos que este autor obteve nas suas investigações. A facilidade em desenvolver estes meios de cultura aliada aos recursos disponibilizados pela Universidade de Évora tiveram uma grande influência nesta escolha. A utilização da bactéria *B. cohnii* na forma de esporos bacterianos é uma grande vantagem, pois faz com que as bactérias se conservem por um longo período de tempo e sejam capazes de criar reações químicas, e resultando daí os cristais de carbonato de cálcio. Apenas os minerais precursores diferenciam dos utilizados nos artigos de autoria de Jonkers, pois este é um dos fatores relevantes deste estudo.

Uma nova bactéria foi estudada (Biswas *et al.*, 2010), cuja estirpe bacteriana é BKH1 associada a *Thermoanaerobacter*, é anaeróbia e Gram-negativa, tem o crescimento ótimo com pH 8,0 e a 65°C e tem a capacidade de produzir uma proteína que aumenta a qualidade e durabilidade do betão. O seu estudo aplica-se às argamassas e cimentos-cola. Para a aplicação dos ensaios de resistência à compressão às argamassas são feitos quatro tipos diferentes de provetes que se diferenciam nas diferentes quantidades das células ($0, 10^4, 10^5, 10^6$ células ml^{-1} água), com as bactérias no meio de crescimento, com as bactéria esterilizadas em meio de crescimento e apenas com o meio de crescimento. Os ensaios foram feitos aos 28 dias e cuja cura é dentro de água. Para o cimento-cola são feitos ensaios de resistência à compressão aos 7, 14, 28 e 60 dias. Os provetes foram cortados em pequenos cubos e para cada ensaio são utilizados 25 cubos. Os ensaios de resistência à tração são feitos às argamassas para quatro tipos diferentes de provetes que se diferenciam nas quantidades das células ($10^4, 10^5, 10^6$ células ml^{-1} água) e com as bactérias no meio de crescimento. Os resultados mostraram um aumento da resistência à compressão e à tração, no caso da resistência à compressão os provetes como 10^5 células ml^{-1} água

revelam os melhores resultados, uma diminuição na permeabilidade e a reparação das fissuras é eficaz mas tem como único senão o tempo que a bactéria dura no betão. A bactéria em questão não se encontra em comercialização, logo o desenvolvimento de qualquer estudo com a aplicação desta bactéria não é possível, apesar dos resultados demonstrados terem sido positivos.

A bactéria *B. sphaericus* foi alvo de uma investigação (Tittelboom *et al.*, 2010) em que foi usada para preencher as fissuras que aparecem no betão. É uma bactéria ureolítica que produz carbonato de cálcio (CaCO_3). As fissuras no betão são caracterizadas em duas formas, as fissuras padronizadas e as fissuras realistas. As primeiras são feitas pela introdução de barras de cobre com 0,3 mm de espessura no betão fresco e retiradas passadas 24h e as segundas são provocadas através de forças mecânicas, utilizando uma máquina até ao ponto em que as fissuras são visíveis a olho nu. A sua introdução no betão foi feita através de diferentes formas, no primeiro caso, a bactéria, o meio precursor (cloreto de cálcio) e a solução de ureia foram introduzidos nos provetes através da imersão; no segundo caso apenas se aplica o gel de sílica, através de injeções nas fissuras; no terceiro caso, aplica-se nas fissuras o gel de sílica, através de injeções, e por meio de imersão a bactéria, o mineral precursor (cloreto de cálcio) e a solução de ureia; no quarto caso nas fissuras aplica-se o gel de sílica com a bactéria por injeção e o mineral precursor e a solução de ureia por imersão, neste caso são usados o cloreto de cálcio, o nitrato de cálcio e o acetato de cálcio; no quinto caso é feita uma autoclavagem prévia à bactéria e, depois, introduzidas nas fissuras por injeção, o mineral precursor e a solução de ureia por imersão, usando-se dois diferentes minerais precursores, o cloreto de cálcio e o acetato de cálcio. As fissuras no betão são também tratadas pela forma tradicional, pela injeção de resina epóxi com dois componentes nas fissuras e pela introdução de pasta de cimento com dois componentes com o auxílio de uma espátula. Os métodos escolhidos para seguir este estudo foram o ensaio a permeabilidade da água, medição de ultrassons feitos antes e depois dos tratamentos as fissuras, a visualização da evolução das fissuras e a análise de termogravimétrica. Os melhores resultados foram obtidos quando se utilizou a bactéria ativa protegida com gel de sílica e quando aos meios precursores eram cloreto de cálcio e acetato de cálcio. Quando se utilizou cloreto de cálcio como mineral precursor, os cristais de carbonato de cálcio são romboédricos e encontrou-se apenas aragonite, e quando se utilizou acetato de cálcio os cristais são esféricos e encontrou-se cristais de calcite e vaterite.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

O estudo, mencionado anteriormente, revela que a largura da fissura pode alterar os resultados, pois apenas as fissuras com 0,3 mm se preenchem por completo com cristais de carbonato de cálcio. Quando a bactéria não era protegida com gel de sílica os resultados não eram favoráveis, e quando se utilizou gel de sílica em separado da bactéria ou apenas o gel de sílica nas fissuras, passado algum tempo o gel retraiu-se e surgiram novamente as fissuras.

Em conclusão, a aplicação de dois componentes auto-reparadores, bactéria mais mineral precursor, sendo este fonte de cálcio, no betão, o preenchimento total das fissuras é diretamente influenciado pela largura da mesma.

Desenvolveu-se um estudo sobre a habilidade das bactérias *B. pseudofirmus* e *B. cohnii* repararem fissuras (Jonkers *et al.*, 2010), são aeróbicas e como todas as outras *Bacillus* são alcalifílicas. Neste estudo são diretamente aplicados os esporos bacterianos na pasta do cimento, as amostras com bactéria *B. cohnii* e com o mineral precursor, o lactato de cálcio, são observadas para se verificar se aparecem cristais de carbonato de cálcio aos 7 e 28 dias de cura. Para os ensaios à resistência à compressão utilizou-se *B. pseudofirmus* e quatro diferentes minerais precursores (extrato de levedura, peptona, lactato de cálcio e acetato de cálcio) feitos aos 3, 7 e 28 dias de cura. Fez-se também o método do Número Mais Provável (NMP) para a contagem das bactéria *B. cohnii* aos 9, 22, 42 e 135 dias. Como resultado, no método NMP verificou-se que o número de células viáveis diminuiu ao longo do tempo de cura do betão, na resistência à compressão notou-se que apenas o lactato de cálcio teve valores semelhantes aos obtidos na amostra sem qualquer adição de bactéria ou mineral precursor, logo mostra-se que é o melhor mineral precursor para se aplicar na pasta de cimento. Também se pode concluir que a adição de bactérias na pasta de cimento fez com que os valores da resistência à compressão diminuíssem. O aparecimento de minerais na pasta de cimento com *B. cohnii* e lactato de cálcio verificou-se aos 7 dias, e aos 28 dias já não foi tão notório o seu aparecimento. Poderá concluir-se que para se obterem melhores resultados na aplicação de bactérias na pasta de cimento seria necessário diminuir a quantidade de mineral precursor a introduzir na mistura, mas com esta diminuição apenas as fissuras com largura inferior a 1mm teriam sucesso no seu preenchimento total. Proteger a bactéria com uma matriz seria também aconselhado para aumentar o sucesso do estudo como, por exemplo com sílica de gel ou encapsular a bactéria.

É notório que a bactéria *B. cohnii* tem resultados positivos quando é associada ao lactato de cálcio, mas com outros minerais precursores não se sabe qual será o seu comportamento no que diz respeito ao aparecimento de cristais de carbonato de cálcio, se alcançará resultados positivos ou não. A proposta de estudo desta dissertação é saber se a alteração do mineral precursor influenciará o resultado final no betão auto-reparador, ou seja, se a sua alteração diminui a resposta do betão no preenchimento das fissuras, ou se mantém os resultados positivos alcançados noutros estudos, tal como acontece nos artigos de autoria de Jonkers *et al.*

Vários estudos foram realizados com a bactéria *B. pasteurii* e Siddique (2011) analisou todos os resultados obtidos, com esta bactéria anaeróbia e ureolítica, aplicada em argamassas. Os ensaios de resistência à compressão, da permeabilidade, da absorção de água e do ingresso de cloreto foram os ensaios escolhidos para seguir as amostras de argamassa. Os ensaios de resistência à compressão foram feitos aos 7 e 28 dias, com células vivas e células mortas com diferentes concentrações e sem células. Verificou-se que na utilização de células vivas com baixas concentrações os resultados revelaram um aumento ao longo do período de cura, pode-se concluir então que a concentração de células influencia a resistência à compressão. As amostras tratadas com bactérias *B. pasteurii* revelaram um aumento da resistência contra a carbonatação devido à diminuição de permeabilidade ao gás. Ao comparar amostras tratadas e não tratadas passadas duas semanas, é visível a diferença pois a bactéria e a fonte de cálcio têm um efeito protetor nas amostras. Constatou-se também que a absorção das bactérias e a precipitação de cristais de CaCO_3 faz aumentar o peso das amostras.

A *B. alkalinitrilicus* (Wiktor, 2011) é uma bactéria aeróbica, utilizada num estudo inovador em que se utiliza a argila expandida para se imobilizar os dois componentes bioquímicos que desempenham a função de agentes de auto-cura, que tem como finalidade preencher as fissuras no betão. O meio precursor utilizado é o lactato de cálcio, as bactérias são introduzidas na argamassa sob forma de esporos bacterianos. Na composição da argamassa usou-se argila expandida (1-4 mm) que desempenha a função de reservatório para a bactéria e o mineral precursor, em vez de se adicionar diretamente estes componentes na amassadura. Assim protege-se os componentes do contacto direto com a argamassa e os resultados positivos são alcançados num maior período de tempo. O modo de impregnação utilizado consiste na utilização da técnica do vácuo para impregnar as argilas expandidas com o lactato de cálcio. Uma vez imersos no lactato de cálcio as argilas expandidas foram para a estufa a 37°C

durante cinco dias, passado este tempo, as mesmas argilas são impregnadas com os esporos bacterianos e, de seguida, foram para estufa a 37°C durante cinco dias. Os provetes tinham incorporados barras de aço zincado que, posteriormente, serviram para serem aplicadas forças de tração e assim surgirem as fissuras. As amostras com as fissuras são mantidas em recipientes com água da torneira e apenas são retiradas semanalmente para observação das mesmas. Os métodos utilizados para acompanhar as amostras são a inspeção fotográfica, microscopia eletrônica de varredura ambiental (ESEM), energia dispersiva de Raios-X (EDAX) e espectroscopia no infravermelho com transformada de Fourier (FT-IR), então verificou-se a existência de cristais de carbonato de cálcio nas amostras com bactéria, foi possível identificar calcite e aragonite. Nas argamassas em que se aplica a bactéria, os resultados são positivos, ao fim de 100 dias as fissuras preencheram na totalidade mas, no betão sem bactéria, as fissuras não se preencheram, pois o depósito de cristais na fissura é insignificante.

Este método de aplicação da bactéria e do mineral precursor, mencionado no artigo anterior, revelou-se bastante promissor, pois a capacidade da bactéria se manter na argamassa é maior do que em estudos já revelados e é uma aplicação durável, estável e económica, três fatores essenciais para no futuro este método ser aplicado em obra.

É através destes artigos de Wiktor que se decide introduzir a bactéria *B. cohnii* na forma de esporos na argila expandida pois os resultados obtidos foram positivos no preenchimento das fissuras e revela atividade bacteriana até aos 100 dias de idade de cura e, assim ao alterar-se a espécie da bactéria de *B. alkalinitrilicus* para *B. cohnii*, irá saber-se qual o seu comportamento.

No artigo de Tekin *et al.* (2012) as características da bactéria *B. cohnii* são enunciadas, o seu autor dá a conhecer que a bactéria é aeróbia e alcalifílica como as restantes *Bacillus*, ou seja, resistente a meios com pH ácidos. Esta bactéria cresce em temperaturas entre 25-55°C, sendo a temperatura ótima de 37°C, e em pH entre 9-12, mas o ótimo é pH 10. Estas bactérias têm as condições ideais para sobreviverem no betão e assim quando aplicadas no mesmo com uma fonte de cálcio, que têm como função ajudar a preencher as fissuras e transforma, assim, o betão num betão auto-reparador.

Estudou-se a bactéria *B. sphaericus* (Wang *et al.*, 2012), uma bactéria ureolítica, com a utilização de gel de sílica ou espuma de poliuretano para proteger a bactéria, e que tem como objetivo preencher as fissuras existentes nas argamassas através da precipitação de carbonato de cálcio. Foram feitos dois tipos de provetes uns em forma de prisma e outros em forma de cilindro. O método de introdução dos componentes foi através de tubos de vidro introduzidos com 10 mm de argamassa da base dos provetes. Para os prismas foram feitos cinco diferentes tipos de provetes repetidos três vezes. O primeiro tipo de provete não tem qualquer tubo ou bactéria; o segundo tipo de provete tem dois tubos de vidro, um com gel de sílica com as bactérias mortas e o outro com ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado; o terceiro tipo de provete também tem dois tubos de vidro, um com gel de sílica mais bactérias vivas e o outro com ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado; o quarto tipo de provete tem três tubos de vidro, o primeiro tubo com pré-polímero de poliuretano, o segundo tubo com um acelerador mais ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado e o terceiro tubo com bactérias mortas; o quinto tipo de provetes é idêntico ao quarto tipo de provete apenas o terceiro tubo contém bactérias vivas, em vez de mortas. Para os provetes em forma de cilindro foram feitos cinco tipos diferentes e repetidos seis vezes. O primeiro tipo de provete cilíndrico não contém qualquer tubo ou bactéria; o segundo tipo de provete cilíndrico tem dois tubos, o primeiro tubo contém gel de sílica e o segundo ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado; o terceiro tipo de provete cilíndrico tem dois tubos, um com gel de sílica mais bactérias vivas e o outro com ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado; o quarto tipo de provete cilíndrico tem três tubos, o primeiro tubo com pré-polímero de poliuretano, o segundo tubo com um acelerador mais ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado e o último tubo com água; e o quinto tipo de provete cilíndrico tem três tubos, o primeiro tubo com pré-polímero de poliuretano, o segundo tubo com um acelerador mais ureia e nitrato de cálcio tetrahidratado e o terceiro tubo com bactérias vivas. Os provetes em forma de prisma servem para testar as forças aplicadas e os provetes em forma de cilindro servem para medir a permeabilidade. As fissuras impostas nos prismas foram feitas através de ensaios à flexão com o tamanho de 0,35 mm e para os cilindros foram feitas através dos ensaio de fracionamento com o tamanho de 0,25 mm. Obtiveram-se melhores resultados no surgimento de cristais de carbonato de cálcio quando se utilizou as bactérias no gel de sílica, pois neste caso os cristais de CaCO_3 são cubos regulares e mais homogêneos e em maior quantidade percentual do que na espuma de poliuretano, que precipita blocos irregulares e menos homogêneos e em menor quantidade percentual mas, apesar destes resultados, a espuma de poliuretano tem maior potencial para ser utilizado como transporte e

proteção para a bactéria, devido a sua maior capacidade de recuperar as fissuras e ao menor coeficiente de permeabilidade.

Um facto importante, no estudo acima referido, é a condicionante que os tubos provocam na precipitação de cristais de CaCO_3 pois, devido ao baixo volume e números de tubos introduzidos no betão, a precipitação pode ser menor do que quando se utilizou o método de introdução dos componentes nos provetes.

No artigo de Kim (2013) são estudadas as características dos cristais de carbonato de cálcio formados no betão através das bactérias *Sporosarcina pasteurii* e *B. sphaericus*, ambas bactérias aeróbias. Essas bactérias são aplicadas em betão normal e betão leve, como meio precursor utilizou-se o acetato de cálcio e, neste caso, não foram induzidas fissuras nos provetes. Os métodos utilizados para análise deste estudo foram microscopia eletrônica de varredura (SEM), energia espectroscopia dispersiva (EDS), a análise de difração de Raios-X (DRX), o ensaio de absorção de água por capilaridade e fotografias digitais. Os dois componentes são aplicados na sua superfície dos provetes, de seguida são cortados e guardados por 14 dias, passados esses 14 dias removeu-se os dois componentes e foram novamente guardados por 14 dias. Existem quatro tipos diferentes de meios aplicados, o primeiro meio é apenas constituído por água, o segundo meio não contém bactérias, o terceiro meio tem a bactéria *Sporosarcina pasteurii* e o último meio a bactéria *B. sphaericus*. Os resultados em termos de precipitação de carbonato de cálcio revelam-se melhores com a utilização da bactéria *B. sphaericus* porque os seus cristais tinham forma radial e cobriam a superfície de aplicação de forma densa. Os cristais de carbonato de cálcio encontrados foram a calcite e a vaterite com ambas as bactérias (*Sporosarcina pasteurii* e *B. sphaericus*), quer no betão leve, quer no betão normal. Quando se utiliza a bactéria *Sporosarcina pasteurii* no betão normal, os cristais são pequenos e empilhados uns sobre os outros e com ligações entre si muito fracas, no betão leve os cristais são maiores, resultantes da união de pequenos cristais ligados entre si em forma de teia. Esta diferença pode dever-se ao facto do betão leve ter agregados leves e a sua composição interferir no surgimento dos cristais de carbonato de cálcio. As desvantagens deste estudo onde se aplica apenas o meio, com bactéria e mineral precursor, na superfície das amostras são que a precipitação de cristais será na sua superfície e não no interior das amostras e são facilmente removidos pela água ou à mão.

A bactéria *B. subtilis* (Rao *et al.*, 2013) é ureolítica e aeróbia, esta bactéria é aplicada diretamente no betão para ajudar a preencher as fissuras e como meio precursor utilizou-se a peptona. Os métodos normalmente utilizados para seguir as amostras são microscópio eletrónico de varrimento, ensaio de permeabilidade da água, medições de transmissão dos ultrassons e exame visual. Como a aplicação desta técnica resultou no aparecimento de cristais de carbonato de cálcio, após 28 dias já era evidente cristais de carbonato de cálcio nos provetes, e a resistência à compressão não apresentou diminuição dos seus valores devido a introdução da bactéria. Em resumo, com a aplicação de bactérias nas amostras de betão a resistência e durabilidade das propriedades do betão aumentaram, mas a presença de diferentes iões no betão altera a forma dos cristais de calcite. Na presença de iões de cloro, os cristais têm forma romboédrica e na presença de iões de acetato, os cristais têm uma forma esférica.

Em 2015 a bactéria *B. cohnii* é utilizada num estudo integrado na dissertação de mestrado da Universidade de Évora de autoria de Martins (2015), a presente dissertação dá continuidade a este estudo já desenvolvido. Em Martins (2015) a bactéria é utilizada para uso da reparação de fissuras no betão, a bactéria *B. cohnii* é introduzida sob a forma de esporos bacterianos e o mineral precursor utilizado é o lactato de cálcio. Estes dois componentes são impregnados em argilas expandidas por métodos diferentes. No primeiro caso, os provetes não têm qualquer adição de componentes biológicos ou químicos, no segundo caso, os provetes não contêm qualquer adição de componentes biológicos ou químicos os quais são sujeitos a uma cura húmida padronizada, no terceiro caso, os provetes têm apenas esporos bacterianos introduzidos na água da amassadura, no quarto caso os provetes têm apenas o mineral precursor, lactato de cálcio, introduzido na água da amassadura. No quinto caso, em diferentes argilas expandidas impregnaram-se os componentes biológicos e químicos durante 24h mas antes as argilas expandidas foram secados numa estufa durante 5 dias a 37°C, e no sexto caso os componentes biológicos e químicos são inseridos na amassadura nas mesmas argilas expandidas, primeiro secaram-se as argilas expandidas a 37°C durante 5 dias e, posteriormente, foram embebidos no mineral precursor, passadas 24h foram novamente para a estufa com as mesmas condições, passado o tempo foram retiradas e deitaram-se sobre as argilas expandidas os esporos bacterianos e esperou-se 24h e prosseguiu-se a amassadura.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Os métodos aplicados em Martins (2015) são o ensaio de resistência à compressão, inspeção visual (estereomicroscópio), microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X (SEM/EDS), microscópio estéreo zoom e difração de Raios-X (DRX), número mais provável (MPN) e alteração dos padrões de cura. As fissuras são provocadas através do ensaio à resistência à compressão, onde é aplicada uma força e o ensaio termina quando as fissuras são visíveis a olho nu. No ensaio de resistência à compressão é demonstrado que a introdução de esporos bactérias na água da amassadura do betão ou de lactato de cálcio na água de amassadura provoca uma diminuição da resistência e, com o passar do tempo, os valores da resistência tendem a estabilizar. Na inspeção visual verificou-se que no betão sem adição de componentes biológicos ou químicos, no betão com adição do lactato de cálcio na água da amassadura e no betão com adição da bactéria na água da amassadura não é evidente nenhuma mineralização de cristais, mas no betão com a bactéria e do lactato de cálcio inserido em diferentes argilas expandidas existe mineralização de cristais de carbonato de cálcio, mas não o suficiente para selar as fissuras e, por fim, no caso em que o betão tem nas mesmas argilas expandidas a bactéria e o lactato de cálcio é possível verificar também existe a mineralização de cristais de carbonato de cálcio, mas em maiores quantidade do que a anterior e as fissuras selam quando têm 0,34 mm, mas não de uma forma homogénea. No betão sem adição de bactérias ou mineral precursor através do SEM/EDS foi possível observar calcite, silicatos de cálcio hidratados e hidróxido de cálcio, com a adição do lactato de cálcio no betão observou-se cristais de calcite, hidróxido de cálcio, silicato de cálcio hidratado e vaterite, com adição de bactéria no betão foram encontrados cristais de aragonite, hidróxido de cálcio e calcite, com a aplicação do lactato de cálcio e bactéria em diferentes argilas expandidas no betão foram encontrados cristais de calcite, hidróxido de cálcio, silicato de cálcio hidratados e etringite, e com a aplicação da bactéria e lactato de cálcio nas mesmas argilas expandidas no betão, observou-se cristais de calcite, aragonite, hidróxido de cálcio e silicato de cálcio hidratado. No ensaio do NMP surgiram algumas dificuldades e o resultado não foi conclusivo, no futuro, na realização deste ensaio há que ter em consideração este resultados e tentar melhorar o ensaio para este tipo de amostra em questão.

O melhor método utilizado no estudo de Martins (2015) foi quando se aplicou a bactéria e o mineral precursor nas mesmas argilas expandidas e o pior método utilizado foi quando se aplicou o mineral precursor na água da amassadura. Este estudo revelou-se bastante interessante em termos de resultados obtidos e métodos

utilizados ao longo do tempo, daí dar-se seguimento a este estudo nesta dissertação e seguiram-se as mesmas práticas, pois é possível seguir todos os métodos descritos por Martins (2015). Sendo esta solução de introdução dos componentes no betão uma solução mais prática e económica para uma futura aplicação em obra, esse é, no futuro, o sucesso desta aplicação, passar de estudos em provetes para aplicações em obra.

Todos os artigos acima citados são coerentes ao referirem que o sucesso dos betões auto-reparadores depende de dois componentes introduzidos no betão, que são a bactéria do género *Bacillus* e o mineral precursor. O género *Bacillus* é o mais utilizado no estudo dos betões auto-reparadores, pelas suas características se adaptarem bem às características do betão, como é o caso do pH ácido, e sua capacidade de formar esporos bacterianos. Enquanto ao mineral precursor é importante que seja uma fonte de cálcio para que as reações químicas se desenvolvam e assim apareçam os cristais de carbonato de cálcio. Um fator importante nos betões auto-reparadores é o modo de introdução dos componentes, para os resultados serem os melhores, é necessário proteger de alguma forma os componentes, o gel de sílica, a espuma de poliuretano e a introdução dos componente em argilas expandidas são alguns dos exemplos com sucesso.

Assim, é proposta uma investigação que pretende desenvolver uma variante dos estudos citados acima, de modo a comprovar a sua viabilidade no betão onde se irá aplicar a bactéria *B. cohnii* e diferentes minerais precursores. Ambiciona-se inovar em relação aos minerais precursores usados, estudando assim novos minerais nunca antes usados nos betões auto-reparadores, como é o caso do silicato de cálcio. Pretende-se comparar dois tipos diferentes de minerais precursores, como o acetato de cálcio e o silicato de cálcio e concluir qual deles apresenta melhores resultados no preenchimento das microfissuras existentes no betão, utilizando sempre as mesma técnicas para os dois tipos de minerais precursores .

4 Métodos e Materiais

Para desenvolver este estudo foi fundamental definir os métodos utilizados e os materiais aplicados.

Foram realizados ensaios aos agregados, preparadas as bactérias e meios precursores, foi definida a forma de inserção das bactérias no betão, foram preparados betões, foram induzidas as fissuras nos elementos de betão e foi acompanhada a evolução do fecho das fissuras no betão.

4.1 Materiais

Para o fabrico das amostras de betão foi utilizado cimento, argila expandida, areias e água.

O cimento utilizado foi o Cimento Portland, CEM I 42,5R, o qual está de acordo com a NP EN 197-1. Este cimento foi escolhido porque não contém adições. Da Tabela 1 a 3 são indicadas as suas características químicas, mecânicas e físicas.

Tabela 1 - Características químicas.

Propriedades	Norma do Ensaio	Valor Especifico
Perda ao fogo	NP EN 196-2	$\leq 5,0 \%$,
Resíduo insolúvel	NP EN 196-2	$\leq 5,0 \%$,
Teor de sulfatos	NP EN 196-2	$\leq 4,0 \%$
Teor de cloretos	NP EN 196-21	$\leq 0,10\%$,

Tabela 2 - Características mecânicas.

Resistência à Compressão (MPa)			
Resistência aos primeiros dias		Resistência de referência	NP EN 196-1
2 dias	7 dias	28 dias	
≥ 20	-	$\geq 42,5 \text{ MPa}$ e $\leq 62,5 \text{ MPa}$	

Tabela 3 - Características físicas.

Propriedades	Norma do Ensaio	Valor Especifico
Princípio de Presa	NP EN 196-3	≥ 60 minutos
Expansibilidade	NP EN 196-3	≤ 10 minutos

A argila expandida utilizada apresenta a curva granulométrica indicada na Fig. 1, ensaio realizado no Laboratório de Geociências da Universidade de Évora.

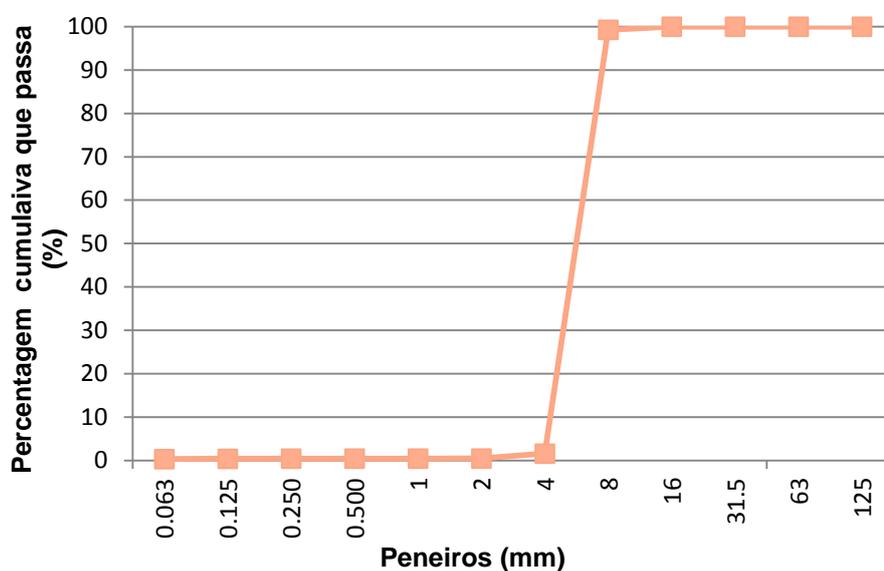


Figura 1 - Curva granulométrica.

Apresenta-se na forma arredondada e está de acordo com a NP EN 13055-1:2005 e NP EN 13055-1:2010, como indicado na Tabela 4.

Tabela 4 - Características químicas, mecânicas e físicas da argila expandida.

Propriedades	Norma do Ensaio	Método Valor Especifico de Ensaio	Referência
Classe granulométrica	EN 13055-1	4,0 - 8,0 mm	argex,2014
Baridade	EN 13055-1	358 kg/m ³	argex,2014

(Continuação)			
Propriedades	Norma do Ensaio	Método Valor Especifico de Ensaio	Referência
Resistência ao esmagamento	EN 13055-1	4,8 MPa	argex,2014
Partículas esmagadas	EN 13055-1	Não aplicável	argex,2014
Cloretos	EN 13055-1	< 0,004	argex,2014
Sulfatos solúveis em ácidos	EN 13055-1	< 0,05	argex,2014
Enxofre total	EN 13055-1	< 0,04	argex,2014
Limpeza	EN 13055-1	Mais claro	argex,2014
Condutibilidade térmica	EN 12667	0,11 W/m.°C	argex,2014
Resistência ao fogo	2000/605/EC	Classe A1	argex,2014
Absorção de água	NP EN 1097-6	25.6%	Martins,2015
Teor de humidade	NP EN1097-5	1,69%	Laboratório de Geociências - Universidade de Évora
% de finos	NP EN 933-1	0,56%	Laboratório de Geociências - Universidade de Évora

Optou-se pela argila expandida pela sua grande capacidade de absorção, já que é necessário que as mesmas sejam capazes de absorver as bactérias e o meio precursor. No artigo de Bogas (2012) foram analisadas três marcas diferentes de argila expandida, a que obteve melhores resultados em termos de absorção foi a que escolhemos neste estudo.

Para o fabrico do betão utilizou-se areia fina e areia grossa, cujas características são as indicadas nas Tabela 5, e cuja curva granulométrica é indicada na Fig. 2.

Tabela 5 - Características químicas, mecânicas e físicas da areia fina.

Propriedades		Norma do Ensaio	Método Valor Especifico de Ensaio
Dimensão		EN12620:2002+A1:2008	0/1
Granulometria		EN12620:2002+A1:2008	G _F 85
Teor de finos		EN12620:2002+A1:2008	f ₃
Massa Volúmica	Densidade aparente da partícula	EN12620:2002+A1:2008	2,3x10 ⁻⁶ - 2,9x10 ⁻⁶ kg/m ³
	Densidade da partícula (base seca)	EN12620:2002+A1:2008	2,3x10 ⁻⁶ - 2,9x10 ⁻⁶ kg/m ³
	Densidade da partícula saturada e superfície seca	EN12620:2002+A1:2008	2,3x10 ⁻⁶ - 2,9x10 ⁻⁶ kg/m ³
Absorção de água		NP EN 1097-6	0,5%
Teor de enxofre total		EN12620:2002+A1:2008	< 1 %
Sais de cloreto solúveis em água		EN12620:2002+A1:2008	< 0,001%
Solubilidade em água		EN13139:2002	< 1%
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência do betão	Diminuição da resistência à compressão	EN12620:2002+A1:2008	< 20%
	Tempo de presa	EN12620:2002+A1:2008	< 120 min.
Teor de Húmus		EN12620:2002+A1:2008	Mais claro
Contaminantes orgânicos leves		EN12620:2002+A1:2008	< 0,1%

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

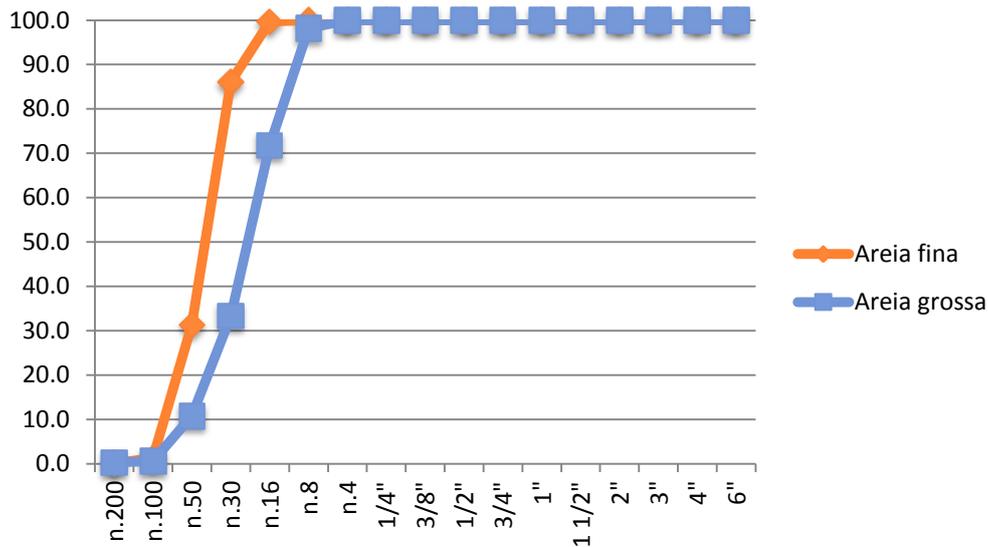


Figura 2- Curva granulométrica (Martins, 2015).

A água utilizada para o fabrico do betão é água potável da torneira da Universidade de Évora - Pólo da Mitra, que está conforme a norma NP EN 1008.

A bactéria escolhida é da espécie *B. cohnii*, do género *Bacillus* e a família *Bacillaceae*, são bastonetes que podem esporular assim que as condições no meio ambiente não sejam as mais favoráveis para a sua sobrevivência, neste caso o elevado pH do betão é um fator desfavorável para a sobrevivência da bactéria (Gomes, 2013). Os esporos bacterianos são mais resistentes às condições adversas do meio ambiente do que as células vegetativas, no laboratório a esporulação pode ser induzida através da utilização de meios de cultura específicos. A estirpe bacteriana *B. cohnii* DSMZ 6307 foi comprada na forma liofilizada, da coleção alemã DSMZ.

Estas bactérias têm como características principais serem Gram-positiva, alcalifílica, aeróbia, formar esporos bacterianos ovais e conter ácido aspártico na parede celular. Normalmente tem de largura 0,6 a 0,7 μm , tem uma cultura overnight, necessita de um meio cultura específico para crescer, nomeadamente Agar nutritivo, após a sua incubação a 45 °C durante 2 dias o diâmetro das suas colónias é de 1 a 2 mm e a sua cor característica é creme, como se pode ver na Fig. 3. A temperatura mínima para crescer é de 10°C e a temperatura máxima de crescimento é 47°C (Spanka, 1993).



Figura 3 - Bactéria *B. cohnii* no meio de crescimento na placa de Petri.

Como minerais precursores foram escolhidos o acetato de cálcio e o silicato de cálcio. O silicato de cálcio (Aldrich Chemistry) é um sal fonte de silício e cálcio tem como fórmula química CaSiO_3 , sua massa molecular de 2,9 g/ml e é um pó branco, praticamente insolúvel em água. O acetato de cálcio (Chem-Lab NV) é um sal de cálcio a partir do ácido acético cuja formula química é $(\text{CH}_3\text{COO})_3\text{Ca}\cdot\text{H}_2\text{O}$, é um pó branco, solúvel em água, com massa molecular 158,17 g/mol e densidade de 1,5 g/cm^3 . Foram escolhidos estes pelo facto de serem uma fonte de cálcio de que a bactéria necessita para produzir cristais de carbonato de cálcio. E o extrato de levedura é utilizado nos dois meios precursores estudados como fonte nutritiva composta, fornecendo às bactérias aminoácidos, vitaminas e hidratos de carbono. Trata-se por mineral precursor quando se refere apenas do acetato de cálcio e/ou silicato de cálcio e trata-se por meio precursor a solução que consiste na adição do mineral precursor com o extrato de levedura.

4.2 Métodos

A metodologia consistiu na preparação do betão, na preparação das bactérias *B. cohnii* e dos meios precursores, com acetato de cálcio e silicato de cálcio, sendo, ao mesmo tempo, definida a melhor forma de introdução da bactéria no betão e, posteriormente, o fabrico do betão e indução das fissuras, sendo definida através da dissertação de Martins, 2015. Posteriormente, foi efetuada a observação e acompanhamento das fissuras e foi realizado um conjunto de ensaios, mais propriamente ensaios de resistência à compressão, acompanhamento visual através do microscópio estéreo zoom, microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X (SEM/EDS), difração de Raios-X (DRX) e do

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

ensaio número mais provável (NMP), de maneira a avaliar a efetividade das soluções adotadas.

Foi necessário, numa fase inicial, realizar alguns ensaios a argila expandida, nomeadamente, o ensaio de análise granulométrica (NP EN 933-1) e o ensaio de determinação do teor de humidade por secagem em estufa (NP EN 1097-5).

O ensaio de análise granulométrica (NP EN 933-1) feito a argila expandida resume-se a classificar a granulometria do agregado leve, utilizando vários peneiros com aberturas diferentes, de acordo com a norma EN 933-2, numa ordem decrescente. O ensaio foi realizado no Laboratório de Geociências no colégio Luís António Verney da Universidade de Évora. No ensaio feito optou-se pela peneiração a seco porque com este tipo de material não há probabilidade dos agregados se aglomerarem em grãos maiores, logo não há necessidade de lavar o material antes de peneirar. Optou-se por uma peneiração mecânica, Fig. 4, em vez de manual, num movimento contínuo, durante 15 minutos. A curva granulométrica do material é apresentada na Fig. 1.



Figura 4 - Máquina de peneiração com os peneiros utilizados.

O ensaio de determinação do teor de humidade por secagem em estufa (NP EN 1097-5) da argila expandida consiste na secagem em estufa do agregado, Fig. 5, essa secagem dá a grandeza da quantidade total de água livre que o provete contém, quantidade essa que se encontra a superfície ou no interior dos agregados. Neste ensaio como se trata de um agregado leve tem que se levar em consideração o Anexo A da norma. Este ensaio foi realizado no Laboratório de Geociências, no colégio Luís António Verney da Universidade de Évora. A argila expandida tem de máxima dimensão do agregado (D) de 8 mm, a preparação do provete tendo em consideração o Anexo A, no ponto A.3, o agregado tem $D \leq 8\text{mm}$ logo toma-se para provete o

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

volume mínimo de 1 L. O resultado obtido no ensaio de determinação do teor de humidade por secagem em estufa encontra-se na Tabela 4.



Figura 5 - Provete de argila expandida na estufa.

Para a areia fina e grossa foi feito o ensaio de determinação do teor de humidade por secagem em estufa (NP EN 1097-5), realizou-se no Laboratório de Geociências, no colégio Luís António Verney da Universidade de Évora. Foram pesadas as amostras de areia fina e areia grossa, estas amostras foram espalhadas em dois tabuleiros e metidos na estufa a 105°C, antes de cada pesagem as amostras têm que passar pelo dessecador de vidro até arrefecerem por completo, como mostra a Fig. 6, e posteriormente são pesadas. A areia fina tem uma percentagem de teor de humidade de 0,22 % e a areia grossa tem 0,11 % de humidade. A areia fina e grossa têm como valor de absorção de água 0,5%.



Figura 6 - Amostra de areia no dessecador de vidro.

A preparação da bactéria é uma fase essencial e muito importante para que seja alcançado um bom resultado final, tendo esta sido feita no Laboratório de Microbiologia do Solo no Pólo da Mitra da Universidade de Évora. A melhor forma de introduzir a bactéria no betão é sob a forma de esporos bacterianos pois os mesmos têm a capacidade de sobreviver em meios mais agressivos e desfavoráveis .

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

A esporulação da bactéria *B. cohnii* é feita através da introdução da bactéria em meios de cultura com nutrientes que favorecem o crescimento das mesmas e proporcionam a sua esporulação. Em laboratório foram feitos vários meios necessários para o desenvolvimento da mesma, como o agar nutritivo, a solução de sesquicarbonato de sódio para adicionar ao caldo ou ao agar nutritivo e preparar um meio alcalino e o meio de esporulação, bem como a solução de elementos vestigiais SL12-B e meios de esporulação, descritos a seguir (Martins, 2015).

Nas Fig. 7 e 8 pode-se observar bactérias *B. cohnii* introduzidas no meio alcalino sólido (meio este referido mais à frente), na Fig. 7 pode-se observar ainda as suas dimensões de 1,72 μm de comprimento e 0,81 μm de largura.

As Fig. 9 e 10 mostram os esporos bacterianos da bactéria *B. cohnii* no meio de esporulação com adição de agar, para que o meio fique sólido, as suas dimensões rodam os 1,21 μm a 1,36 μm de comprimento e 0,79 μm de largura.

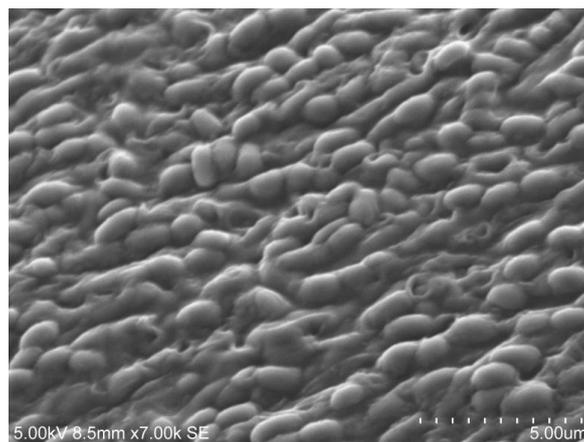


Figura 7 - Imagem do SEM/EDS da bactéria *B. cohnii*.

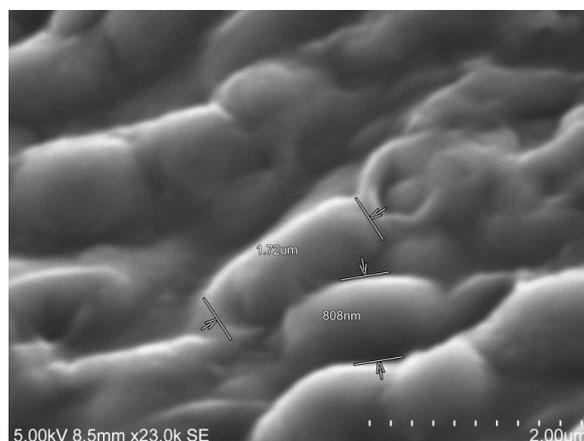


Figura 8 - Imagem do SEM/EDS da bactéria *B. cohnii*, com dimensões.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

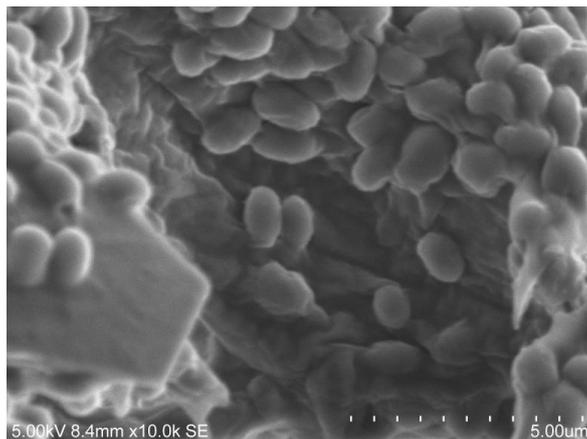


Figura 9 - Imagem do SEM/EDS dos esporos bacterianos do *B. cohnii*.

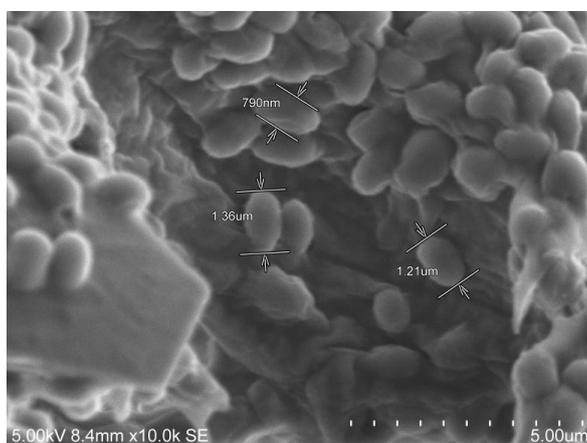


Figura 10 - Imagem do SEM/EDS dos esporos bacterianos do *B. cohnii*, com dimensões.

○ Agar Nutritivo (Martins, 2015)

Tabela 6 - Reagentes e quantidades do agar nutritivo.

Reagentes	Quantidade
Peptona	5 g
Extrato de carne	3 g
Agar	7,5 g
Água destilada	1000 ml

Cada reagente foi pesado separadamente, Tabela 6, e misturou-se o extrato de carne com a peptona na água destilada num gobelet e posteriormente acertado o pH para 7, como mostra a Fig. 11.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 11 - Aparelho de medição do pH na solução do agar nutritivo.

A 500 ml da solução misturou-se agar, Fig. 12, e nos outros 500 ml não se adicionou nenhum reagente, ambas as soluções foram para o autoclave durante 20 minutos a 121°C.



Figura 12 - Solução com 500 ml com agar.

- Solução de sesquicarbonato de sódio (Martins, 2015)

Tabela 7 - Reagentes e quantidade para o meio.

Reagentes	Quantidade
NaHCO_3	4,2 g
Na_2CO_3 anidro	5,3 g
Água destilada	100 ml

Foram pesados os reagentes, Tabela 7, em recipientes distintos, misturou-se cada reagente separadamente em água destilada de modo a que as soluções não precipitem, como as Fig. 13 e 14 indicam.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 13 - Recipiente com NaHCO_3 e água destilada.



Figura 14 - Recipiente com Na_2CO_3 anidro com água destilada.

Posteriormente juntou-se as duas soluções e acertou-se a quantidade para os 100 ml de água destilada e a solução final foi ao autoclave durante 20 minutos a 121°C .

Após os dois meios terem saído do autoclave foram misturados, na proporção de 1 ml de solução de sesquicarbonato de sódio para 10 ml de agar nutritivo, resultando o meio alcalino sólido e líquido.

A 100 ml de agar nutritivo juntou-se 10 ml de solução de sesquicarbonato de sódio e deitaram-se 4 placas de Petri obtendo assim o meio alcalino sólido, o meio alcalino líquido preparou-se com 135 ml de caldo nutritivo, a 15 ml de meio sesquicarbonato de sódio. Todas estas soluções foram misturadas na câmara de fluxo e guardadas no frigorífico até a sua utilização.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

- Solução de elementos vestigiais SL12-B (Martins, 2015)

Tabela 8 - Reagentes e quantidades da solução.

Reagentes	Quantidade
EDTA - Na ₂ .2H ₂ O	1,5 g
FeSO ₄ .7H ₂ O	0,55 g
H ₃ BO ₃	0,15 g
CoCl ₂ .6H ₂ O	0,095 g
MnCl ₂ .4H ₂ O	0,025 g
ZnCl ₂	0,021 g
NiCl ₂ .6H ₂ O	0,012 g
NaMoO ₄ .2H ₂ O	0,009 g
CuCl ₂ .2H ₂ O	0,001 g
Água destilada	500 ml

Pesou-se cada reagente separadamente da Tabela 8, começou-se por diluir EDTA-Na₂.2H₂O em água destilada, Fig. 16, e de seguida foram misturados todos os outros reagentes e no fim acertou-se o pH para 6, como a Fig. 17 mostra.



Figura 15 - Pesagem do reagente EDTA- Na₂.2H₂O na balança da marca OHAUS analytical plus.



Figura 16 - Diluição do EDTA- Na₂.2H₂O na água destilada e os restantes reagentes pesados.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 17 - Medição do pH da solução final.

Por fim a solução final foi ao autoclave durante 20 minutos a 121°C.

○ Meio de esporulação (Martins, 2015)

Tabela 9 - Reagentes e quantidades do meio.

Reagentes	Quantidade
NH_4Cl	0,2 g
KH_2PO_4	0,02 g
CaCl_2	0,225 g
KCl	0,2 g
$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	0,2 g
$\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,01 g
SL12- B	1 ml
Extrato de levedura	0,1 g
Citrato trissódico	5,16 g
NaHCO_3	4,2 g
Na_2CO_3	5,3 g
Água destilada	1000 ml

Pesou-se os reagentes na Tabela 9, exceto o SL12-B, começou-se por diluir o NaHCO_3 , Na_2CO_3 e Citrato trissódico em 200 ml de água destilada e os restantes reagentes, exceto SL12-B, em 800 ml de água destilada e ambas as soluções foram ao autoclave durante 20 minutos a 121°C. Depois das soluções terem ido ao autoclave, juntaram-se as duas com 1 ml de SL12-B na câmara de fluxo, como mostra a Fig. 18.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 18 - Fracos com as soluções do meio de esporulação e SL12-B.

Após terem sido feitos os meios de cultura, segue-se a preparação da bactéria. Num placa de Petri com meio de cultura nutriente agar risca-se a bactéria com o auxílio de uma ansa estéril na câmara de fluxo, Fig. 19, para que ela crescesse e se multiplicasse, essa placa ficou num estufa durante 24 h à temperatura de 30°C.

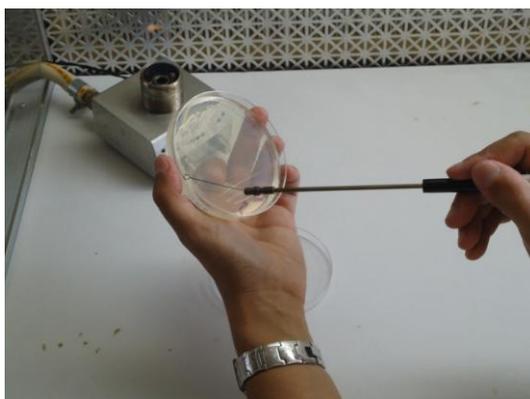


Figura 19 - Bactéria *B. cohnii* a ser riscada na placa de Petri.

Após 24 h a bactéria *B. cohnii* estava crescida, Fig. 20, e sem contaminações de outras espécies de bactérias, foi então introduzida no meio alcalino líquido, Fig. 21, na câmara de fluxo e ficou no agitador a 30°C durante 24 h. Foi também deixado um balão de Erlenmeyer com alguma quantidade de meio alcalino líquido para controlo, para que se verifique que passadas as 24 h não nasceu numa espécie de bactéria no balão de Erlenmeyer.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

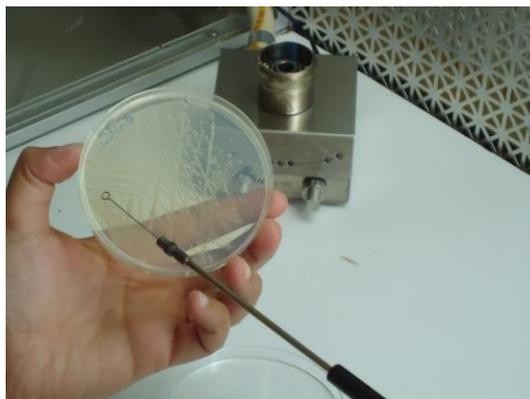


Figura 20 - Bactéria crescida na placa de Petri.



Figura 21 - Introdução da bactéria no meio alcalino líquido.

Passadas as 24 h passou-se 2 ml de meio alcalino líquido com bactéria para 200 ml de meio de esporulação, Fig. 22, e foi novamente ao agitador a 30°C durante 24 h, deixou-se novamente um balão de Erlenmeyer apenas com meio de esporulação para posterior controlo.



Figura 22 - Introdução do meio alcalino líquido com bactéria no meio de esporulação.

Decorridas as 24 h, no meio de esporulação encontram-se crescidos os esporos bacterianos e no balão de Erlenmeyer que serve de controlo não existe qualquer contaminação, são estes os resultados desejados. De seguida faz-se uma contagem

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

ao microscópio, da marca Olympus, com o auxílio de uma câmara de contagem, Fig. 23, de marca Marienfeld Germany com profundidade de 0,01 mm e quadriculado de 0,025 mm², na qual foi deitado algum meio de esporulação para verificar se continha ou não os esporos necessários para o fabrico do betão.



Figura 23 - Introdução do meio de esporulação numa lâmina de contagem.

Segundo Jonkers *et al.* (2010) é necessário $1-10 \times 10^8$ de esporos bacterianos por cm³ de betão.

Após a contagem da câmara de contagem aplicou-se a seguinte fórmula:

n° de células médio = n° de células nos quadrados pequenos $\times 2,5 \times 10^6$ (esporos/ml)

A Tabela 10 indica todas as concentrações obtidas ao longo das diluições realizadas ao longo do processo.

Tabela 10 - Concentrações dos esporos bacterianos.

	Meio de esporulação	Água para 4 amassaduras (BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2)	Cada provete
Quantidades	200 ml	7,3 L	15x15x15 cm ³
Concentrações	$1,75 \times 10^8$ esporos/ml	$4,8 \times 10^6$ esporos/ml	4×10^8 esporos

Verificou-se que estes valores dos esporos bacterianos se encontram dentro dos valores de referência segundo Jonkers *et al.* (2010) portanto procedeu-se a centrifugação do meio de esporulação para separar os esporos do meio, a 10000 rpm durante 10 minutos. Após a centrifugação diluiu-se os esporos bacterianos em 500 ml de água da torneira e foram transportados até ao laboratório para a sua posterior diluição até perfazer a quantidade de água pretendida para as amassaduras.

Existem dois métodos diferentes de introdução dos minerais precursores (acetato e silicato de cálcio) no betão, o primeiro método é apenas a introdução dos minerais

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

precursor na água da amassadura sem qualquer adição da bactéria e o segundo método é a introdução do meio precursor nas argilas expandidas, podendo nas mesmas argilas se introduzir o mineral precursor com a bactéria ou introduzir o mineral precursor e a bactéria em diferentes argilas expandidas.

Para a impregnação das argilas expandidas com o mineral precursor é necessário secá-las na estufa durante cinco dias a 37°C, de seguida será vertido o mineral precursor as argilas expandidas e irá ficar ao meio ambiente durante 24 h posteriormente irá novamente para a estufa durante cinco dias a 37°C, após os cinco dias são vertidas as bactérias nas argilas expandidas e ficarão outras 24 h ao meio ambiente, terminado este processo segue-se a amassadura do betão.

Em laboratório foram feitos os meios precursores utilizando o acetato de cálcio e extrato de levedura, as diluições foram de 80 g de acetato de cálcio por litro com 1 g de extrato de levedura por litro, como indica a Fig. 24. As Fig. 25 e 26 apresentam o processo de embeбimento das argilas com o meio precursor com acetato de cálcio.



Figura 24 - Diluição do acetato de cálcio em água.



Figura 25 - Impregnação do acetato de cálcio na argila expandida.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 26 - Acetato de cálcio embebido na argila expandida.

Para o outro meio precursor diluiu-se por litro de água da torneira 80 g de silicato de cálcio com 1 g de extrato de levedura, a Fig. 27 mostra a diluição dos dois componentes. As Fig. 28 e 29 mostram o processo de embebedimento das argilas no meio precursor. É de notar que o silicato de cálcio é pouco solúvel na água, daí a cor branca da solução, quando se processa o embebedimento das argilas expandidas é posto em causa se o reagente químico irá entrar no interior das argilas expandidas ou se fica apenas na superfície das mesmas o que poderá por em causa a experiência.



Figura 27 - Diluição do silicato de cálcio.



Figura 28 - Silicato de cálcio ao ser embebido na argila expandida.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 29 - Silicato de cálcio embebido na argila expandida.

Após ter sido embebido o silicato de cálcio nas argilas expandidas e ter ido cinco dias a 37°C para a estufa, a sua cor era branca, Fig. 30, tal não se notou quando se embebeu o acetato de cálcio nas argilas expandidas, Fig. 31, estes mantinham a mesma cor inicial o que pode provar ou não que o silicato de cálcio terá ficado na superfície. Não foi possível realizar qualquer ensaio para comprovar este facto, logo não se pode fazer nenhuma conclusão sobre este facto.



Figura 30 - Argila expandida com silicato de cálcio.



Figura 31 - Argila expandida com acetato de cálcio.

É fundamental fazer diferentes betões com características diferentes para que se possa comparar resultados e concluir qual ou quais revelam melhores resultados.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Então definiu-se que era necessário considerar oito situações diferentes:

- BASE - betão base com cura normal;
- BASEH - betão base com cura húmida;
- BA - betão com acetato de cálcio na água da amassadura;
- BS - betão com silicato de cálcio na água da amassadura;
- BBA1 - betão com acetato de cálcio e bactérias em diferentes argilas expandidas;
- BBS1 - betão com silicato de cálcio e bactérias em diferentes argilas expandidas;
- BBA2 - betão com acetato de cálcio e bactérias nas mesmas argilas expandidas;
- BBS2 - betão com silicato de cálcio e bactérias nas mesmas argilas expandidas.

A composição para os diferentes betões é igual, composição essa indicada na tabela 11.

Tabela 11 - Composição do betão (Martins, 2015).

Composição, kg	
Cimento CEM I	258
Água	129
Areia fina (0-1)	523
Areia grossa (1-4)	101
Argila expandida (2-6)	196

O método de cura do betão é também um fator importante. Consideram-se duas curas para o betão BASE, uma cura designada como cura húmida em que os provetes se encontram sempre submersos em água até chegar a altura de testar a sua resistência à compressão sendo somente esta a sua utilidade, e a outra cura designada como cura normal em que os provetes se encontram 24 h submersos em água e seis dias expostos ao meio ambiente do Laboratório de Engenharia Civil do Pólo da Mitra da Universidade de Évora, sendo este provetes testados à resistência à compressão e todos os outros ensaios já referidos.

O betão BASE, BA, BS, BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 foram sujeitos a cura normal, apenas o betão BASEH foi sujeito a cura húmida, Fig. 32.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 32 - Provetes BASEH na cura húmida.

A cura normal tenta reproduzir uma situação real ao qual o betão está exposto regularmente, como são os ciclos de exposição ambiental, seco e húmido (água da chuva). A água da cura dos provetes é água potável do Laboratório de Engenharia Civil do Pólo da Mitra e é mudada todas as semanas, tomou-se esta decisão pelo facto do betão conter bactérias e reagentes químicos, a sua diluição na água não é um fator conhecido e a sua concentração pode mudar as condições do estudo. Para as amassaduras feitas foram feitas as quantidades indicadas na Tabela 12.

Tabela 12 - Quantidades para cada amassadura.

Tipo de amassadura	Quantidades
BASE+BASEH	80L(+/- 18 provetes)
BA ou BS ou BBA1 ou BBS1 ou BBA2 ou BBS2	50L (+/- 11 provetes)

Durante cada amassadura fez-se o ensaio de abaixamento pelo cone de Abrams, Fig. 33 e 34, segundo a norma NP EN 12350-2, tendo obtido em cada ensaio abaixamentos S3 (100 a 151 mm) para todas as amassaduras.



Figura 33 - Enchimento do molde seguido de 25 pancadas.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 34 - Medição do abaixamento.

Os provetes foram executados de acordo com a norma NP EN 12390-2, a sua compactação foi feita através de pancadas, ou seja, compactação manual para se garantir a homogeneidade, Fig. 35, e assim as partículas de argila expandida não subirem para a superfície do provete.



Figura 35 - Compactação manual do provete.

Todos os provetes foram acondicionados num local seguro para que não fossem sujeitos a choques e ficaram protegidos com película aderente, como indica a Fig. 36.



Figura 36 - Provetes envolvidos em película aderente.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Os provetes de betão foram desmoldados no dia seguinte à sua amassadura, Fig. 37, com a ajuda de um compressor de ar no Laboratório de Engenharia Civil do Pólo da Mitra da Universidade de Évora.



Figura 37 - Desmolde dos provetes.

Aos provetes de betão são induzidas as fissuras através da utilização da máquina de resistência à compressão, o seu processamento é idêntico a quando se pretende ensaiar a resistência à compressão. Para cada tipo de betão (BASE, BA, BS, BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2) escolhe-se alguns provetes para se induzir as fissuras no dia seguinte à sua amassadura. Nesse mesmo dia em que os provetes são fissurados procedesse também ao seu corte através de uma máquina de corte disponível no Laboratório de Engenharia Civil do Pólo da Mitra da Universidade de Évora, como mostra a Fig. 38. Os cubos escolhidos para serem acompanhados ao longo do estudo têm fissuras evidentes em alguma das suas faces.

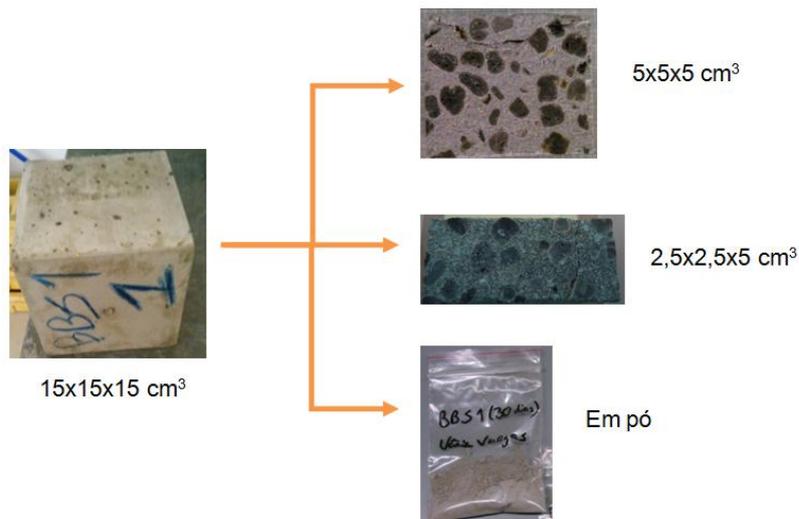


Figura 38 - Corte dos cubos após fissuração.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Os valores de carga máxima que cada provete suporta para a indução das fissuras variam entre 138600 N e 244200 N, valores estes referentes para todos os tipos de betões fabricados (BASE, BA, BS, BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2), em anexo encontram-se as tabelas referentes aos valores de cada provete para a indução das fissuras.

O acompanhamento da evolução das fissuras nos elementos de betão é feito através do ensaio de resistência à compressão, inspeção visual através do microscópio estéreo zoom, do microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X (SEM/EDS), da difração de Raios-X (DRX) e do ensaio número mais provável (NMP).

O ensaio de resistência à compressão feito para acompanhar as características dos provetes segue a norma NP EN12390-3, este ensaio é feito no Laboratório de Engenharia Civil no Pólo da Mitra da Universidade de Évora e segundo as condições referidas na Tabela 13. Os provetes a ensaiar são introduzidos numa máquina de ensaio à compressão, Fig. 39, onde lhe é aplicada uma carga até a sua rotura que é denominada de carga máxima suportada pelo mesmo e é através dessa carga que se calcula a resistência à compressão do provete de betão. Este ensaio é importante pois assim pode-se avaliar o desempenho das estruturas e dos seus componentes resistirem a tensões sem que aconteça a rotura.



Figura 39 - Máquina de ensaio a resistência à compressão.

Tabela 13 - Condições para realizar o ensaio de resistência à compressão.

Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASE	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

(continuação)			
Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASEH	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BA	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BS	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BBA1	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BBS1	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BBA2	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2
BBS2	15x15x15	3	2
		28	2
		56	2
		84	2

Por meio deste ensaio ir-se-á verificar se a adição das bactérias e dos reagentes químicos no betão têm alguma influência nos resultados da resistência à compressão.

A utilização do microscópio estéreo zoom para a inspeção visual é essencial para acompanhar as fissuras que o betão tem e verificar se existe evolução no preenchimento ou não das mesmas. O microscópio trinocular estéreo zoom SZ61 da marca Olympus foi utilizado no Laboratório de Virologia Vegetal do Pólo da Mitra da Universidade de Évora, como a Fig. 40 mostra. O acompanhamento visual das amostra foi feito segundo as condições indicadas na Tabela 14.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 40 - Microscópio trinocular estéreo zoom, marca Olympus.

Tabela 14 - Condições para realizar a inspeção visual (Microscópio trinocular estéreo).

Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASE	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	
BA	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	
BS	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	
BBA1	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	
BBS1	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

(continuação)			
Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BBA2	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	
BBS2	5x5x5	7	1
		14	
		30	
		45	
		56	
		94	

As ampliações são escolhidas conforme a variedade de ampliações que o microscópio estéreo zoom dispõe que foram 6.7x, 10x, 15x, 20x, 35x e 45 x. Devido a um problema no computador do microscópio estéreo zoom e ao período de férias da Universidade de Évora foi necessário recorrer o microscópio estéreo zoom do Laboratório Hércules da Universidade de Évora, esse microscópio estéreo zoom sendo de marca diferente, marca Leica do modelo M205 C, Fig. 41, as suas ampliações não coincidiam com as utilizadas no outro microscópio, então neste microscópio as ampliações utilizadas foram 10x, 16x, 20x, 32x e 40 x.



Figura 41 - Microscópio trinocular estéreo zoom, marca Leica.

Outro dos métodos escolhidos para acompanhar a evolução das fissuras no betão foi o microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X,

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

vulgarmente chamado de SEM/EDS, Fig. 42, equipamento este utilizado no Laboratório Hércules da Universidade de Évora. É um microscópio electrónico que capta imagens da superfície das amostras tendo estas alta qualidade de ampliação, profundidade e aspeto tridimensional. O ensaio foi realizado conforme o indicado na Tabela 15.



Figura 42 - Microscópio electrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X.

Qualquer amostra para poder ir ao SEM/EDS precisa de ter uma boa condutividade eléctrica superficial, se as amostras não tiverem condutibilidade superficial existe a necessidade de metalizar as amostras através da aplicação de um revestimento ultra-fino que pode ser a ouro ou a carbono, suportar o vácuo pois esta técnica necessita de emitir um feixe de electrões e estabilidade física e química (Monteiro, 2015).

Nas amostras de betão é inevitável a metalização, Fig. 44, pois elas não tem boa condutividade eléctrica superficial, neste caso optou-se por metalizar todas as amostras a carbono. Utilizou-se um metalizador da marca Quorum, do modelo Q150R ES do Laboratório Hércules da Universidade de Évora para metalizar todas as amostras de betão utilizadas no SEM/EDS, como indicada na Fig. 43.

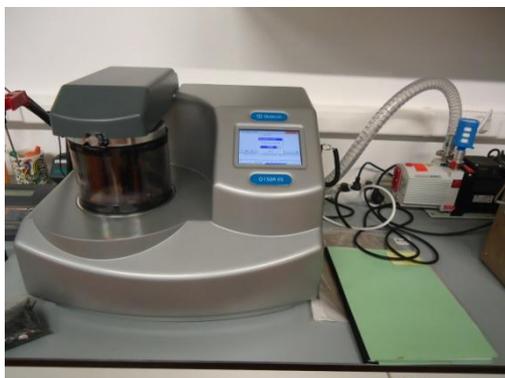


Figura 43 - Metalizador.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 44 - Amostras apos metalizadas no SEM/EDS.

Tabela 15 - Condições para realizar o SEM/EDS.

Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASE	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1
BA	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1
BS	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1
BBA1	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1
BBS1	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1

(continuação)			
Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BBA2	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1
BBS2	2,5x2,5x5	7	1
		14	1
		30	1
		45	1
		56	1
		94	1

Ao microscópio eletrónico de varrimento pode-se aliar a técnica de espectroscopia dispersiva de Raios-X (EDS), que faz uma análise semi-quantitativa dos elementos químicos na superfície das amostras através de mapas de composição dos elementos.

O método da difração de Raios-X (DRX) é escolhido para dar uma resposta mais exata sobre os cristais que cada tipo de betão contém, consiste na interação do feixe incidente de Raios-X e os elétrons dos átomos componentes de um material, determinando-se depois os fótons difratados que constituem o feixe difratado (Antoniassi, 2010). A difração de Raios-X também é feita no Laboratório Hércules da Universidade de Évora.

As amostras utilizadas no difractómetro são reduzidas a pó no instante antes de serem introduzidas na máquina, Fig. 45, para que assim a orientação dos vários cristais que a amostra tem seja aleatória, assegurando assim que o feixe de Raios-X incide nos cristais e satisfazendo as condições da lei de Bragg. Os ensaios realizados foram realizados como indicado na Tabela16.



Figura 45 - Amostra de betão preparada para a difração de Raios-X.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

O difractómetro de Raios-X utilizado é da marca Bruker, do modelo D8 Discover, Fig. 46, possui um contador de radiação que se move através do goniómetro circular que deteta o ângulo e a intensidade do feixe difratado. Os resultados da difração de Raios-X são analisados através do programa Diffrac.EVA V3.0 no Laboratório Hércules da Universidade de Évora.

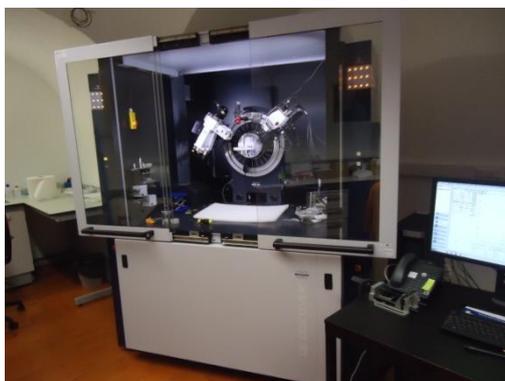


Figura 46 - Máquina de difração de Raios-X.

Tabela 16 - Condições para realizar o ensaio de difração de Raios-X.

Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASE	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BA	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BS	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BBA1	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BBS1	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BBA2	Em pó	14	1
		30	1
		56	1
BBS2	Em pó	14	1
		30	1
		56	1

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Para reduzir as amostras a pó utilizou-se o moinho de bolas planetário, da marca Retsch do modelo PM100, Fig. 47, em ciclos de 8 minutos a 400 rpm e após a saída da amostra do moinho reduziu-se ainda mais a amostra em pó utilizando o almofariz, Fig. 48, pois só com a utilização do moinho por vezes não era possível reduzir a amostra a pó.



Figura 47 - Moinho de bolas planetário.



Figura 48 - Almofariz com betão em pó.

Outro método escolhido para seguir o estudo da introdução de bactérias no betão é o ensaio do número mais provável (NMP) que possibilita avaliar estatisticamente o número dos microrganismos presentes na amostra e estimar a percentagem viável (Ribas, 2009), os ensaios foram realizados no Laboratório de Microbiologia do Solo no Pólo da Mitra da Universidade de Évora. Com este ensaio é fácil estimar a população total ou apenas de um grupo específico de microrganismos na amostra, neste caso o que se pretende é estimar a população da bactéria *B. cohnii* presente nas amostras de betão e na Tabela 17 mostra-se as condições em que foram realizados os ensaios.

Tabela 17 - Condições para realizar o ensaio NMP.

Tipo de amostra	Estado da amostra (cm ³)	Idade da amostra (dias)	Número de amostras
BASE	Em pó	36	1
BBA1	Em pó	14	1
		36	1
BBS1	Em pó	14	1
		36	1
BBA2	Em pó	14	1
		36	1
BBS2	Em pó	14	1
		36	1

Para efetuar este ensaio é preciso fazer meios de cultura, mais especificamente o meio MRD, o agar nutritivo e a solução de sesquicarbonato de sódio, os dois últimos já referidos o seus procedimentos anteriormente. O meio maximum recovery diluent (MRD) é composto pelos reagentes que a Tabela 18 descreve.

Tabela 18 - Meio MRD (Martins, 2015).

Reagentes	Quantidade
Peptona	0,5 g
Cloreto de Sódio	4,25 g
Água destilada	500 ml

Pesa-se individualmente os reagentes e diluem-se na água destilada até perfazer a quantidade desejada e vai ao autoclave durante 15 minutos a 121°C. Depois do autoclave junta-se à solução 50ml de solução de sesquicarbonato de sódio para se obter o meio MRD alcalino, este meio é mais apropriado para a bactéria em questão.

Prepara-se a solução-mãe (SM) para cada amostra de betão, Fig. 49 e 50, e conforme a Tabela 19 indica, de seguida os tubos Falcon com as soluções-mãe vão para o agitador durante 24 h a 30°C. Passado esse tempo, as soluções-mãe são transferidas para as placas de Petri segundo as suas diluições, como indicam as Fig. 51 e 52 e a Tabela 19. As placas de Petri de cada amostra vão para a estufa a 30 °C durante 5 dias, e são retiradas informações as 24, 48 ,72 e 120 h. Através dos resultados retirados nos tempos definidos aplicaram-se as tabelas predefinidas para este tipo de ensaio.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Tabela 19 - Preparação para o ensaio NMP para cada amostra.

Diluições	SM	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}
Quantidades de meio e diluições	30 ml de MRD+3 g de betão	2700 μ l de MRD + 300 μ l da SM	2700 μ l de MRD + 300 μ l da 10^{-1}	2700 μ l de MRD + 300 μ l da 10^{-2}	2700 μ l de MRD + 300 μ l da 10^{-3}
Tubo Falcon					
Volume a plaquear de cada diluição (μ l)	100	100	100	100	100
Placas de Petri					
					

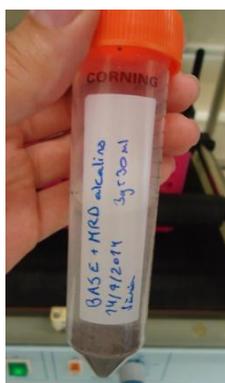


Figura 49 - Tubo Falcon com betão BASE.



Figura 50 - Tubos Falcon para cada amostra no agitador.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão



Figura 51 - Distribuição das soluções pelas placas de Petri.

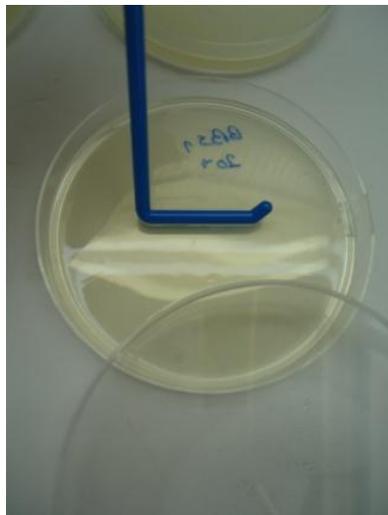


Figura 52 - Espalhar a solução na placa de Petri.

O ensaio do NMP é importante para se saber se os esporos introduzidos no betão germinaram originando células vegetativas. Permite saber até que idade do betão os esporos ainda têm a capacidade de germinar dando origem a células vegetativas e como é a evolução de esporos e células vegetativas ao longo do tempo.

5 Resultados obtidos e sua análise

Os resultados obtidos são apresentados a seguir, sendo também analisados.

5.1 Resistência à compressão

A Fig. 53 apresenta os resultados das resistências à compressão de todos os betões, as quais foram determinadas nos instantes 3d, 28d, 56d e 84d.

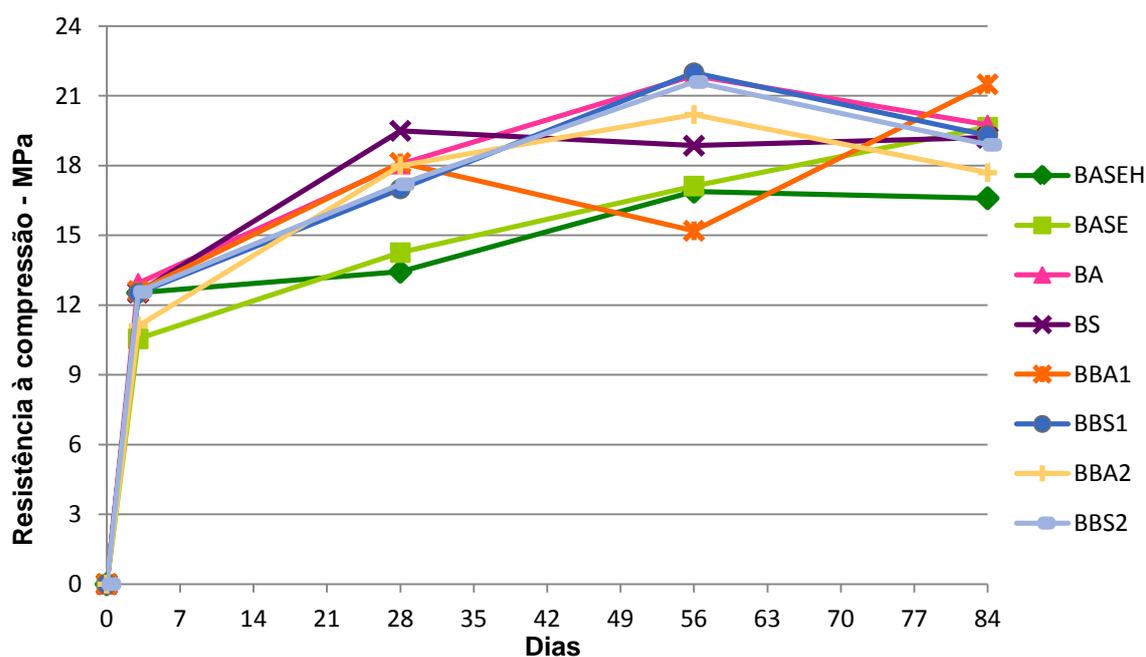


Figura 53 - Gráfico de resistência à compressão dos provete, valores médios.

Na Fig. 53 é possível verificar que para as amostras sem bactéria e sem meio de precursor os valores das resistências à compressão vão aumentando ao longo do tempo, tal como era de esperar. Por outro lado, não era de esperar maiores resistências para composição do betão BASE comparativamente à BASEH mas ao analisar o gráfico pode-se constatar isso.

O betão com adição de acetato de cálcio (BA) apenas perde resistência à compressão entre os 56 dias e os 84 dias, já o betão com adição de silicato de cálcio (BS) perde resistência entre os 28 dias e os 56 dias e tende a estabilizar os seus valores.

O comportamento do BBA1 e BBA2 são muito díspares, pois no BBA1 a perda de resistência dá-se entre os 28 dias e os 56 dias e no BBA2 existe uma perda entre os 56 dias e 84 dias.

Já o comportamento do BBS1 e do BBS2, em relação a resistência à compressão, são muito semelhantes, só existe perda de resistência a partir dos 56 dias.

Os betões que continham meio precursor e bactéria ou apenas meio precursor apresentam valores de resistências à compressão que não eram crescentes, principalmente no que diz respeito ao BBA1. As tabelas das resistências à compressão para todas as amostras e as respetivas idades encontram-se no anexo F ao L.

5.2 Microscópio estéreo zoom

Da Fig. 54 à Fig. 60 apresenta-se um resumo do acompanhamento visual com o auxílio do Microscópio estéreo zoom ao longo do tempo, e da Fig. 61 à Fig. 67 mostram-se as medições feitas no primeiro dia e no último dia em que cada amostra de betão foi observada.

Ao observar-se o betão BASE verificou-se que não houve qualquer alteração das fissuras desde o primeiro ao último dia em que foi visualizada, Fig. 54. Este resultado era de esperar. O facto de não ter existido qualquer colmatação das fendas, mostra que também não foi formado carbonato de cálcio a partir da carbonatação do betão. Na Fig. 61 podem-se observar a primeira e a última imagem obtida através do microscópio estéreo zoom do betão BASE com uma ampliação de 20x, em que são medidas as fissuras no primeiro e último dia dos ensaios e a sua largura se mantém, com 221 μm e 143 μm .

Para o BA também não é visível o preenchimento da fissura através das imagens retiradas do microscópio estéreo zoom ao longo de 94 dias, Fig. 55. Assim a inclusão apenas do meio precursor, acetato de cálcio, neste caso, na água da amassadura não revela resultados positivos em termos do preenchimento das fissuras. No caso do BA a Fig. 62 mostra um quadro com a primeira e última imagem da fissura observada e não se registou qualquer evolução da fissura, mantendo-se a fissura com a largura de 109 μm e 62 μm ao longo do tempo que foi observada. A introdução de acetato de cálcio na água da amassadura não proporciona a precipitação de carbonato de cálcio nas fissuras.

O BS, tal como o BA, não indicia a ocorrência da precipitação de carbonato de cálcio na fissuras que o betão tem (Fig. 56), assim a introdução de silicato de cálcio na água da amassadura também não mostra ser capaz de provocar a precipitação de cristais de carbonato de cálcio. Na Fig. 63, as imagens do BS nos 7 dias e nos 94 dias com

ampliação de 45x, a fissura mantém a sua largura de 220 μm e 129 μm desde o primeiro dia ao último dia de observação.

No caso do BBA1, em que foi introduzido acetato de cálcio como meio precursor nalgumas argilas expandidas e noutras a bactéria *B. cohnii*, não foi evidente a precipitação de carbonato de cálcio ao longo da fissura observada no período de 94 dias, Fig. 57, isto pode ser justificado pelo facto da zona analisada não ter por perto argilas expandidas com o meio precursor e bactéria condicionando o desenvolvimento das reações e formação dos cristais que se iriam depositar na fissura. A Fig. 64 ilustra imagens do BBA1 aos 7 dias e aos 94 dias com uma ampliação de 45x, no qual se pode ver que a fissura mantém a mesma largura ao longo dos tempos em que foi observada, tendo como largura 263 μm e 387 μm , com estas imagens também se pode confirmar que não existe precipitação de carbonato de cálcio na fissura, portanto o seu preenchimento não ocorre.

Para o BBS1, em que o meio precursor, silicato de cálcio, é introduzido em parte da argila expandida e noutra parte é introduzida a bactéria *B. cohnii*, a precipitação de CaCO_3 não é visível na fissura observada ao longo do tempo, Fig. 58. No BBS1 a fissura não mostra indício de precipitação de cristais de carbonato de cálcio, Fig. 65 apresenta imagens dos 7 dias e dos 94 dias da mesma zona em que se pode observar que a fissura não altera a sua largura, tendo de medidas 468 μm e 257 μm .

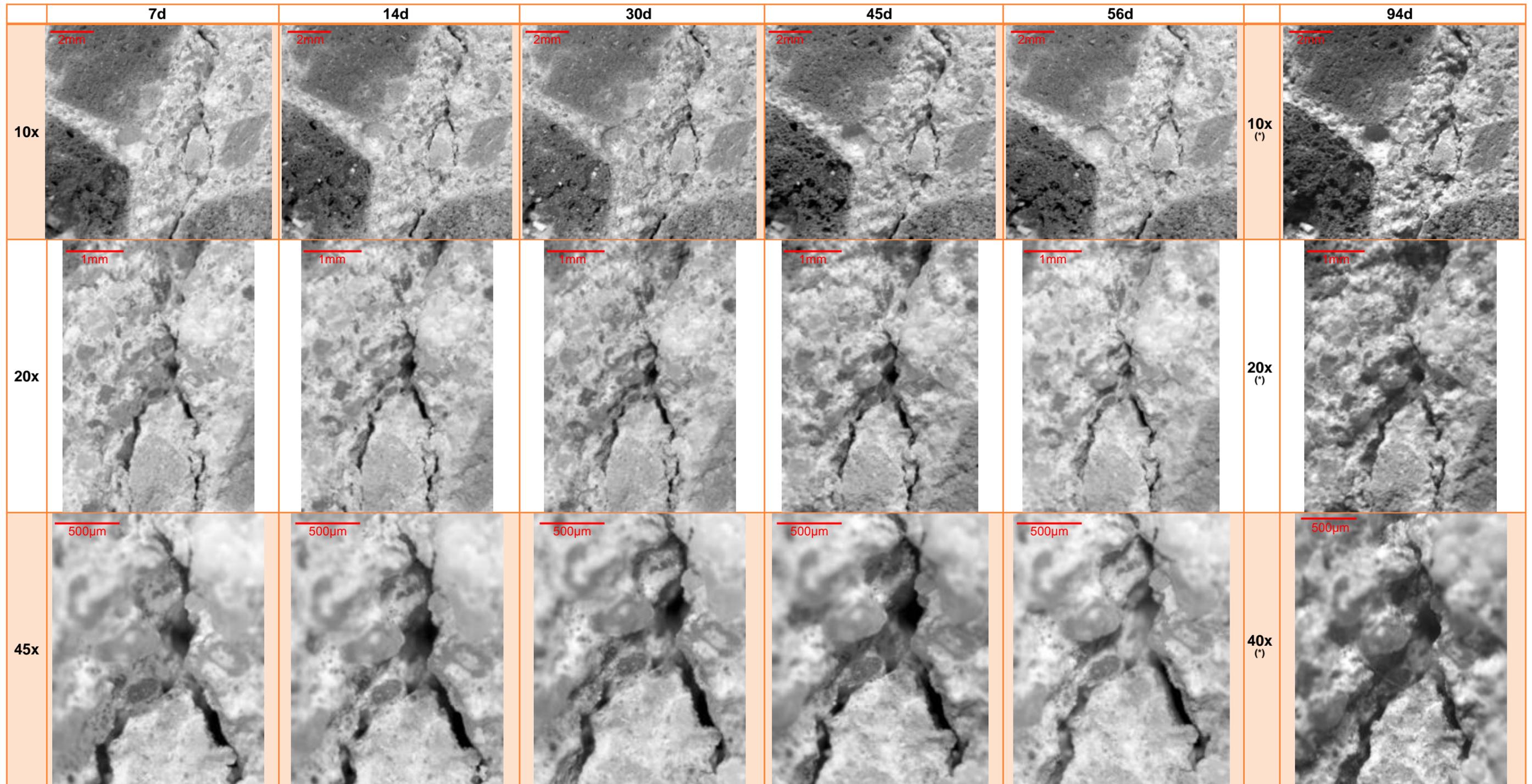
No BBA2 em que se introduziu o acetato de cálcio como meio precursor e a bactéria *B. cohnii* nas mesmas argilas expandidas, nota-se uma leve precipitação de cristais de CaCO_3 na fissura, Fig. 59, portanto esta solução parece apresentar resultados positivos no preenchimento das fissuras. A Fig. 66 ilustra as imagens tiradas no microscópio estéreo zoom no primeiro e último ensaio, nas quais é evidente o preenchimento da fissura por cristais de carbonato de cálcio. Na primeira imagem a fissura tinha de largura 111 μm e 126 μm e na última imagem a fissura já se encontrava mais colmatada, passando a ter 73 μm e 99 μm , respetivamente. Pode-se dizer que houve o aparecimento de cristais de carbonato de cálcio na fissura, preenchendo a mesma parcialmente.

No BBS2 é visível ao fim de 94 dias a precipitação de carbonato de cálcio na fissura. Na maior ampliação que a Fig. 60 apresenta conseguem-se observar os cristais na superfície na fissura. Pode-se dizer que esta solução com o silicato de cálcio e bactéria nas mesmas argilas expandidas possibilitam a formação de carbonato de cálcio. Pela Fig. 67 podem-se ver as imagens do primeiro e do último dia. Visualiza-se

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

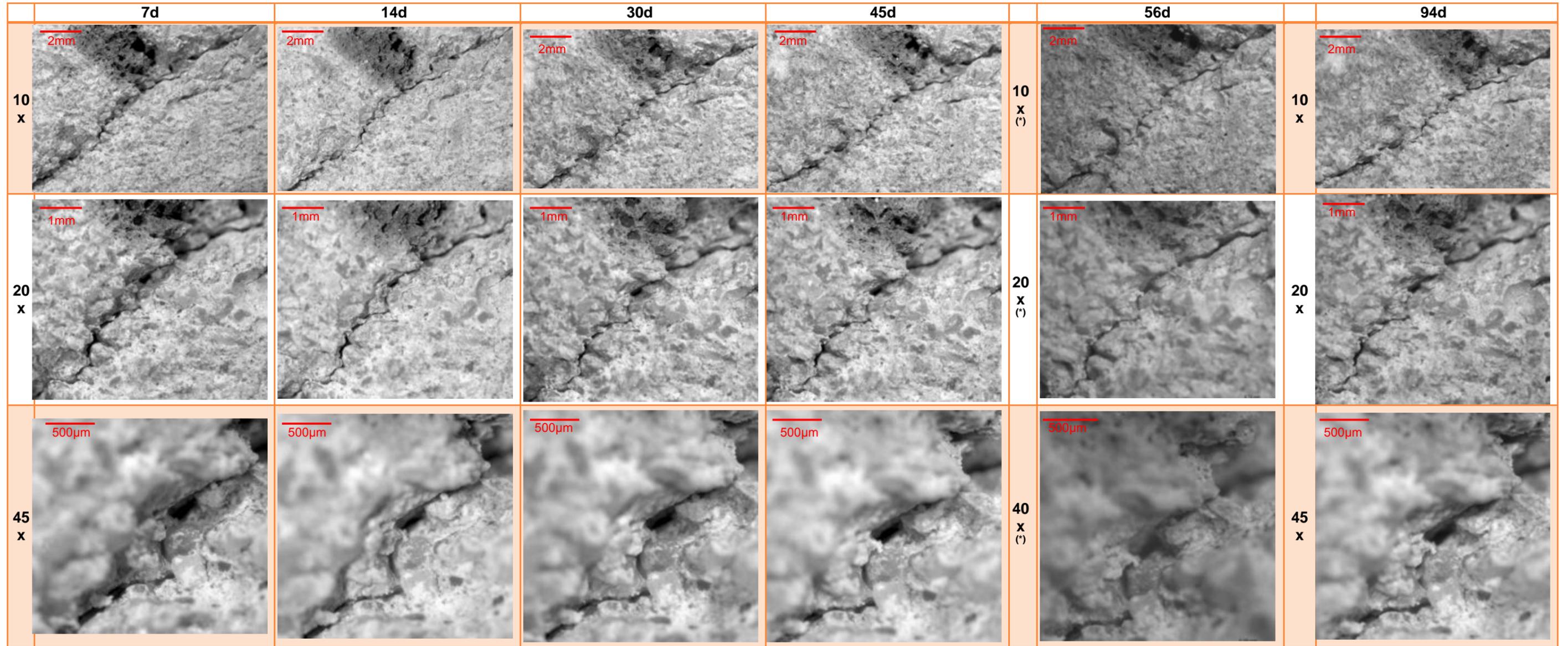
perfeitamente o depósito de cristais de carbonato de cálcio ao longo da fissura, o que faz com que a fissura venha a diminuir, indicando que a mesma se vai colmatando. Na primeira imagem a largura da fissura era de 644 μm e 461 μm passando a ter na última imagem 580 μm e 389 μm de largura.

Quando existe formação de carbonato de cálcio nos provetes de betão, estes passam a ter menos vazios e por consequência a sua resistência à compressão aumenta, através da visualização das amostras de betão com auxílio do Microscópio estéreo zoom verificou-se a formação de carbonato de cálcio nas amostras do BBA2 e BBS2 logo era de esperar que a sua resistência aumenta-se o que se verifica até aos 56 dias de cura dos provetes. Mas este comportamento também se verifica nos provetes do BA e BBS1 e nesses não é visível formação de carbonato de cálcio nas suas fissuras. Mas neste caso a formação de carbonato de cálcio não aumenta a resistência à compressão dos provetes ao longo da cura, isso pode-se dever às adições feitas ao betão, que tem um impacto no resultados da resistência à compressão e apesar de existir formação de carbonato de cálcio isso não se pode constatar nos ensaios realizados.



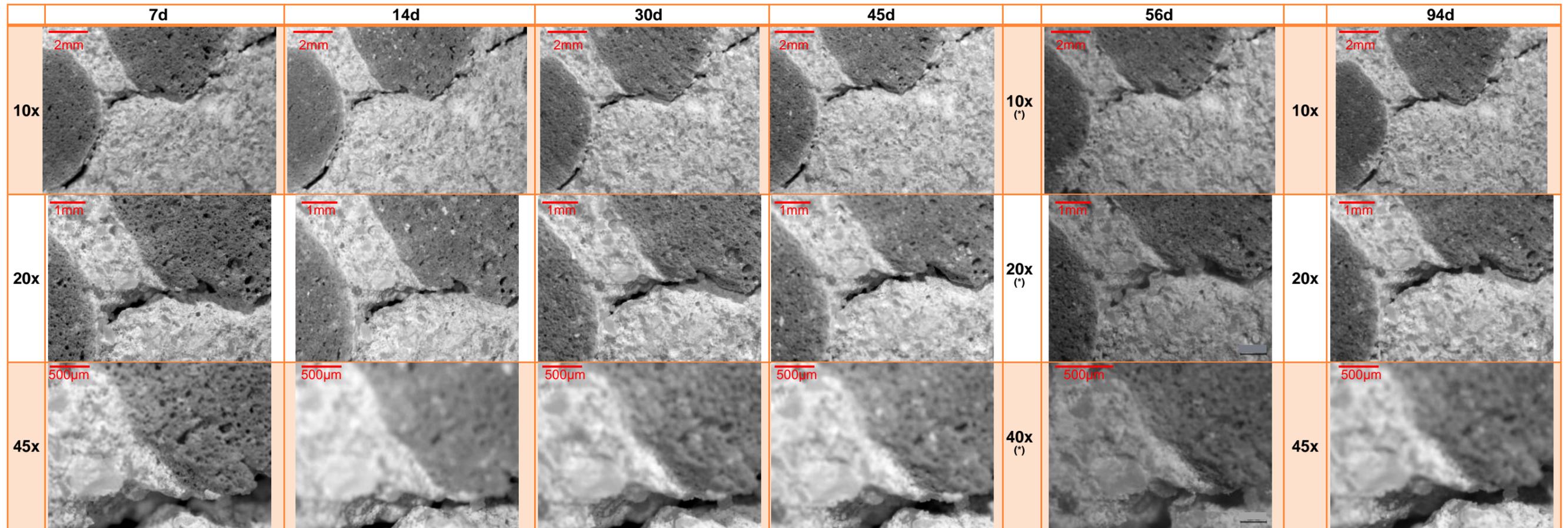
(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 54 - Quadro da inspeção visual do betão BASE dos 7 aos 94 dias.



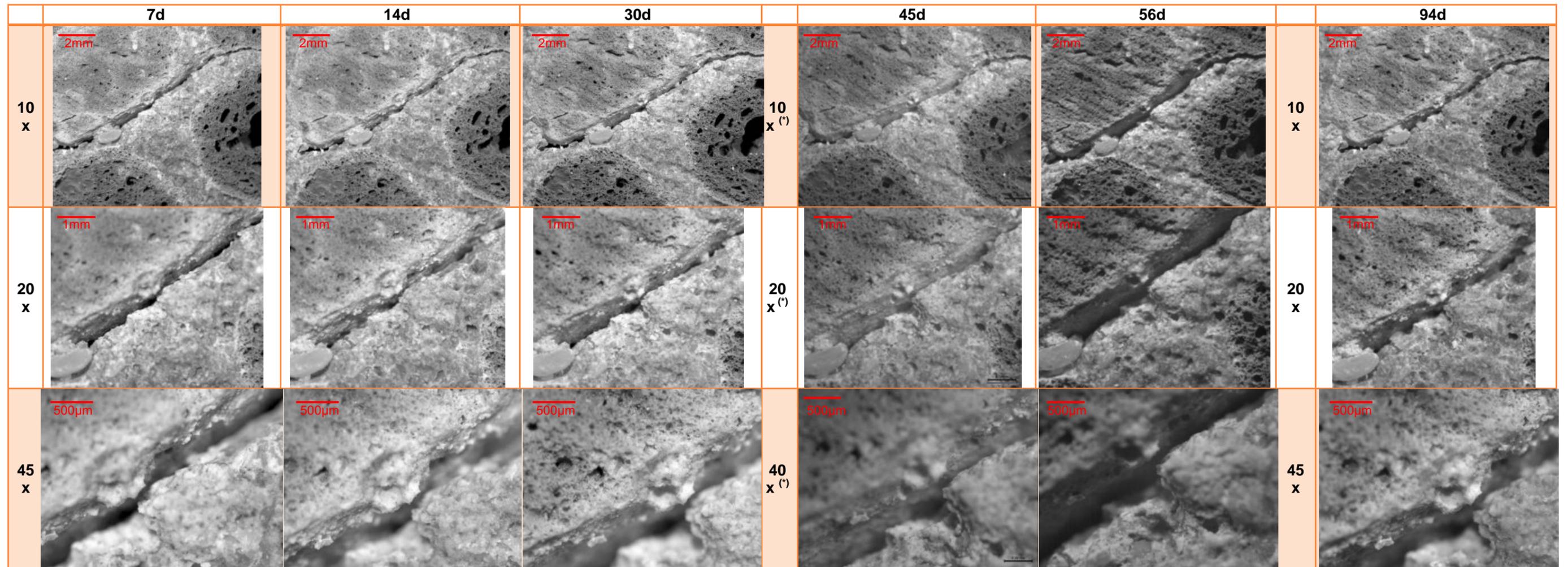
(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 55 - Quadro da inspeção visual do betão BA dos 7 aos 94 dias.



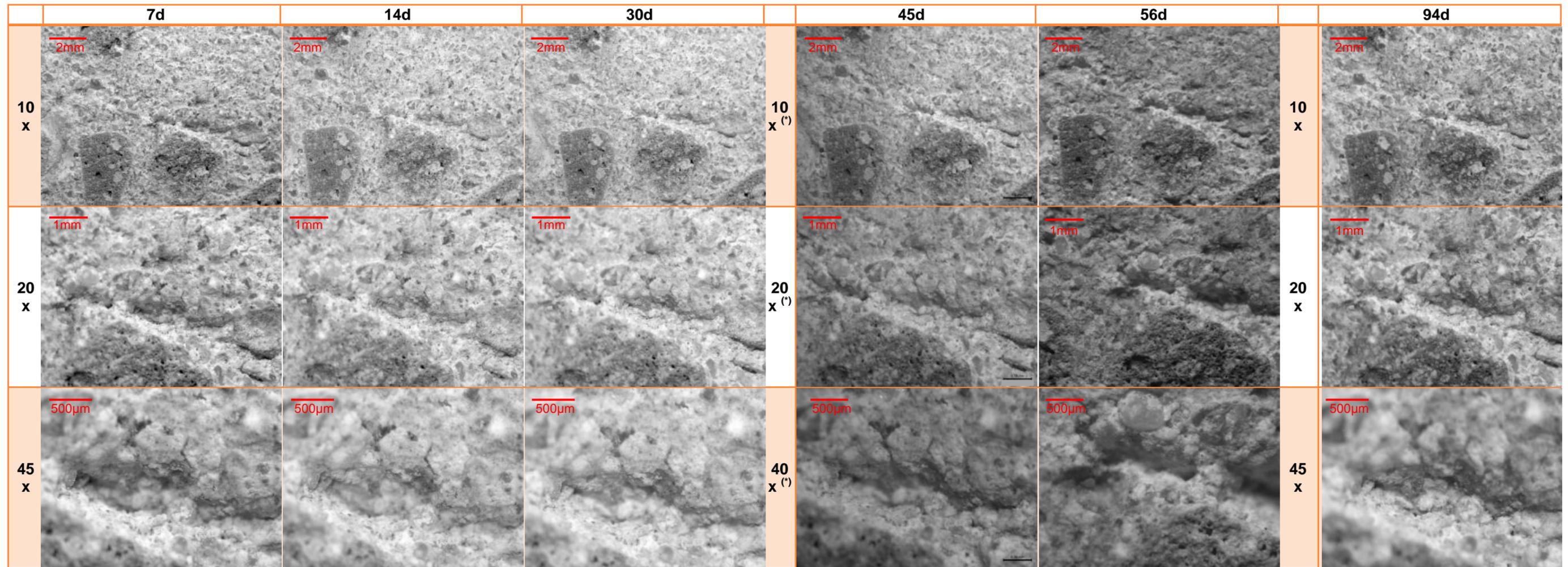
(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 56 - Quadro da inspeção visual do betão BS dos 7 aos 94 dias.



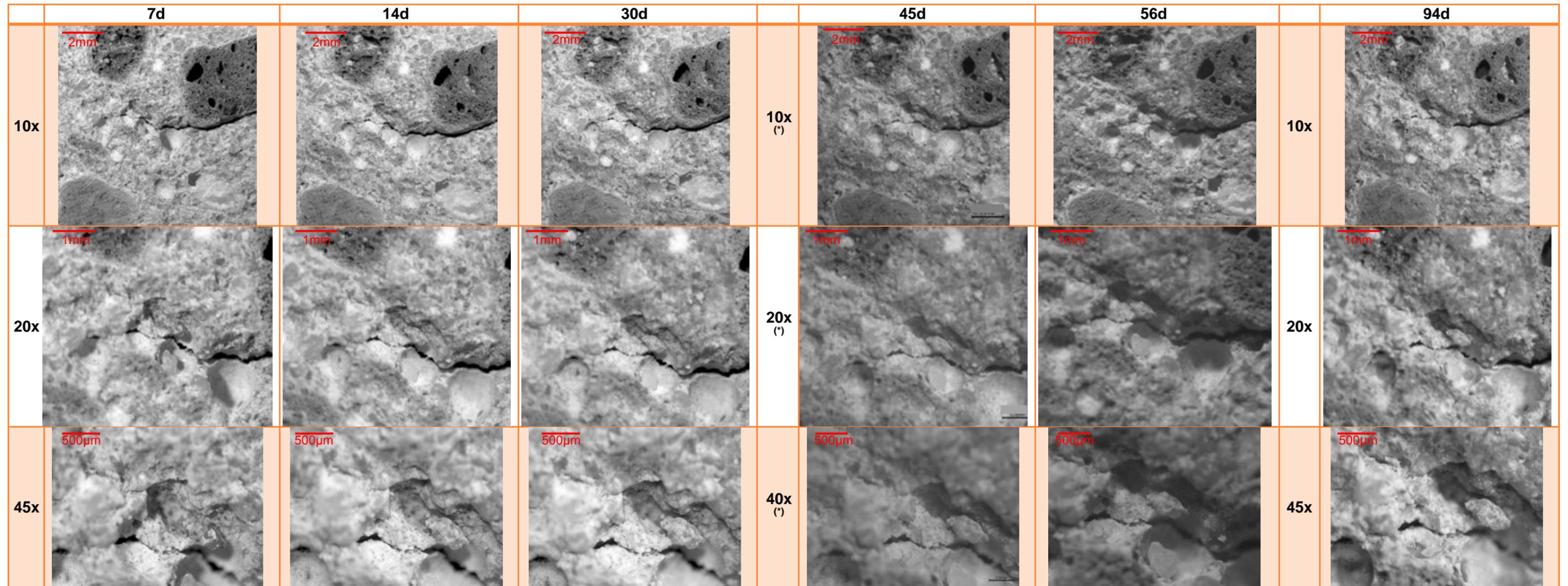
(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 57 - Quadro da inspeção visual do betão BBA1 dos 7 aos 94 dias.



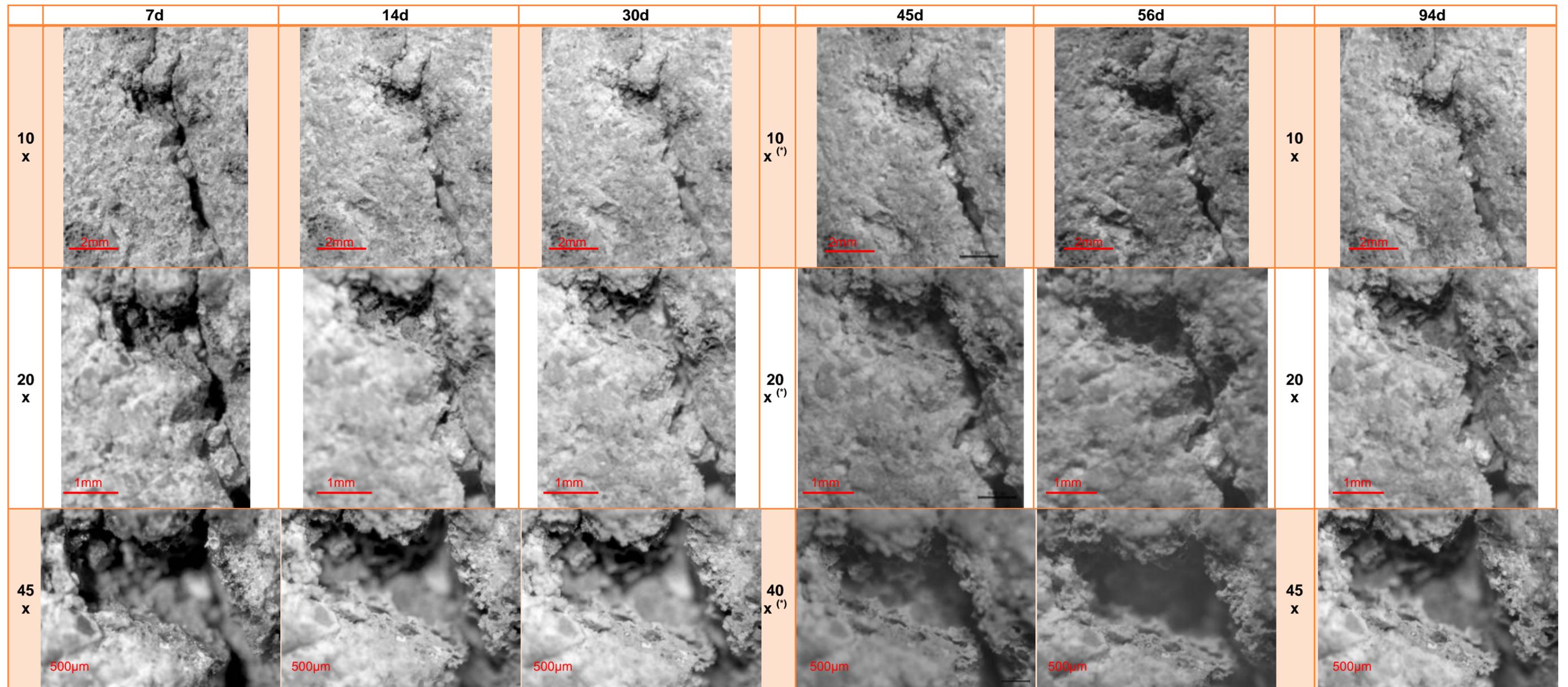
(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 58 - Quadro da inspeção visual do betão BBS1 dos 7 aos 94 dias.



(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 59 - Quadro da inspeção visual do betão BBA2 dos 7 aos 94 dias.



(*) Microscópio estéreo zoom do Laboratório Hercules

Figura 60 - Quadro do microscópio estéreo zoom do BBS2.

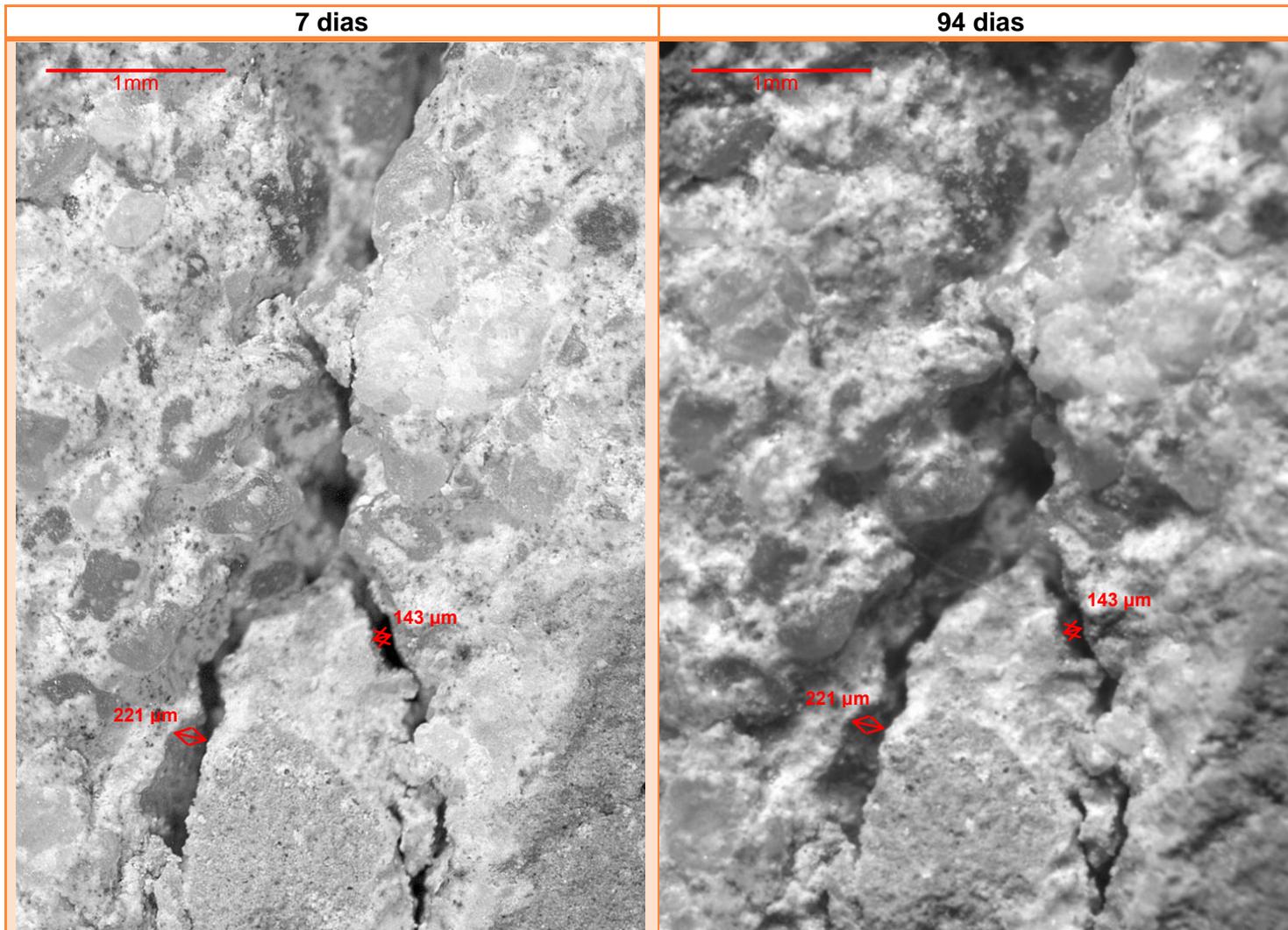


Figura 61 - Quadro da inspeção visual do betão BASE aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 20x.

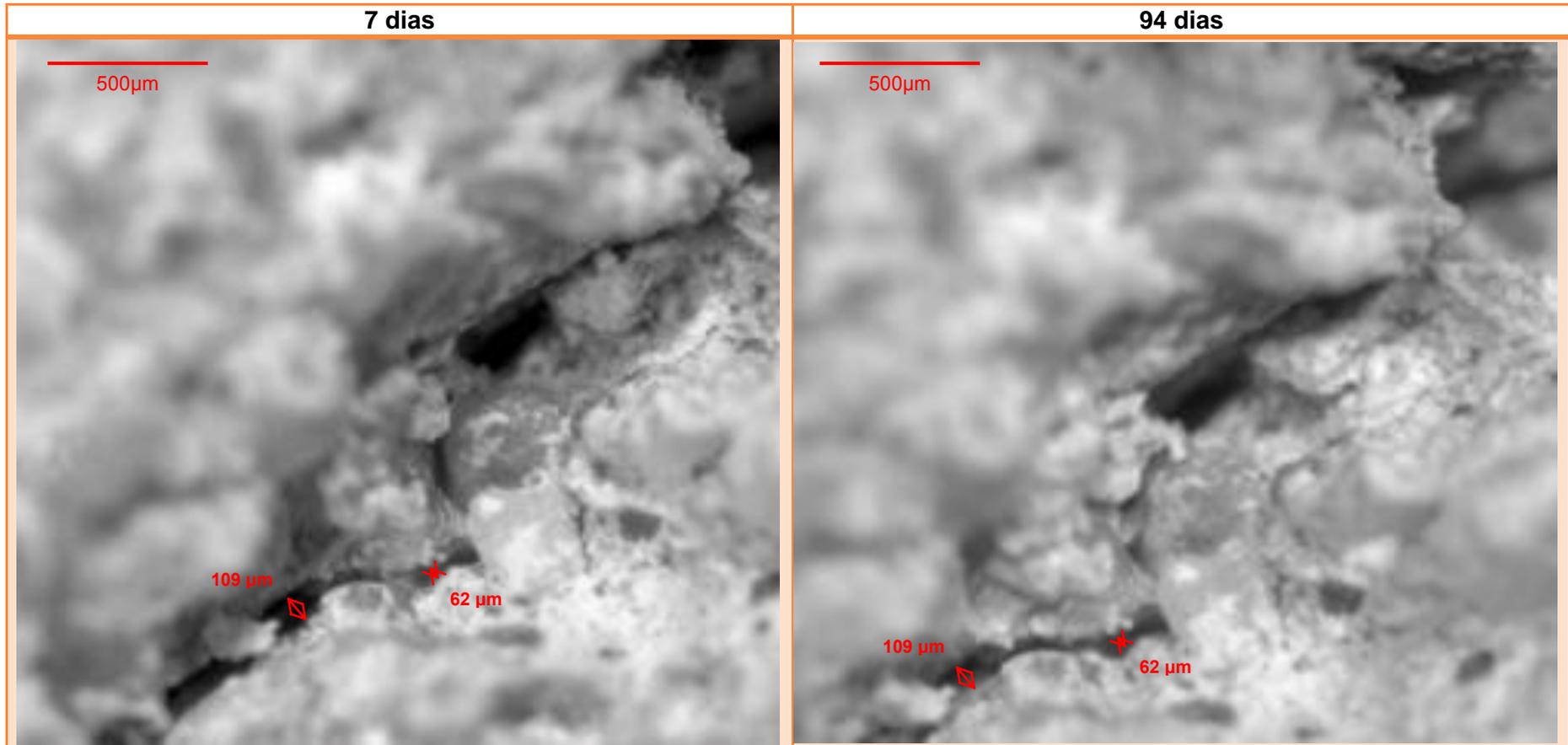


Figura 62 - Quadro da inspeção visual do betão BA aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.

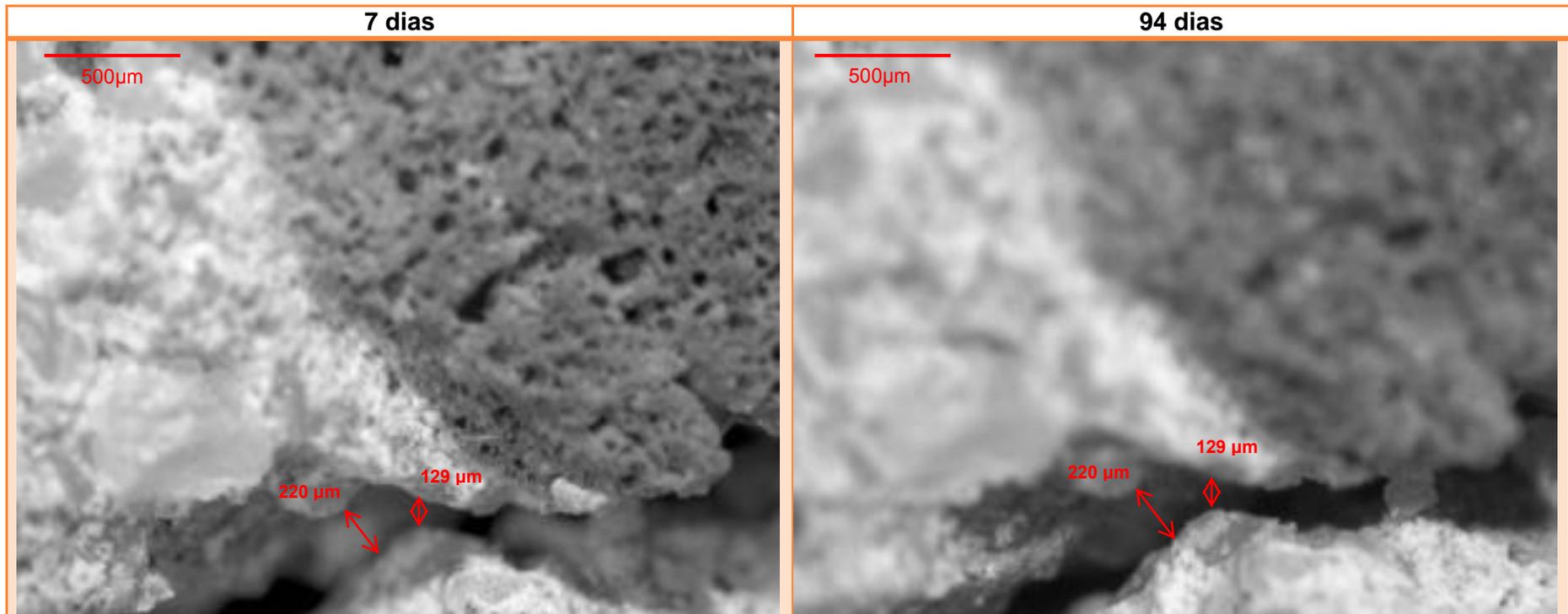


Figura 63 - Quadro da inspeção visual do betão BS aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.

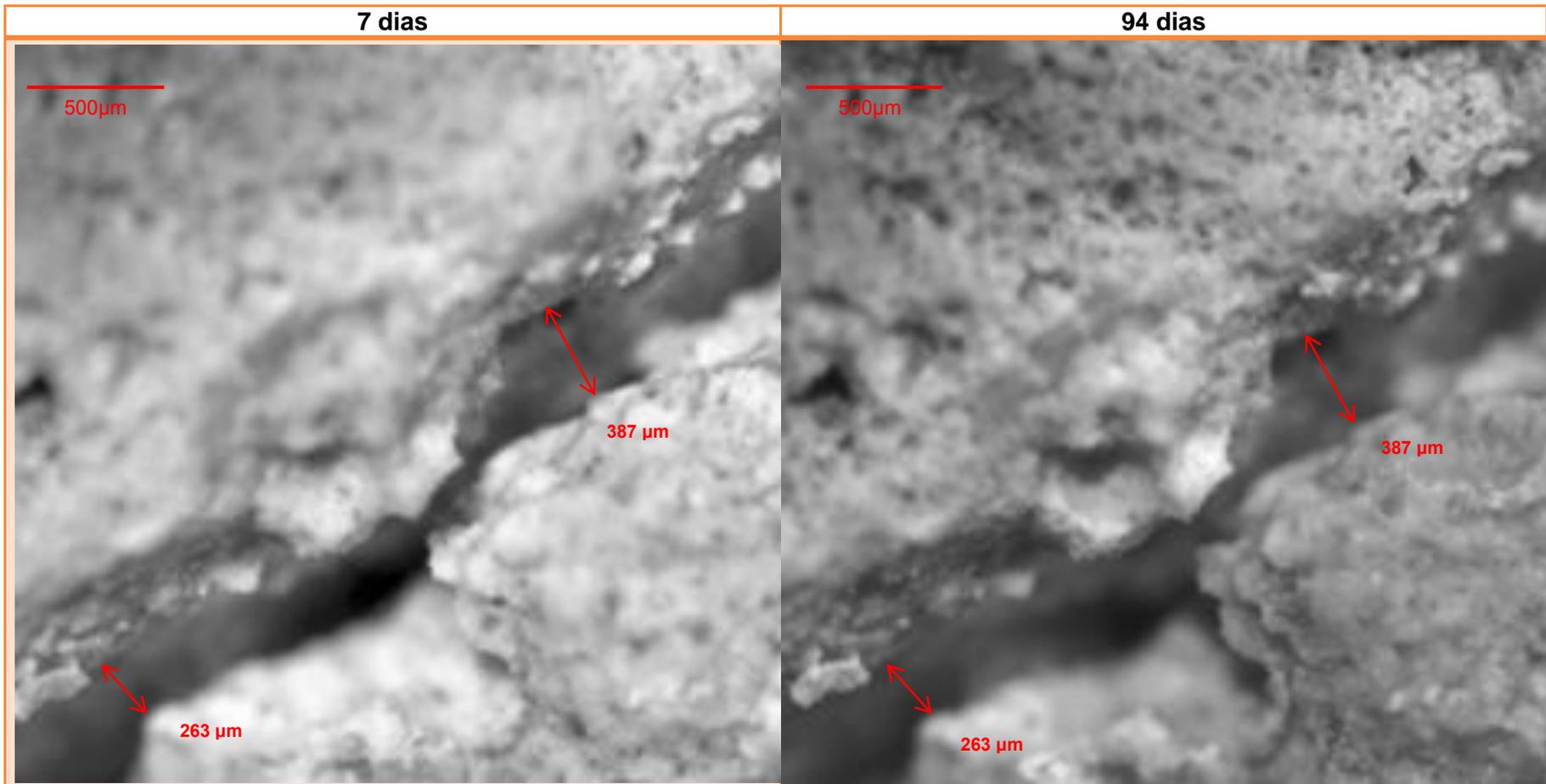


Figura 64 - Quadro da inspeção visual do betão BBA1 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.

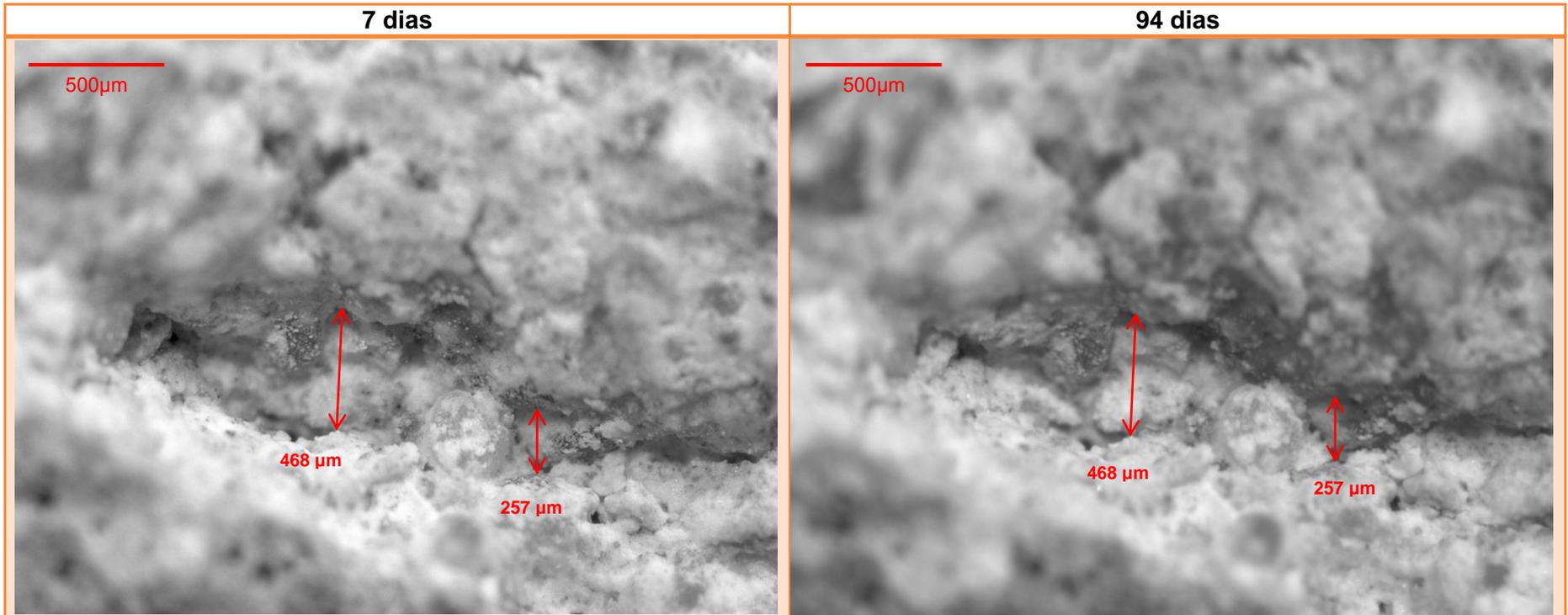


Figura 65 - Quadro da inspeção visual do betão BBS1 aos 7 dias aos 94 dias, ampliação 45x.

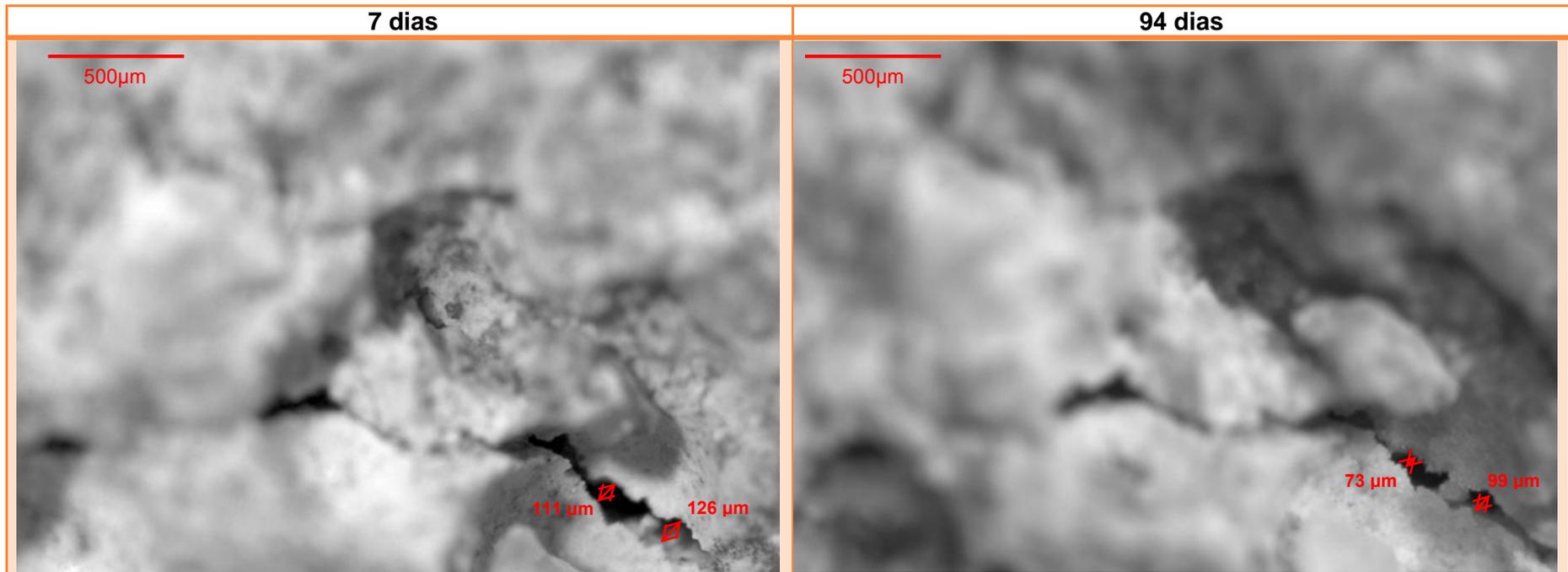


Figura 66 - Quadro da inspeção visual do betão BBA2 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.

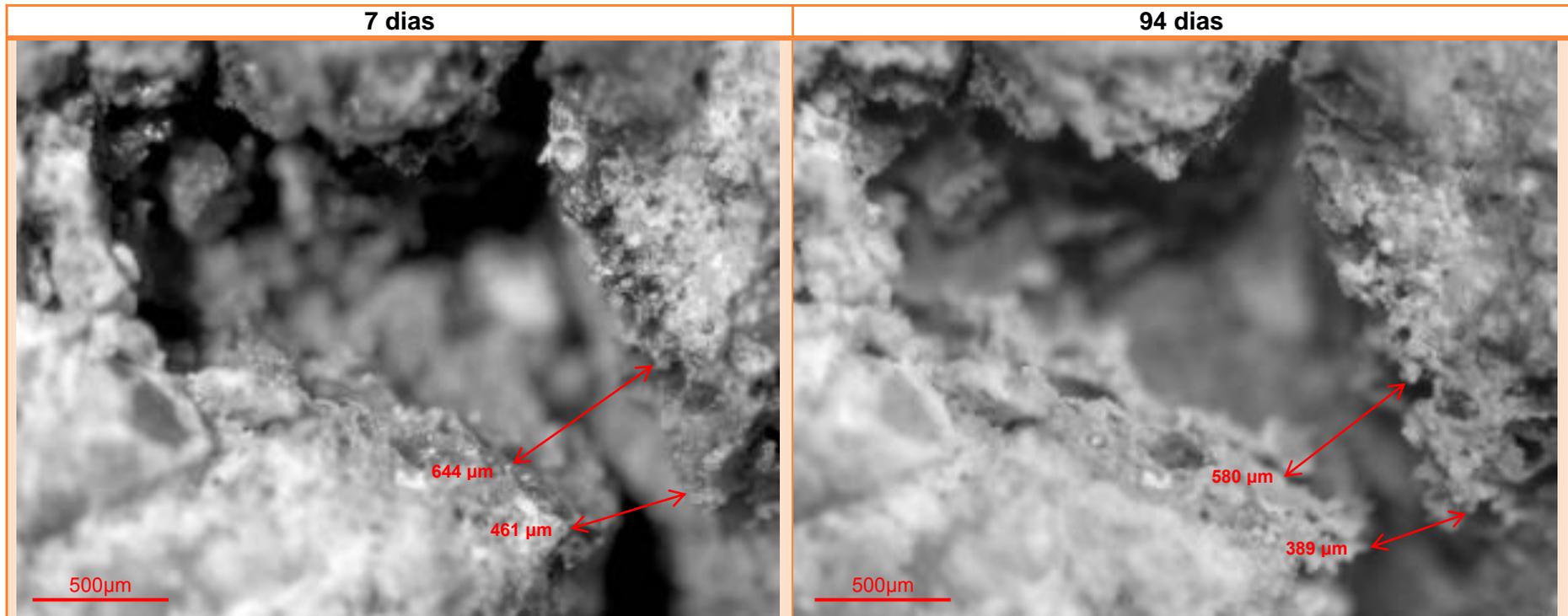


Figura 67 - Quadro da inspeção visual do betão BBS2 aos 7 dias e aos 94 dias, ampliação 45x.

5.3 Microscópio eletrónico de varrimento com Espectroscopia dispersiva de Raios-X (SEM/EDS)

Com o microscópio eletrónico de varrimento com espectroscopia dispersiva de Raios-X tem-se acesso a imagens com maior ampliação do que as tiradas através do microscópio estéreo zoom, o que nos dá mais detalhadamente informação sobre o conteúdo nas argilas expandidas, na matriz ou na fissura. O SEM/EDS é um instrumento importante para se descobrir quais os tipos de cristais que o betão contém e saber-se em que altura da sua cura aparecem, a partir destes dados sabe-se qual o betão que tem o melhor resultado, que neste caso será o aparecimento de cristais de carbonato de cálcio. Nos ensaios de SEM/EDS foram encontrados muitos cristais nos betões mas nalguns casos não foi possível realizar o EDS aos cristais porque a sua localização não permite que o feixe os alcancem-se.

Para o betão BASE não foi possível fazer o ensaio no SEM/EDS aos 7 dias porque o equipamento se encontrava avariado e por isso só se obteve informação do betão BASE a partir dos 14 dias. Na argila do betão do BASE foi possível encontrar ao longo dos ensaios alguns cristais, mas apenas aos 30 dias se encontrou um cristal que se assemelha ao da aragonite, pela Fig. 68 retirada pelo SEM/EDS verifica-se que a sua composição química é na maioria oxigénio (O), cálcio (Ca), que identificam a presença de carbonato de cálcio, assim como, existem picos de silício e cálcio que são dos C-S-H.

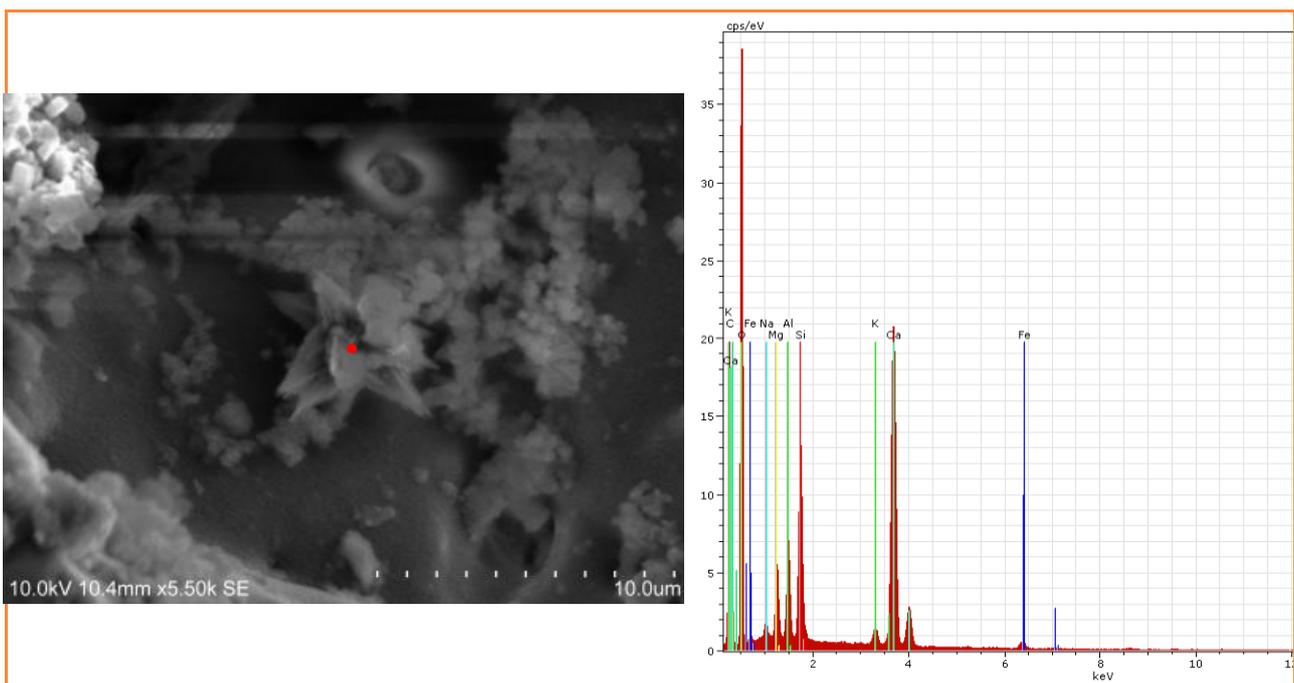


Figura 68- SEM/EDS do betão BASE aos 30 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Na matriz do betão BASE, na Fig. 69, aos 45 dias encontrou-se carbonato de cálcio na forma de aragonite e rodeada de cristais de calcite cobrindo a amostra de uma forma homogénea e aos 94 dias é encontrado um cristal perfeito calcite de forma romboédrica. Não era de espera que nas amostras analisadas se encontrassem estes cristais, isto pode demonstrar que as amostras estavam contaminadas.

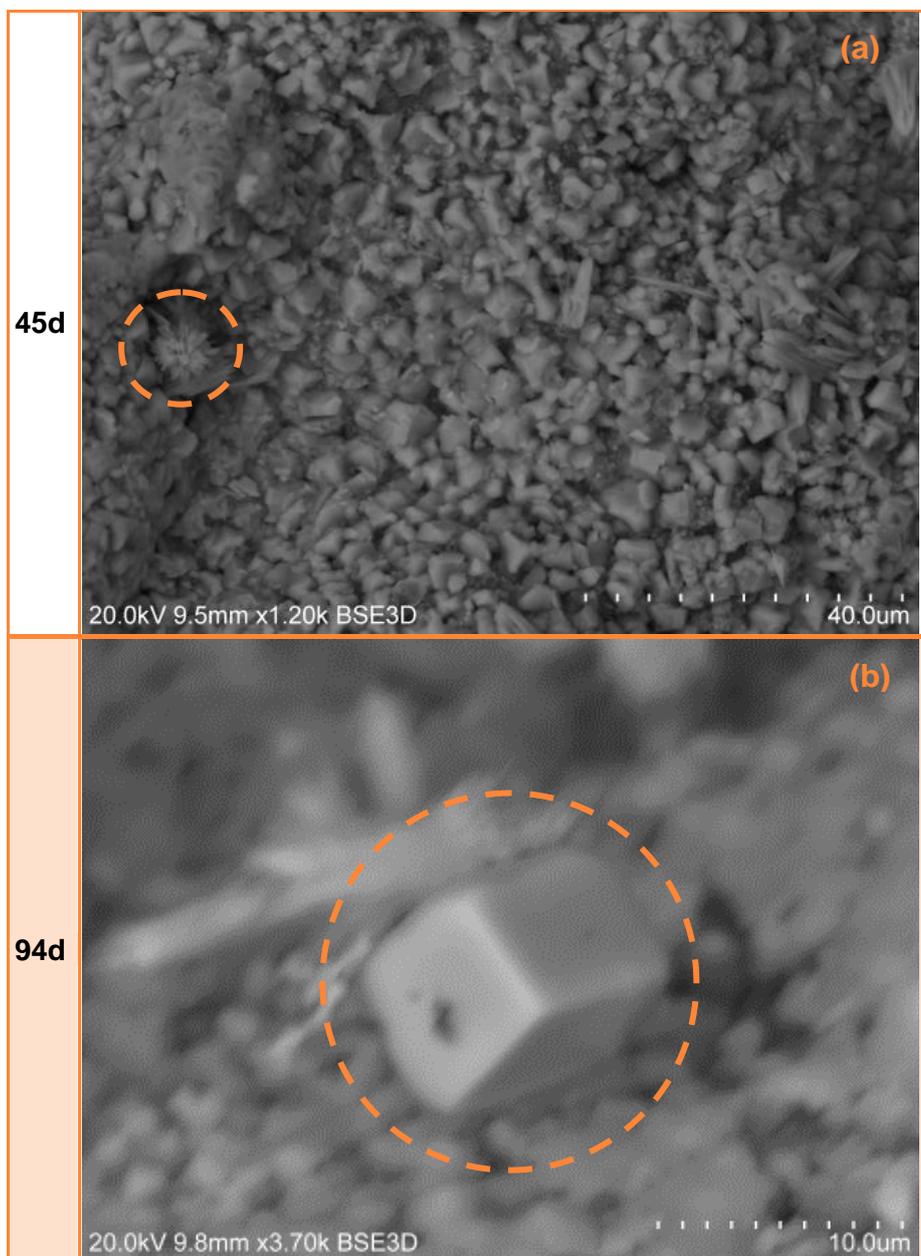


Figura 69 - SEM do betão BASE na matriz.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Para o BA os ensaios foram feitos a partir do 7 dia, tal como programado, na argila não foram encontrados cristais que revelem importância para este estudo, já na matriz do BA, Fig. 70, o carbonato de cálcio não se encontrou até aos 56 dias, nessa data foi encontrado calcite com a sua forma romboédrica que a caracteriza.

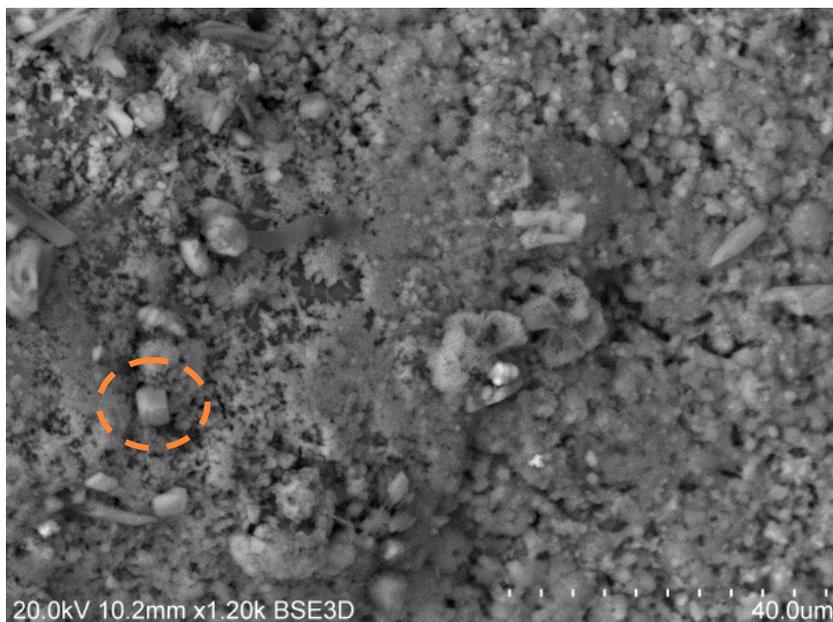


Figura 70 - SEM do BA na matriz aos 56 dias.

A fissura do BA, Fig. 71-a) à Fig. 71-c), aos 56 dias foram encontrados cristais de aragonite em forma de agulhas e distribuídos homogeneamente pela amostra, e aos 45 e 94 dias existe cristais de calcite também distribuídos de uma forma homogénea. Pelo EDS, Fig. 72-a) à Fig. 72-c), verifica-se a existência de calcite aos 45 e 94 dias e aragonite aos 56 dias cuja composição química é na maioria cálcio (Ca) e oxigénio (O) e a presença de carbono (C) devido a metalização das amostras, como os picos do EDS indicam.

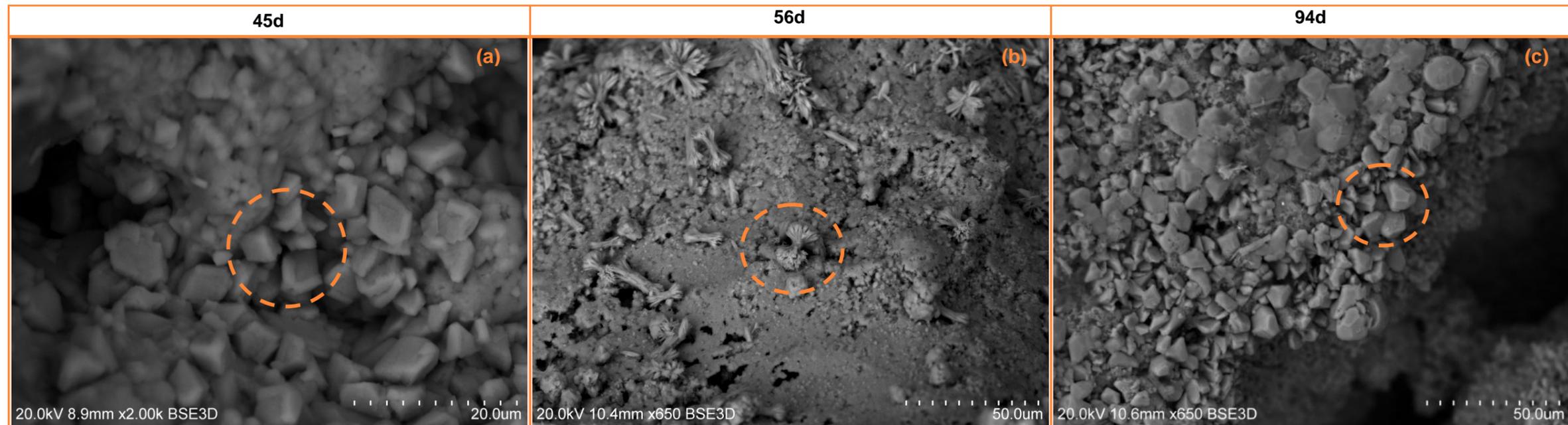


Figura 71 - SEM do BA na fissura.

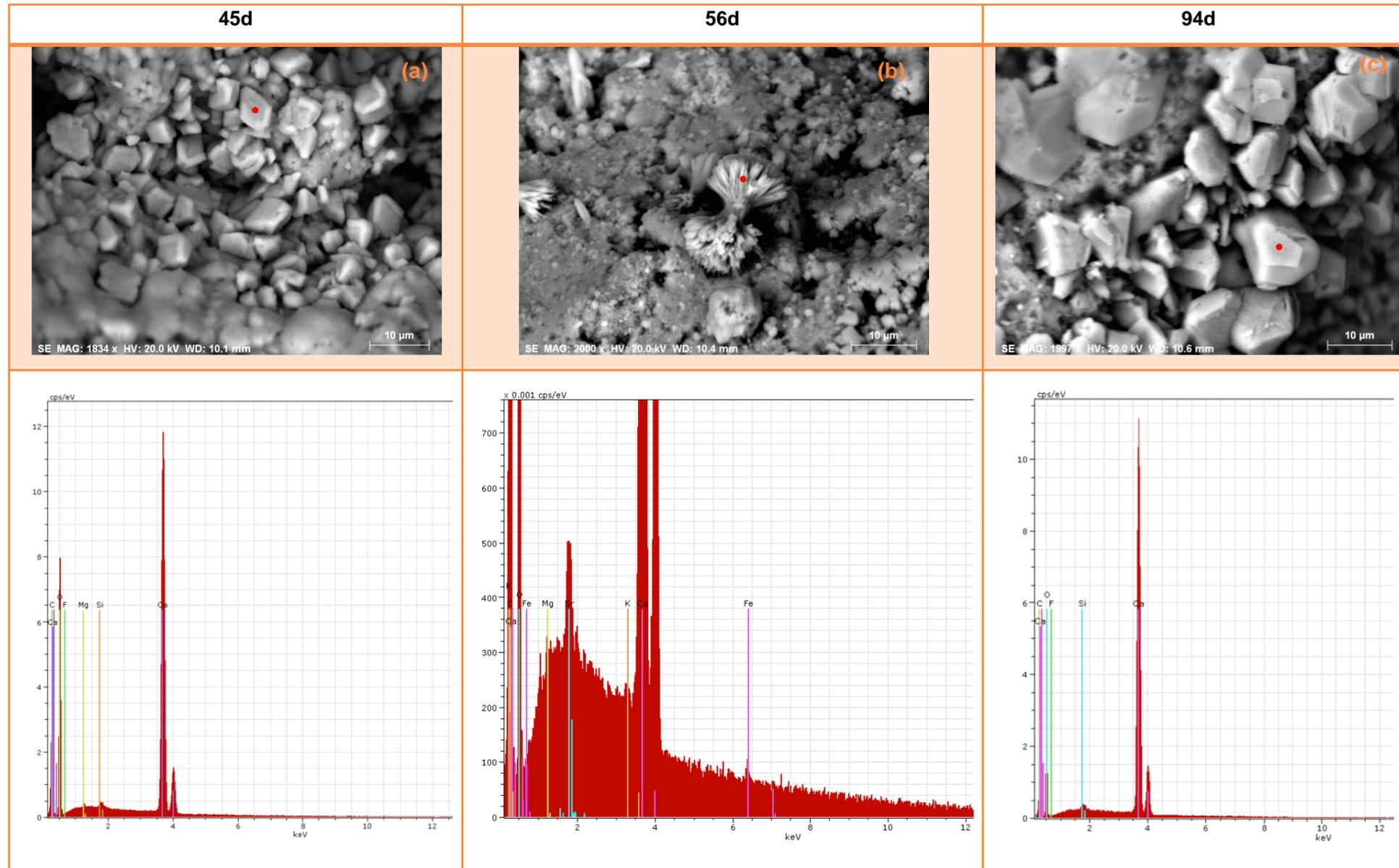


Figura 72 - SEM/EDS do BA na fissura.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Na matriz do BS, Fig. 73, foram encontradas cristais de etringite aos 45 dias .

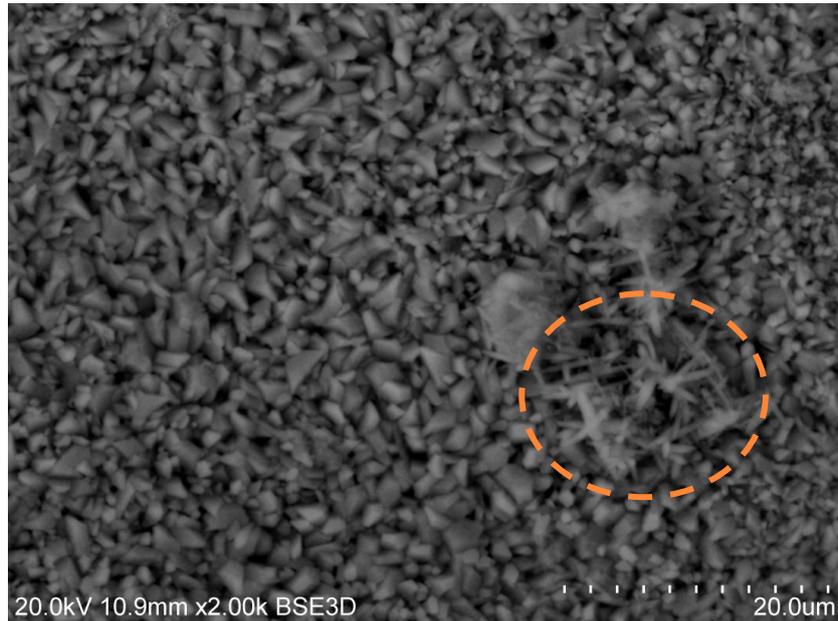


Figura 73 - SEM do BS na matriz aos 45 dias.

Na fissura do BS, Fig. 74, é evidente a existência de calcite ao longo da face da amostra aos 30 dias, pelo EDS, Fig. 78, é reconhecidos picos de cálcio (Ca) e oxigénio (O) que revela a presença de carbonato de cálcio e também carbono (C) devido a metalização das amostras.

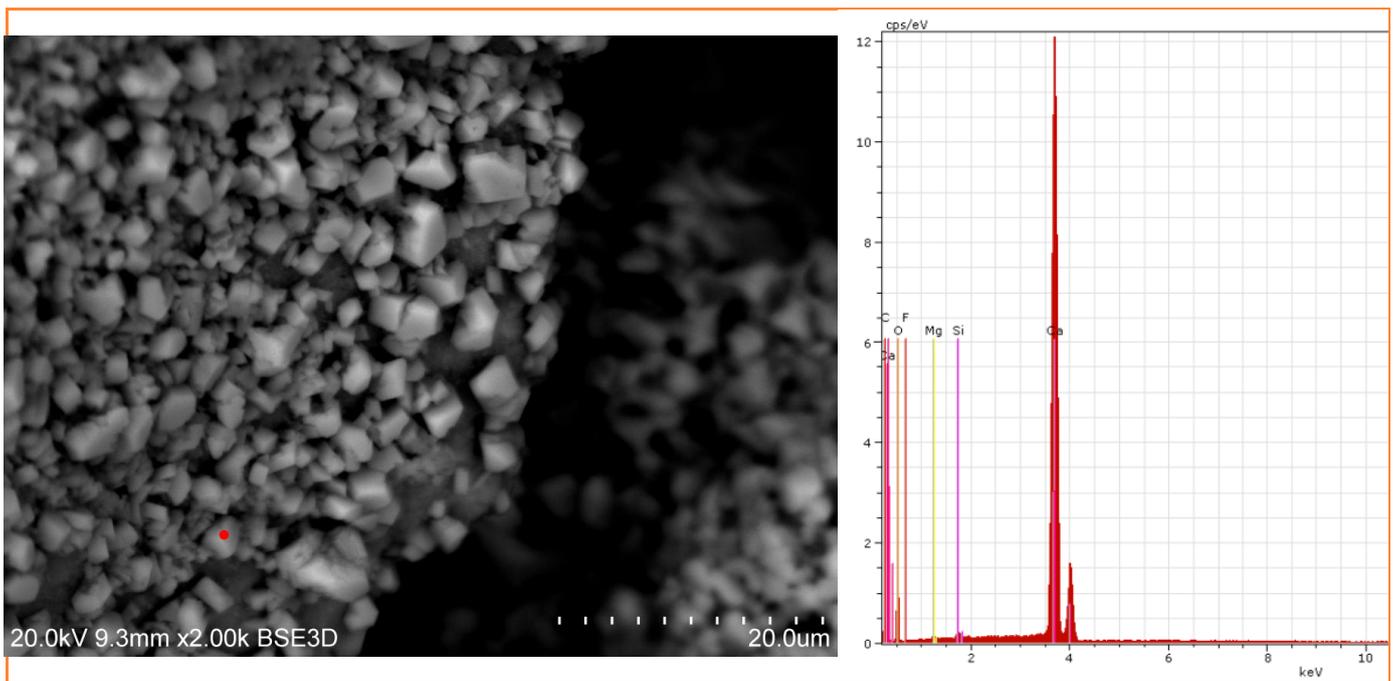


Figura 74 - SEM/EDS do BS na fissura aos 30 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

No caso do BBA1 na argila, na Fig. 75, aos 30 dias é abundante a existência de cristais calcite, a sua distribuição é homogênea e os cristais têm todas dimensões idênticas, o EDS ajuda a confirmar a existência de carbonato de cálcio pelos pico de cálcio (Ca) e oxigénio (O) e revela ainda a existência de silicatos de cálcio pelos picos de silício (Si) e cálcio (Ca).

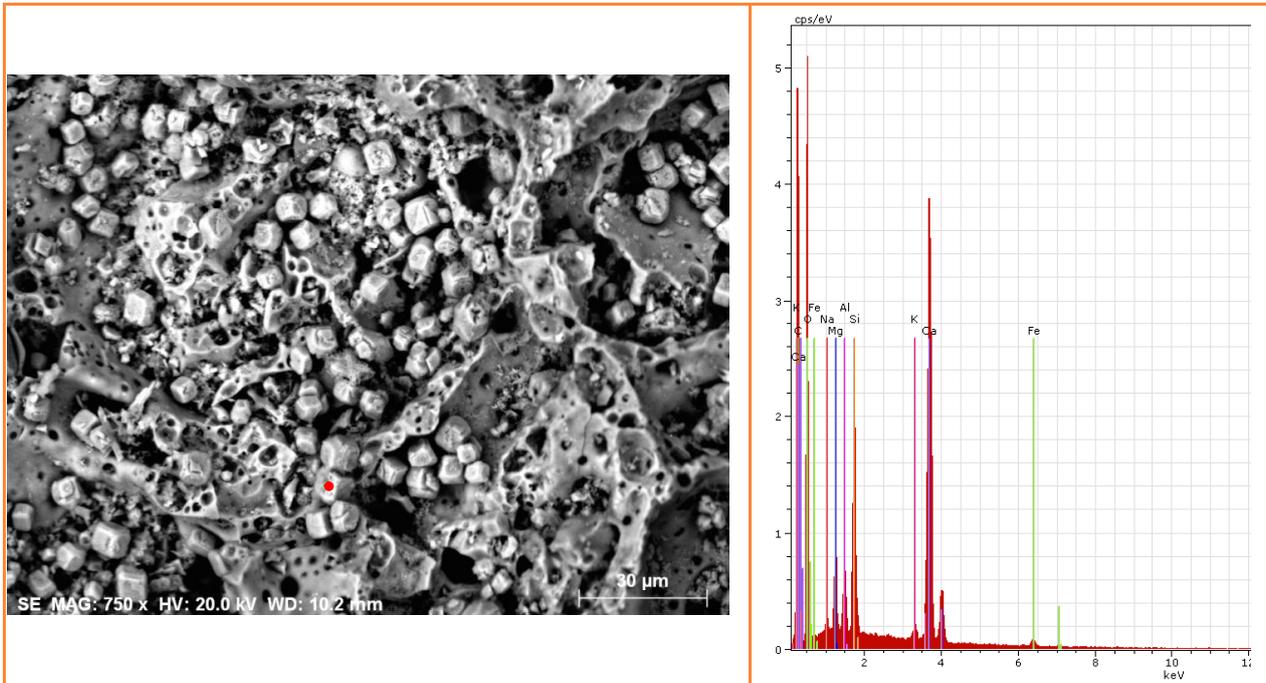


Figura 75 - SEM/EDS do BBA1 nos grãos de argila aos 30 dias.

Na Fig. 76 mostra os cristais encontrados na matriz do BBA1, aos 30 dias cristais de calcite de hábito prismáticos ao longo da amostra, aos 56 dias etringite, e aos 45 e 94 dias cristais de aragonite com forma prismática acicular e calcite com uma distribuição homogênea. E o EDS, Fig. 77-a) e b), confirma que existe carbonato de cálcio aos 45 e 94 dias pois mostra picos de cálcio (Ca) e oxigénio (O) em ambas as amostras e picos de carbono (C) devido a metalização da amostra.

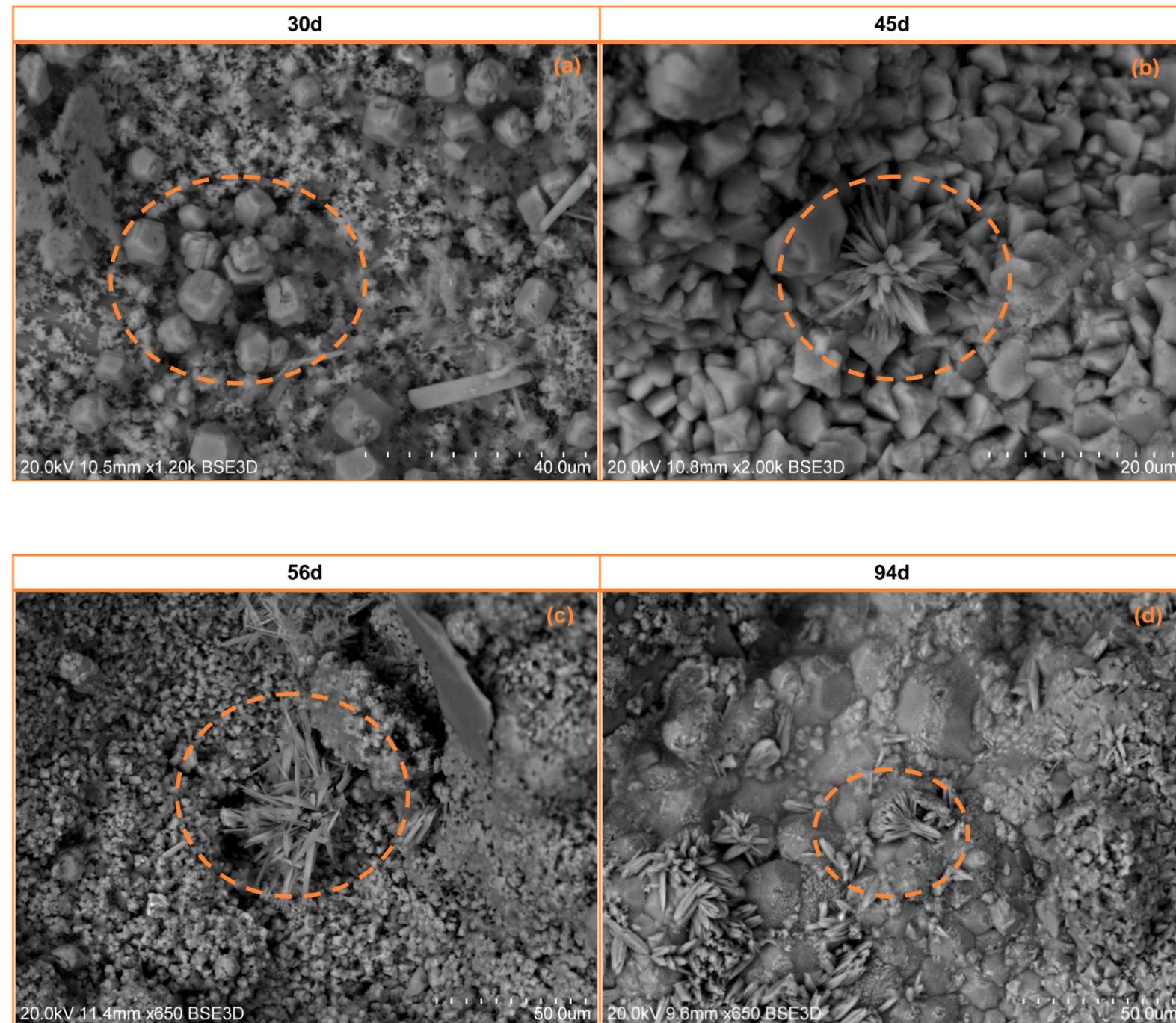


Figura 76 - SEM do BBA1 na matriz.

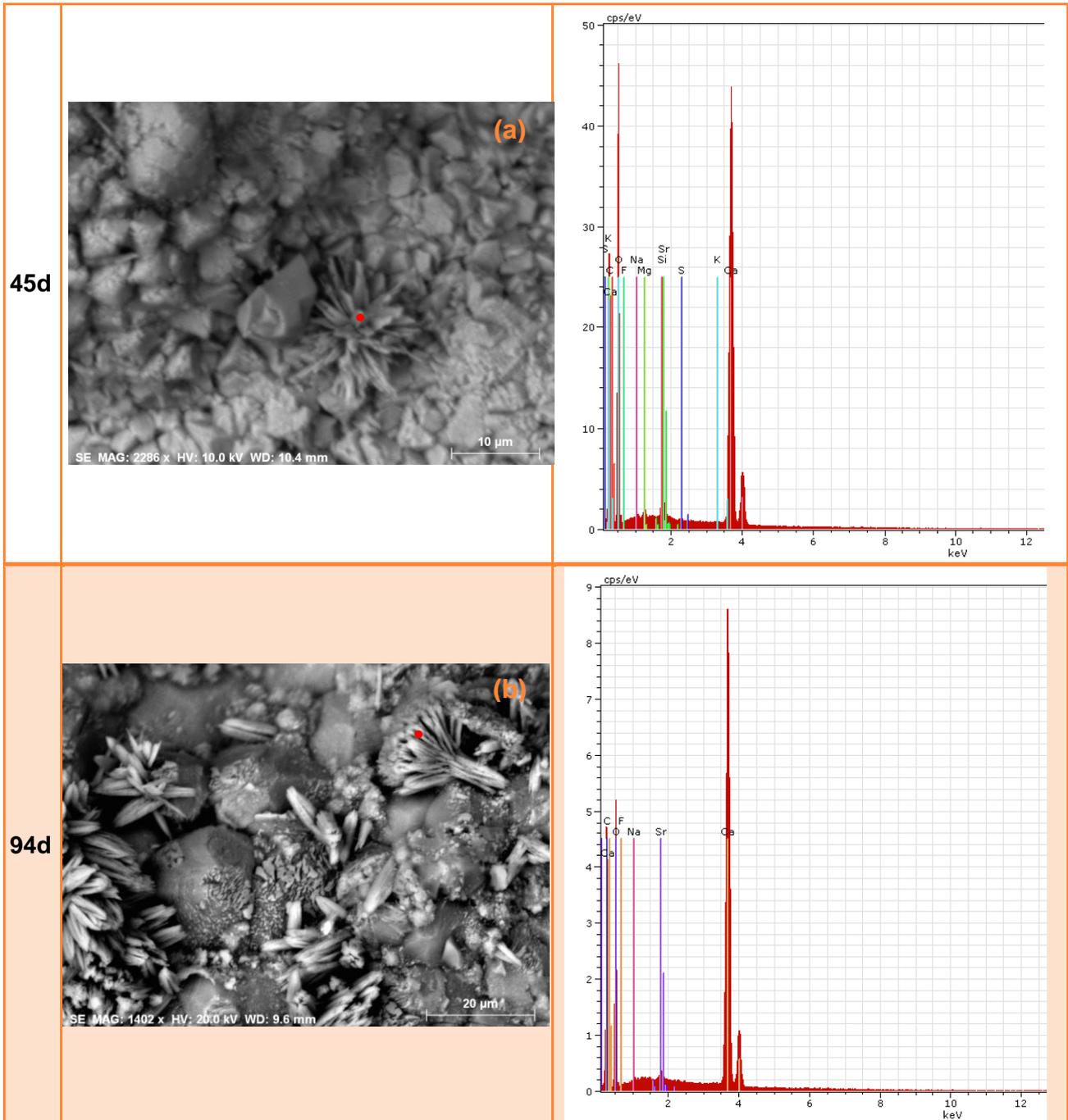


Figura 77 - EDS do BBA1 na matriz.

Na fissura do BBA1 foram encontrados alguns cristais de carbonato de cálcio (Fig. 78), aos 14 dias existem cristais perfeitos de calcite de tamanhos variados, aos 30 dias aparecem cristais de calcite, e aos 45 e 94 dias existem novamente cristais de calcite e em todos os ensaios os cristais tinham uma distribuição homogénea ao longo da fissura. Da Fig. 79-a) à Fig. 79-d) a composição dos cristais encontrados através do EDS é sempre cálcio (Ca) e oxigénio (O) em todas as idades logo revela carbonato de cálcio e picos de carbono (C) devido a metalização.

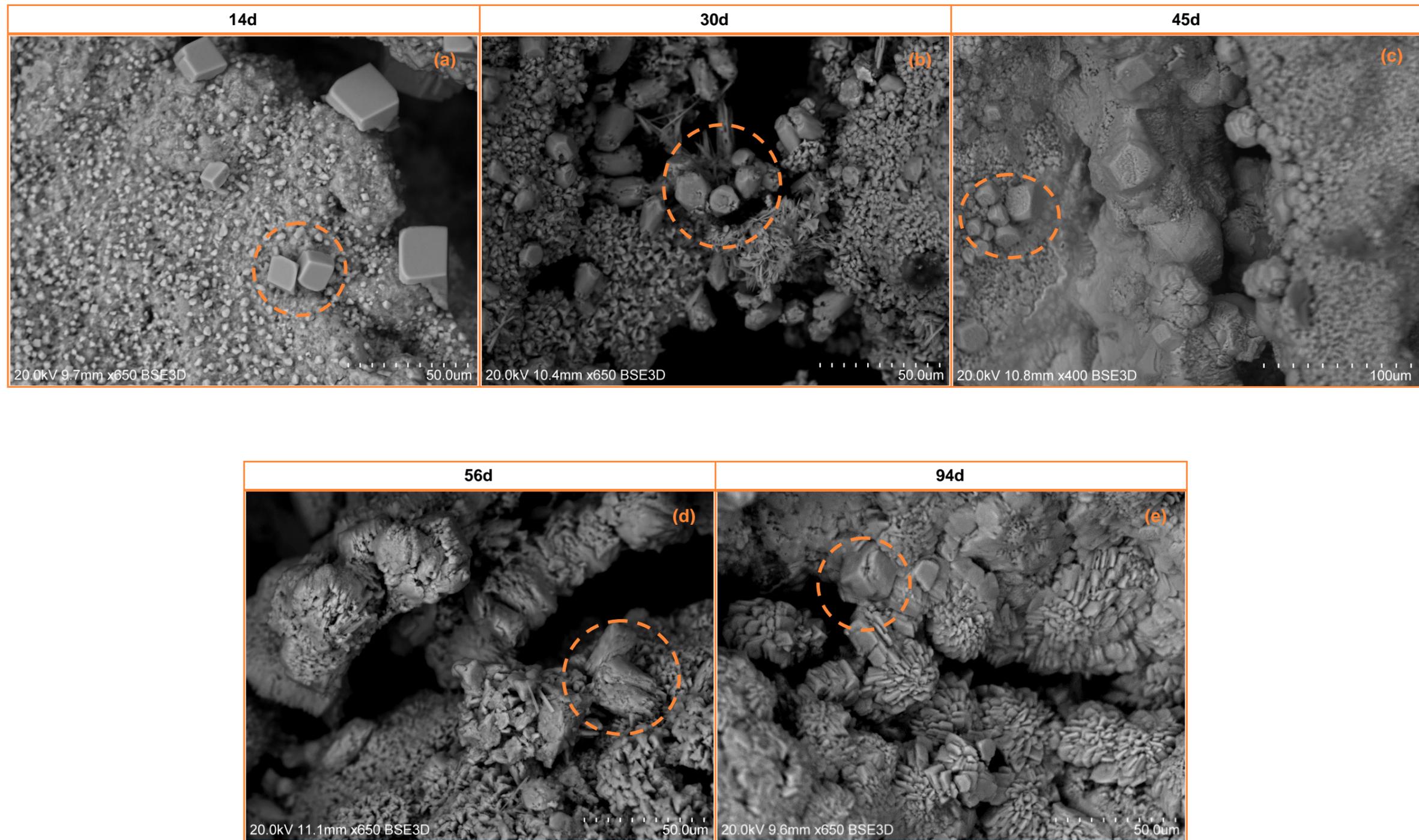


Figura 78 - SEM do BBA1 na fissura.

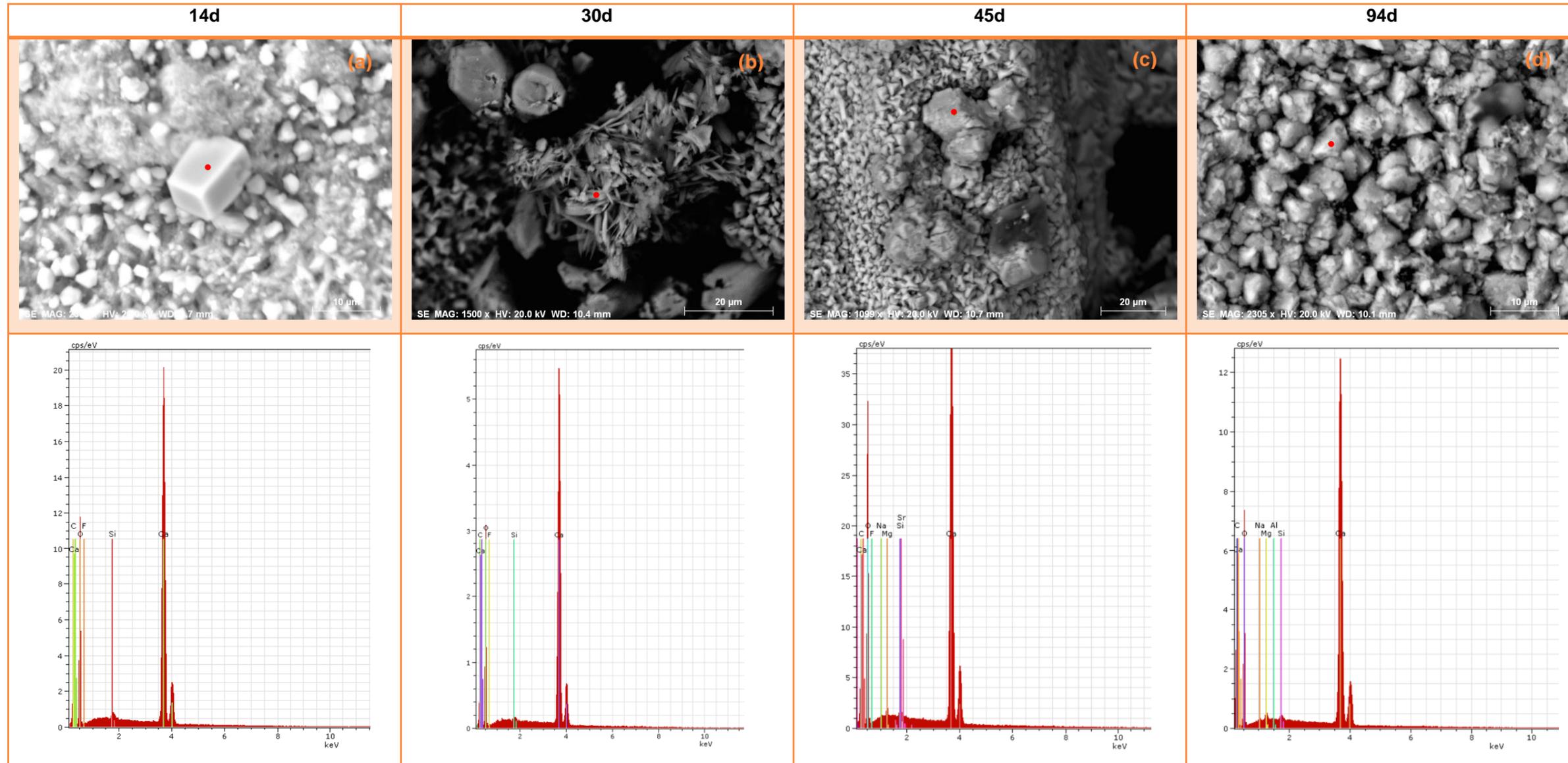


Figura 79 - SEM/EDS do BBA1 na fissura.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Na argila do BBS1, Fig. 80, encontrou-se um cristal de calcite de forma romboédrica aos 45 dias e um cristal de calcite aos 94 dias com uma forma muito particular mas com o apoio do EDS, Fig. 81, comprova-se que é calcite pois os picos deste cristal são cálcio (Ca) e oxigénio (O) e picos de carbono (C) devido a metalização que a amostra sofreu.

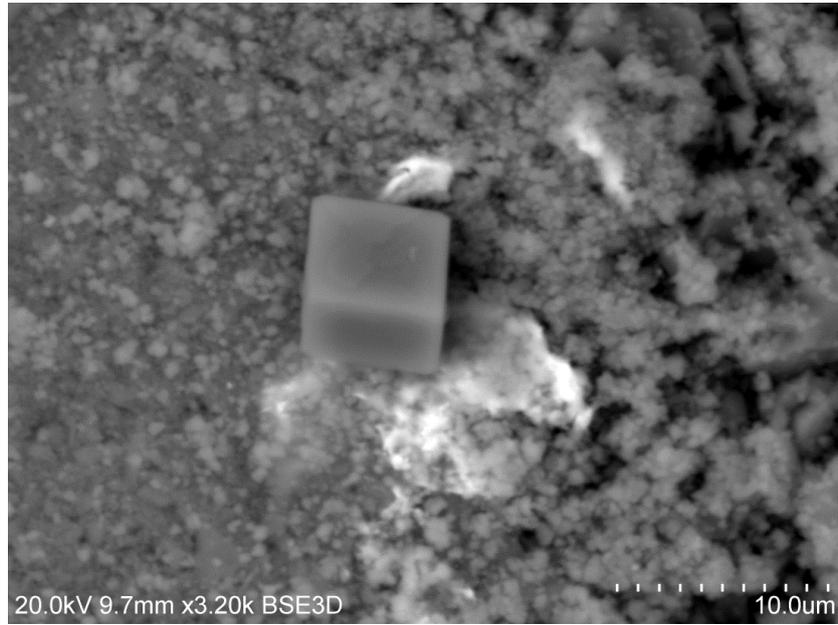


Figura 80 - do BBS1 nas argilas expandidas aos 45 dias.

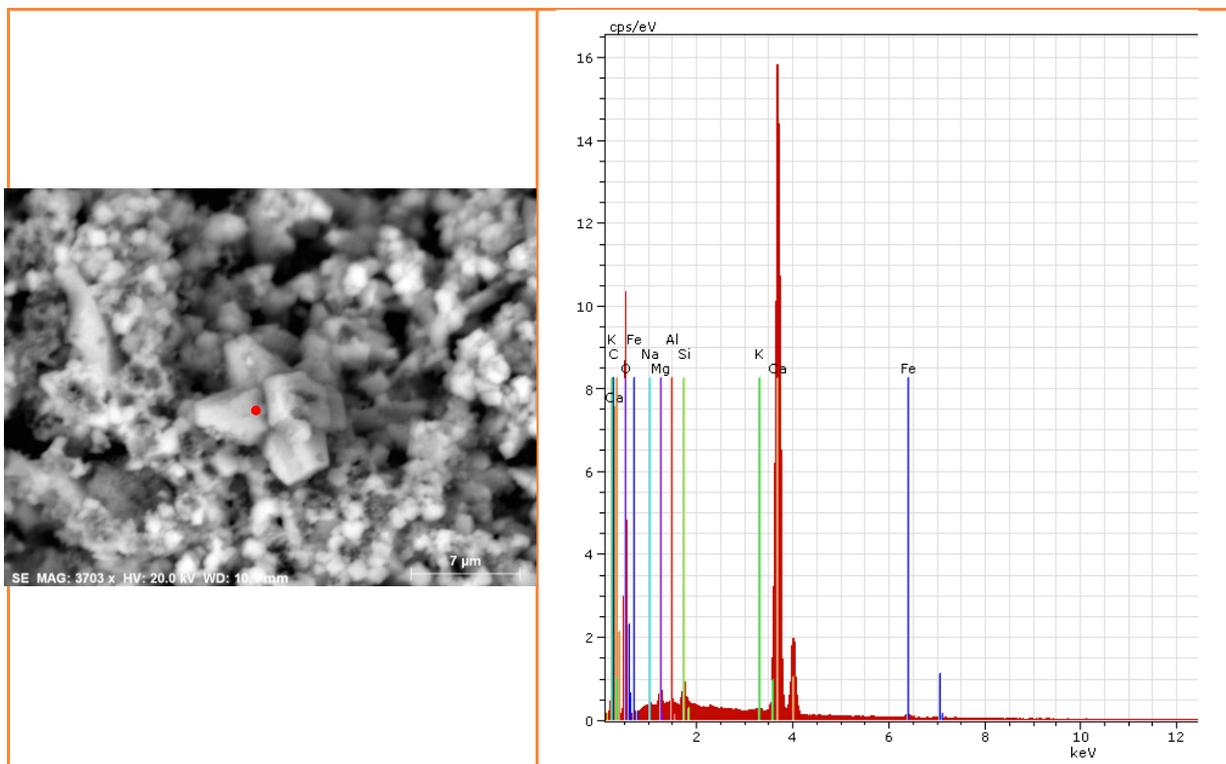


Figura 81 - SEM/EDS do BBS1 nas argilas expandidas aos 94 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

No caso da matriz do BBS1 aos 45 dias encontrou-se muitos cristais de aragonite e calcite de forma romboédrica espalhados ao longo da amostra de uma forma homogénea e aos 56 dias foram novamente encontrados cristais de calcite de forma romboédrica e aragonite em forma de agulhas mas apenas uma zona específica amontoados uns dos outros, como mostra a Fig. 82.

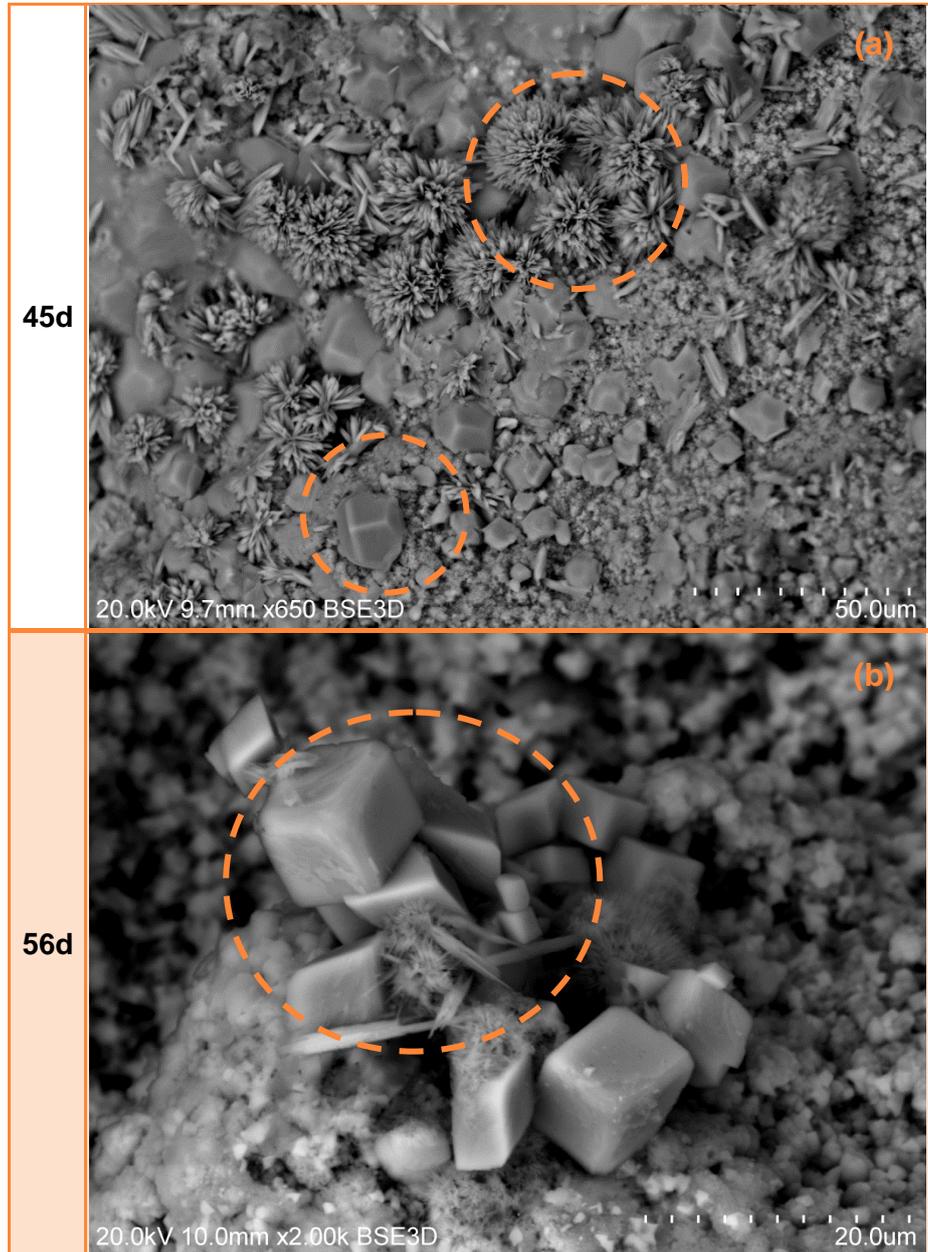


Figura 82 - SEM do BBS1 na matriz.

Para a fissura do BBS1, Fig. 83, aos 14 dias foram encontrados cristais de silicatos de cálcio, aos 45 dias foram encontrados cristais de aragonite, e aos 56 dias foram encontrados cristais perfeitos de calcite e aragonite distribuídos de uma forma homogénea. Na Fig. 83-a) do EDS, existem os picos de silício (Si) e cálcio (Ca) o que mostra a presença de silicatos de cálcio, na Fig. 83-b) os picos são de cálcio (Ca) e

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

oxigénio (O) logo revela a presença de carbonato de cálcio na amostra. A Fig. 84 mostra três EDS feitos na mesma amostra, na Fig. 84-a) os picos revelam cálcio e oxigénio o que confirma a existência de calcite e na Fig. 90-b) e c) os picos também mostram cálcio e oxigénio o que identifica aragonite. Os EDS das Fig. 83 e 84 mostram a presença de carbono (C) devido a metalização feitas as amostras.

Na fissura do BBA2, Fig. 85, os cristais encontrados nas amostras de betão foram cristais de calcite aos 14 dias e aos 94 dias com forma romboédrica. Os EDS realizados a esses cristais, da Fig. 85-a) à c), revelou picos de cálcio (Ca) e oxigénio (O) aos 14, 56 e 94 dias que comprova a presença de carbonato de cálcio e picos de carbono (C) devido a metalização feita as amostras.

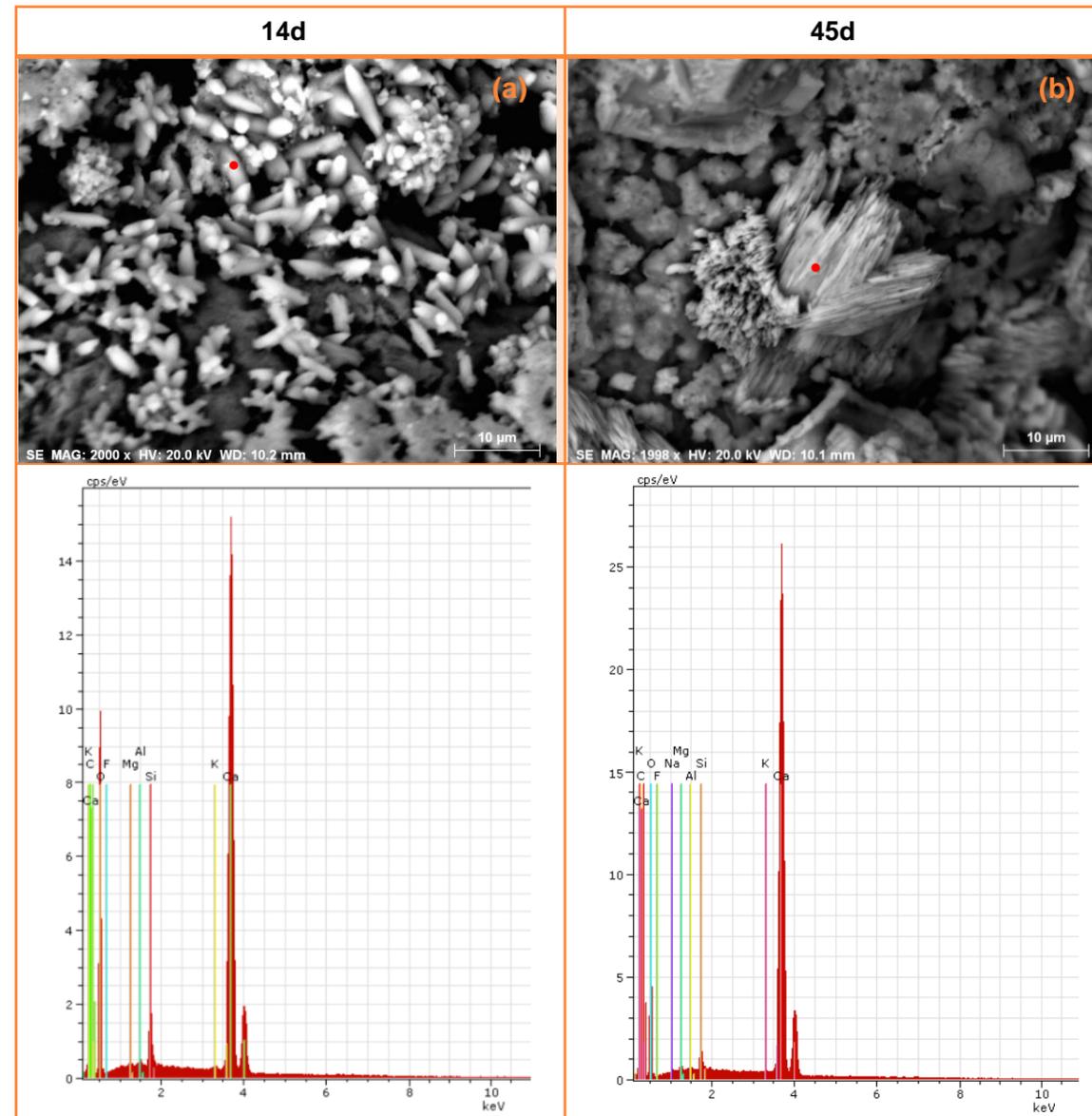


Figura 83 - SEM/EDS do BBS1 na fissura.

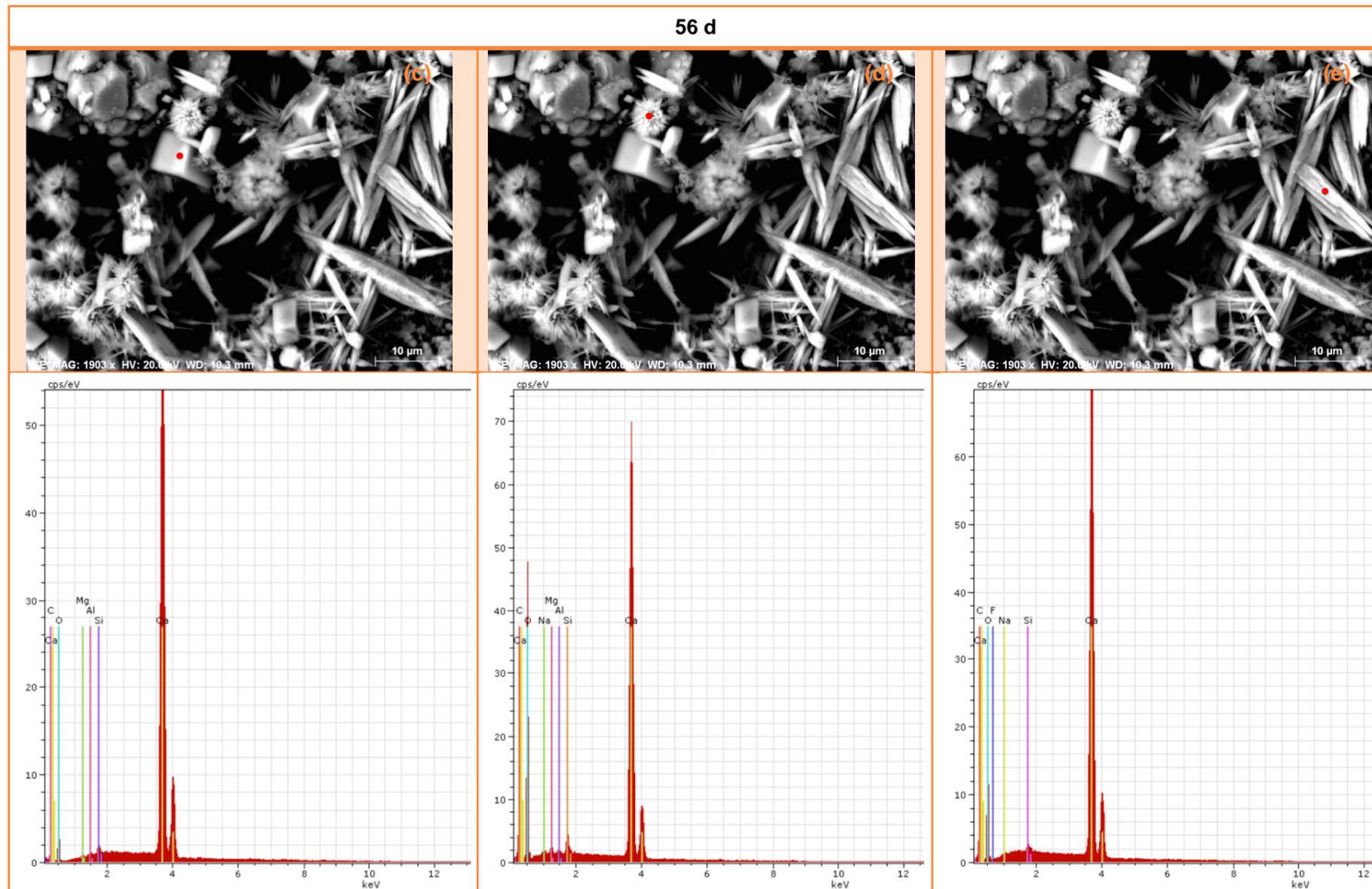


Figura 84 - SEM/EDS do BBS1 na fissura

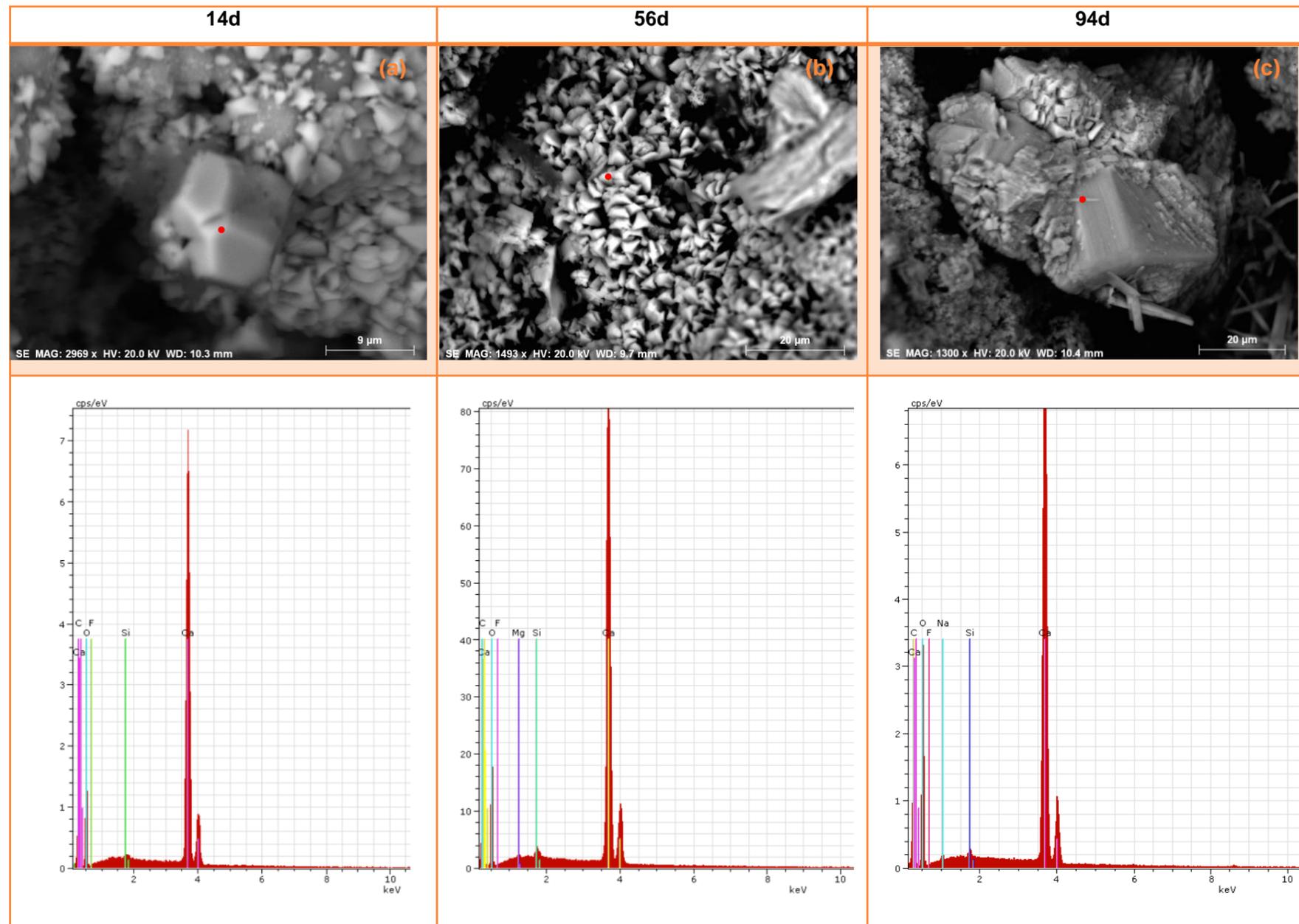


Figura 85 - SEM/EDS do BBA2 na fissura.

A Fig. 86 revela a presença de argila tal como o EDS comprova na descrição dos elementos químicos encontrados que foram silício (Si), magesio (Mg), cálcio (Ca) e oxigenio (O).

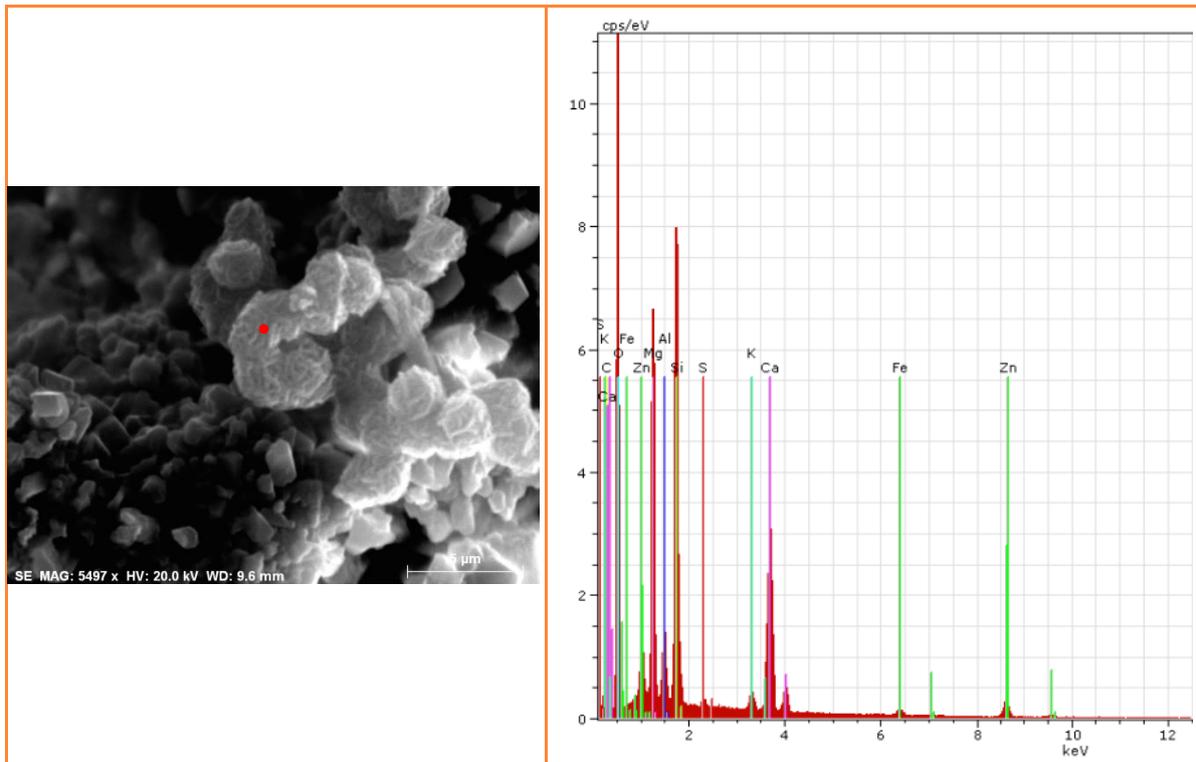


Figura 86 - SEM/EDS do BBS2 nas argilas expandidas aos 94 dias.

Na matriz do BBS2, Fig. 87, aos 14 dias é visível um cristal de aragonite com forma piramidal acicular e aos 94 dias cristais de calcite distribuídos de uma forma homogénea na amostra.

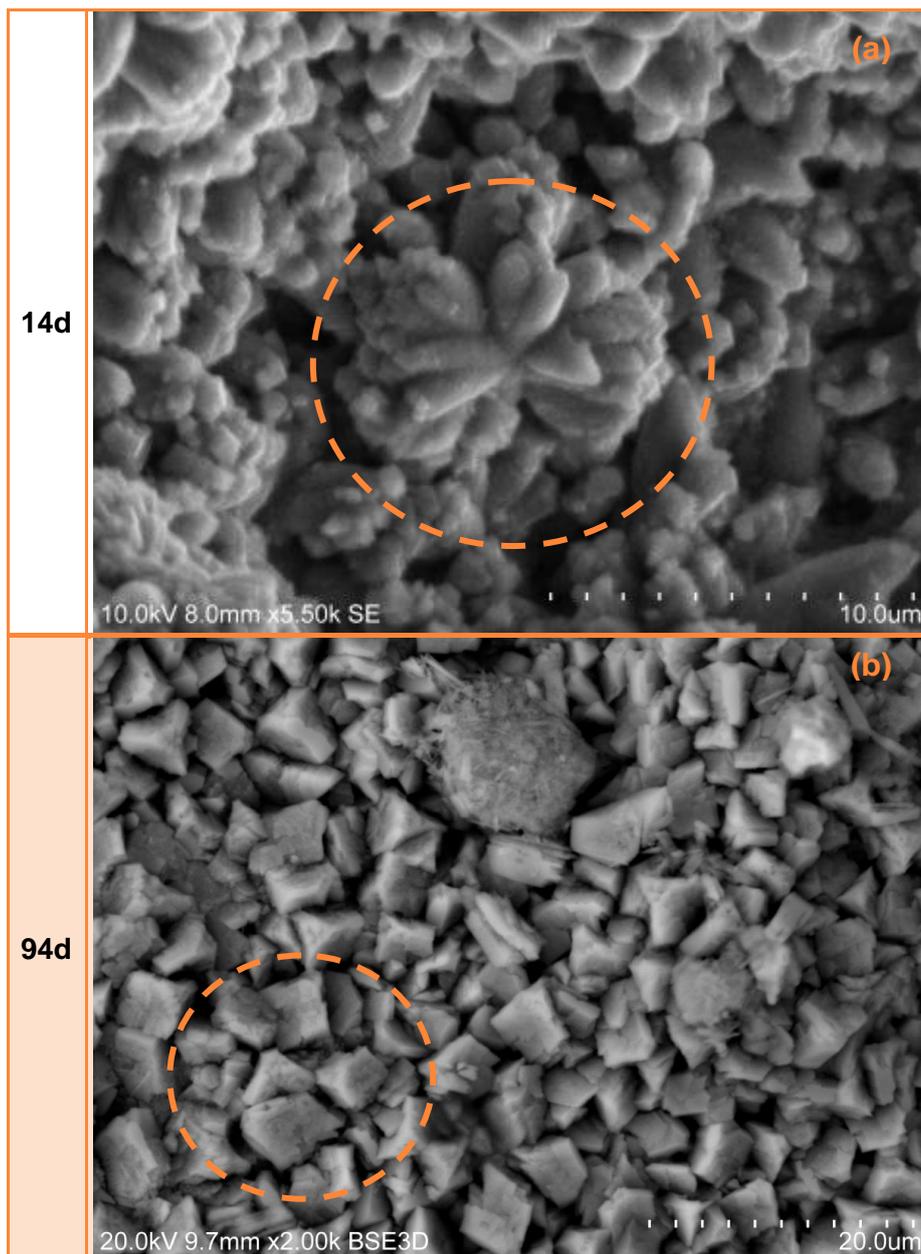


Figura 87 - SEM do BBS2 na matriz.

Na fissura do BBS2, como mostra a Fig. 88, foram encontrados cristais de aragonite aos 14 dias e novamente aos 94 dias com grandes dimensões e no interior da fissura analisada. Com a ajuda do EDS, Fig. 89, pode-se afirmar que aos 14 dias existe carbonato de cálcio pois os picos indicaram cálcio (Ca) e oxigénio (O), aos 94 dias também se observou picos de cálcio (Ca) e oxigénio (O) o que confirmou a presença de carbonato de cálcio e em todos os ensaios identificou-se pico de carbono (C) devido a metalização.

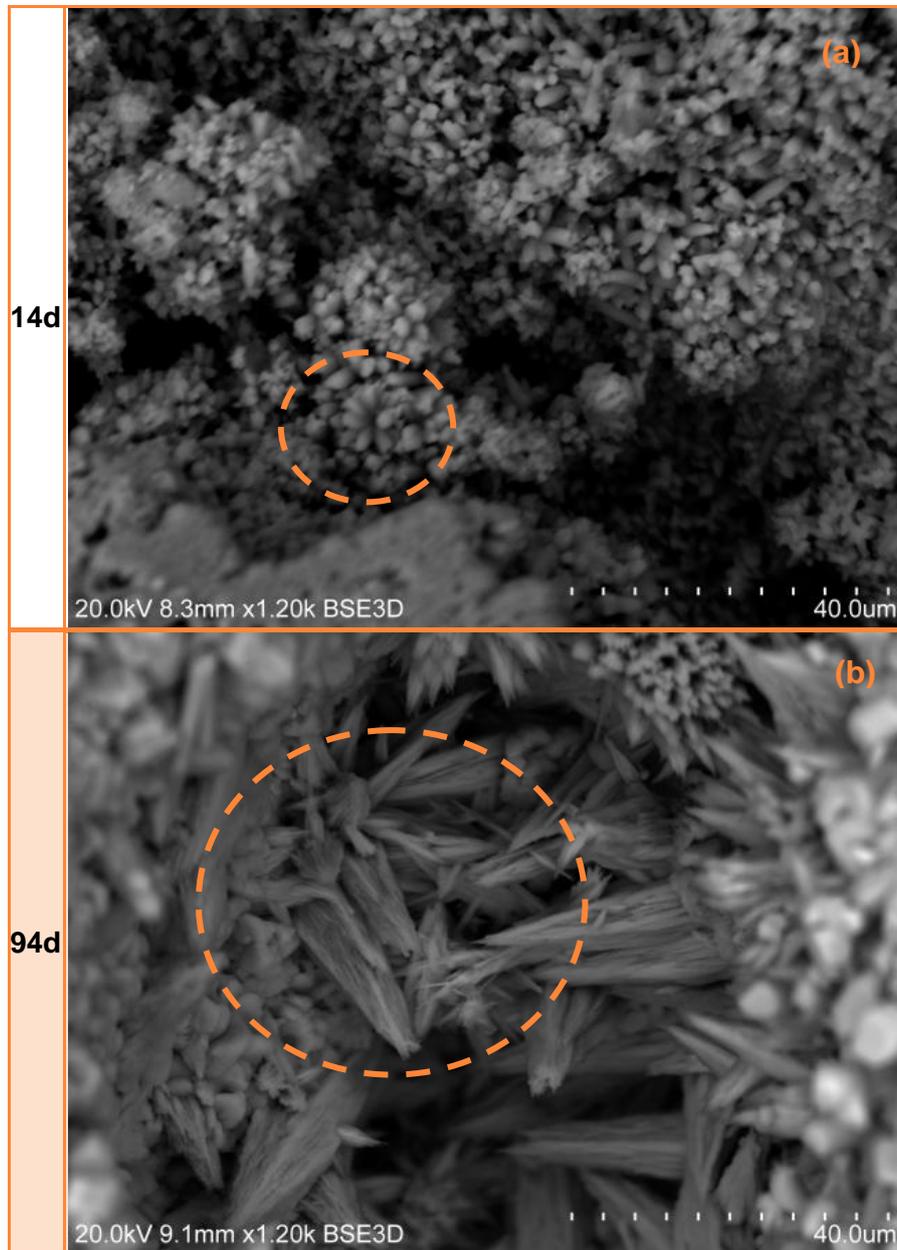


Figura 88 - SEM do BBS2 na fissura.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

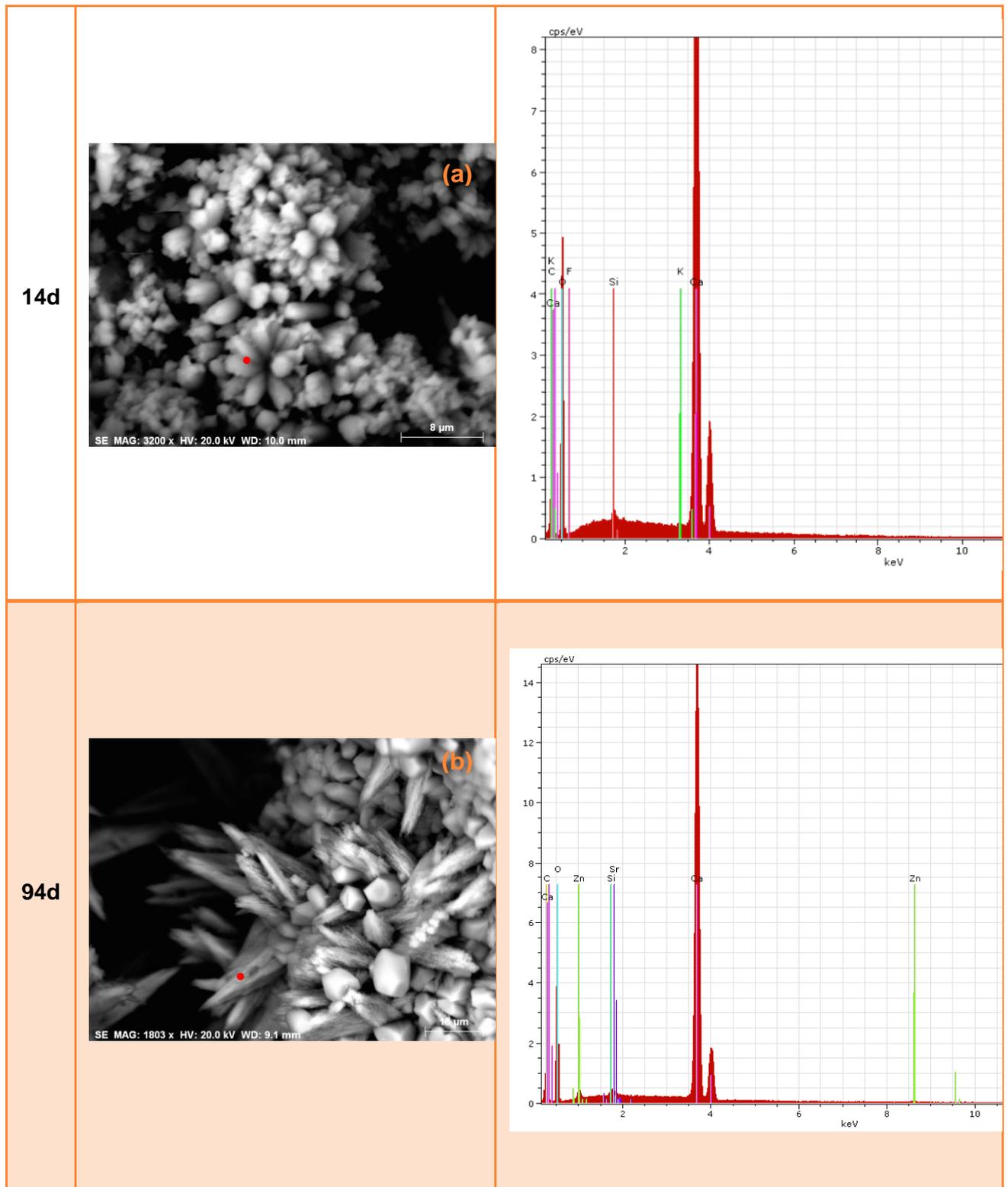


Figura 89 - SEM/EDS do BBS2 na fissura.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Na observação visual com o auxílio do Microscópio estéreo zoom apenas do BBA2 e BBS2 foi evidente os depósitos de cristas de carbonato de cálcio ao longo das fissuras, mas com o SEM/EDS ao longo dos ensaios encontrou-se cristais de calcite e aragonite em grandes quantidades e distribuídos de forma homogénea no BBA2 e BBS2 mas também no BBA1 e BBS1. Através do SEM/EDS também foi possível observar cristais de calcite de hábito romboédrico e aragonite de hábito piramidal acicular em algumas amostras mas em menor quantidade por vezes apenas um único cristal. Unicamente na amostra analisada à fissura do BA aos 56 dias foram observados vários cristais de aragonite em forma de agulhas.

5.4 Difração de Raios-X (DRX)

Os ensaios foram feitos nos dias previstos mas os resultados são analisados todos na mesma altura para que possa haver uma coerência na sua análise.

A Fig. 93 mostra os gráficos resultantes da análise da difração de Raios-X ao betão BASE nos três tempos diferentes (14, 30 e 56 dias). Pode-se observar a existência da etringite em que no betão BASE aos 14 dias tem dois picos no 9 e no 11 na abcissa do 2θ , e aos 30 e 56 dias já revela mais um pico do que nos anteriores que é aos 23 na abcissa do 2θ , daí o seu valor percentual aumentar ao longo do ensaio como se pode ver na Tabela 20. A calcite nos três gráficos tem pontos que se mantêm desde o início até ao fim e outros que aparecem apenas no último gráfico da Fig. 93. Ao se analisar a última figura tem-se mais indícios de calcite do que nos anteriores e em termos percentuais no último ensaio o valor é mais elevado.

Na Tabela 20 pode-se analisar os resultados obtidos na difração Raios-X para o betão BASE nos três tempos diferente do ensaio. Para o ensaio aos 14 dias os minerais que existem em maior quantidade são a portlandita, a gorgeyita, a calcite e a vaterite, os restantes minerais encontram-se vestígios, tais como a etringite e aragonite. Aos 30 dias encontram-se a portlandita, a gorgeyita e a vaterite e os restantes em vestígios como é o exemplo da aragonite, a calcite e etringite, já aos 56 dias encontram-se os minerais de portlandita, etringite, gorgeyita, calcite e vaterite e vestígios de aragonite. Pode-se concluir que no betão BASE a aragonite é o mineral em menor quantidade ao longo dos três ensaios e a portlandita é o mineral em maior quantidade nas amostras analisadas.

Tabela 20 - Resultados da difração Raios-X do betão BASE.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	3,6 %	5,9 %	5,0 %
Etringite	0,9 %	1,0 %	2,2 %
Gorgeyita	1,8 %	1,1 %	2,2 %
Calcite	1,5 %	0,9 %	2,5 %
Aragonite	0,4 %	0,4 %	0,8 %
Vaterite	1,1 %	1,1 %	1,8 %

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Para o BA no ensaio aos 14 dias os minerais que existem em maior quantidade são a portlandita, a etringite, a gorgeyita, a calcite e a vaterite, mas a aragonite apenas apresenta vestígios, como a Tabela 21 indica. Aos 30 dias e aos 56 dias existe vestígios de aragonite e vaterite e todos os restantes minerais se encontram em maiores quantidades. A quantidade de calcite, aragonite e vaterite diminuem do primeiro ensaio para o último, sendo sempre a calcite que apresenta maiores quantidades, como se pode observar na Fig. 94.

Tabela 21 - Resultados da difração Raios-X do BA.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	9,8 %	4,4 %	6,3 %
Etringite	2,3 %	1,3 %	1,9 %
Gorgeyita	2,8 %	1,2 %	1,8 %
Calcite	2,7 %	1,5 %	1,5 %
Aragonite	0,9 %	0,4 %	0,6 %
Vaterite	2,0 %	0,8 %	0,8 %

Todas as figuras do BS estão na Fig. 95. Pela análise dos três gráficos é facilmente visível que no primeiro gráfico a quantidade de calcite é muito maior do que nos outros dois gráficos.

É de notar que o BS, Tabela 22, aos 14 dias obteve uma percentagem de calcite muito elevada, maior do que a encontrada no BA aos 14 dias. A vaterite também tem uma percentagem elevada ao longo dos três gráficos, sendo também superior a BA. A aragonite quase não apresenta cristais nos três gráficos.

Tabela 22 - Resultados da difração Raios-X do BS.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	8,4 %	4,1 %	6,1 %
Etringite	1,9 %	1,5 %	2,0 %
Gorgeyita	4,1 %	1,6 %	2,6 %
Calcite	7,3 %	1,6 %	2,3 %
Aragonite	1,3 %	0,6 %	0,7 %
Vaterite	1,7 %	1,2 %	1,7 %

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

No caso do BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 é de esperar que a quantidade de calcite, aragonite e vaterite seja maior do que a que se encontrou no betão BASE, BA ou BS.

Para o BBA1 nos gráficos da Fig. 96 pode-se observar que a quantidade de calcite aumenta no último gráfico.

No BBA1, a portlandita é o mineral com maior representação em termos percentuais, como mostra a Tabela 23. A calcite e a vaterite encontram-se em pequenas quantidades ao longo dos três gráficos e a aragonite apresenta apenas vestígios nos três gráficos.

Tabela 23 - Resultados da difração Raios-X do BBA1.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	6,2 %	9,3 %	5,2 %
Etringite	1,7 %	1,8 %	1,5 %
Gorgeyita	1,7 %	2,0 %	1,9 %
Calcite	1,4 %	1,6 %	2,2 %
Aragonite	0,7 %	0,7 %	0,7 %
Vaterite	1,8 %	1,1 %	1,3 %

No caso do BBS1 pode-se constatar que a vaterite diminui de percentagem ao longo do tempo, como mostra a Tabela 24 e a Fig. 97. Foram ainda identificados alguns picos como portlandita, calcite, etringite e gorgeyita.

No BBS1 o mineral que tem quantidades percentuais relevantes é a portlandita, para a calcite a percentagem é ligeiramente mais elevada do que no BBA1 e a aragonite apresenta apenas vestígios, na Tabela 24.

Tabela 24 - Resultados da difração Raios-X do BBS1.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	7,9 %	8,3 %	6,4 %
Etringite	2,0 %	2,2 %	1,6 %
Gorgeyita	2,2 %	2,4 %	1,9 %
Calcite	2,2 %	2,1 %	2,6 %
Aragonite	1,2 %	0,8 %	0,8 %
Vaterite	1,7 %	1,4 %	1,3 %

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

O BBA2 na Fig. 98 não apresenta aragonite aos 14 dias mas nos outros gráficos já existe. Isto revela que a quantidade de cristais de aragonite aumentou com o passar do tempo, como se pode também constatar na Tabela 25.

Para o BBA2, Tabela 25, o mineral em maior quantidade é a portlandita. A calcite e a vaterite apresenta pequenas quantidades, mas a aragonite apenas se encontram vestígios.

Tabela 25 - Resultados da difração Raios-X do BBA2.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	8,5 %	9,7 %	9,1 %
Etringite	1,6 %	2,3 %	1,9 %
Gorgeyita	2,1 %	2,1 %	1,9 %
Calcite	1,8 %	2,2 %	2,3 %
Aragonite	0,6 %	0,8 %	0,9 %
Vaterite	1,3 %	1,2 %	1,5 %

No BBS2, Tabela 26 e Fig. 99, tal como no BBA2 o mineral que se encontra em maior quantidade é a portlandita. A calcite e a vaterite encontram-se em pequenas quantidades e a aragonite apenas apresenta alguns vestígios.

Tabela 26 - Resultados da difração Raios-X do BBS2.

Nome do componente	14 dias	30 dias	56 dias
Portlandita	6,5 %	8,4 %	5,2 %
Etringite	1,6 %	2,9 %	1,2 %
Gorgeyita	1,7 %	3,0 %	1,6 %
Calcite	1,8 %	3,0 %	1,7 %
Aragonite	0,6 %	1,0 %	0,5 %
Vaterite	1,6 %	1,7 %	1,4 %

Pode-se concluir ainda que ao longo dos três ensaios entre o BBA2 e BBS2, o que mantêm ao longo ao tempo um aumento constante na quantidade de carbonato de cálcio é o BBA2, apesar do ensaio aos 30 dias do BBS2 revelar as quantidades mais elevadas de carbonato de cálcio mas essa quantidade diminui bastante no ensaio aos 56 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

Os gráficos seguintes, Fig. 90 à 92, resumem os resultados obtidos pelo DRX ao longo do tempo para a Calcite, Aragonite e Vaterite para todas as amostra analisadas.

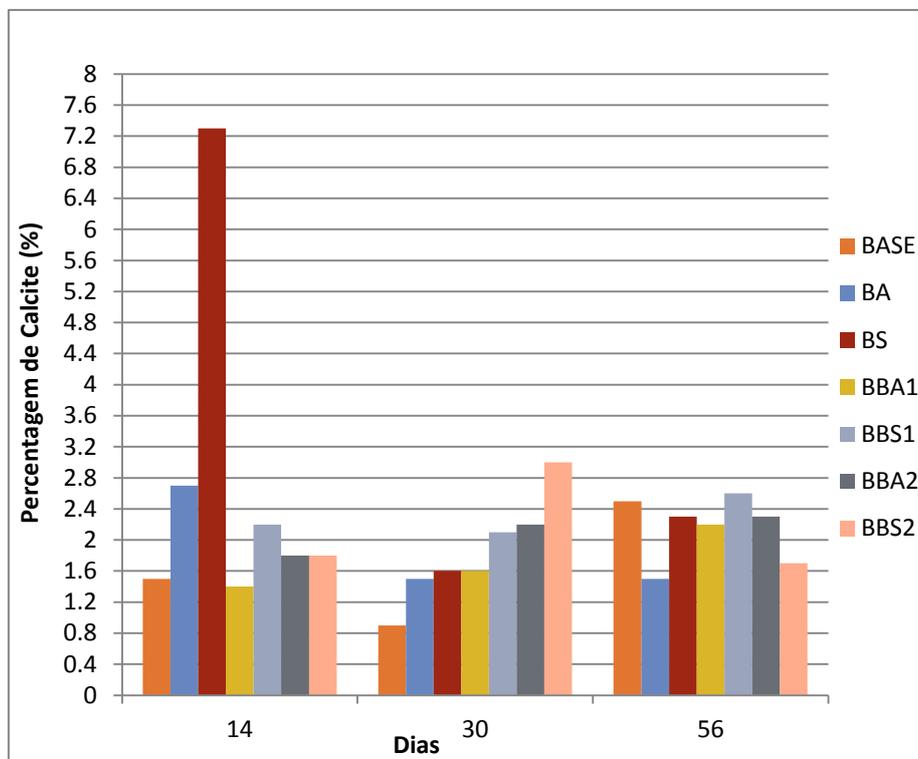


Figura 90 - Percentagem de Calcite para os diferentes betões analisados através do DRX

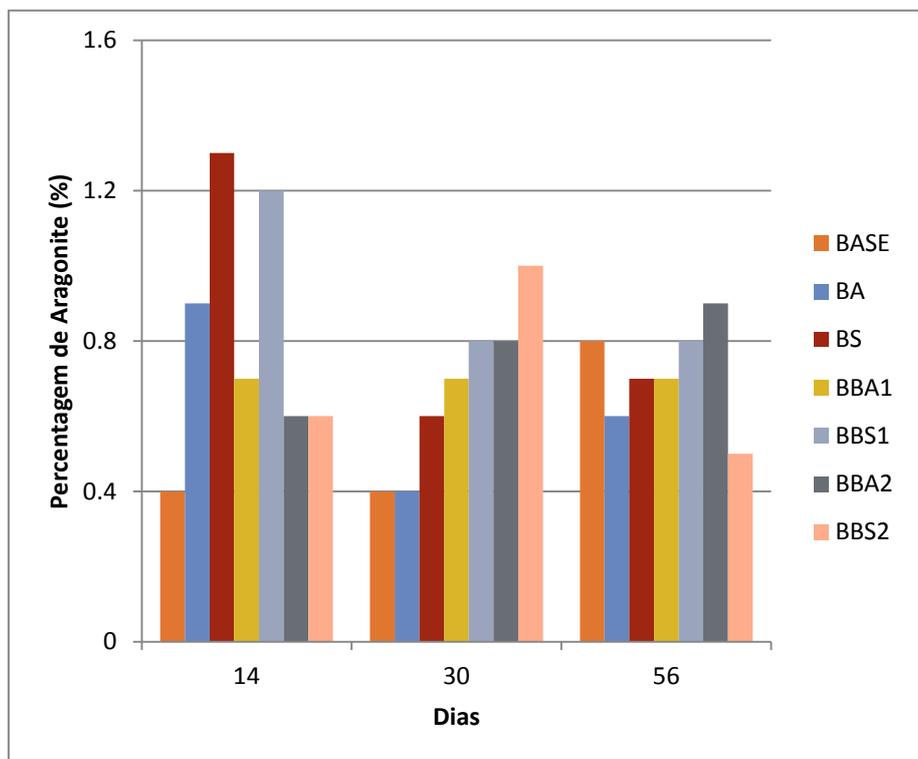


Figura 91 - Percentagem de Aragonite para os diferentes betões analisados através do DRX

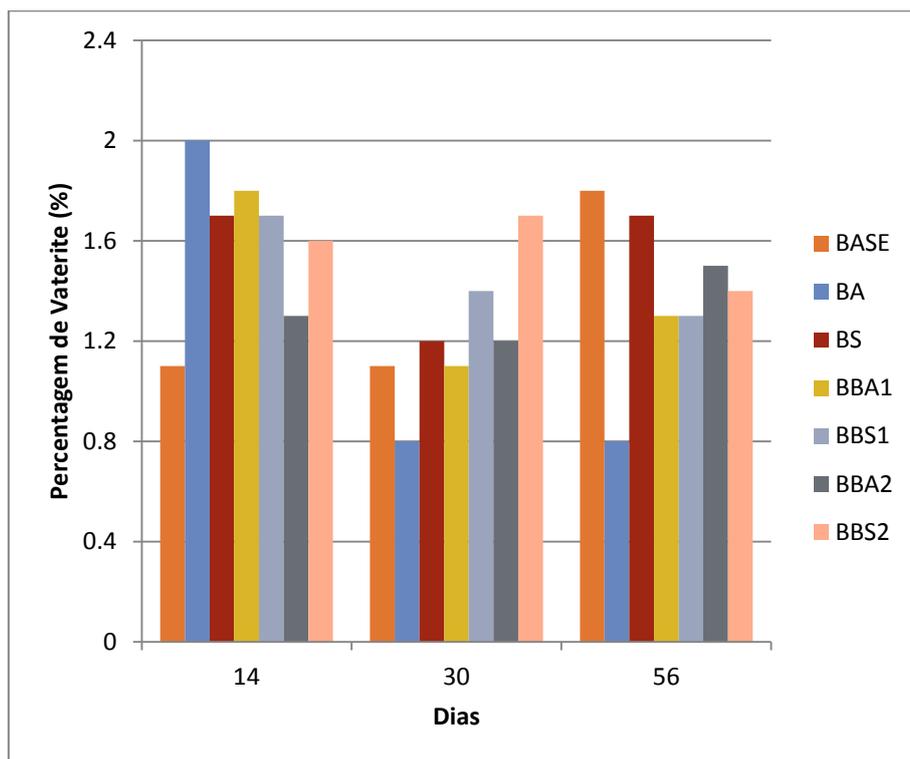


Figura 92 - Percentagem de Vaterite para os diferentes betões analisados através do DRX

Ao se comparar os resultados do DRX de todos tipos de betões o que apresenta melhores resultados é o BBA2, porque os cristais de calcite, aragonite e vaterite no BBA2 aumentam as suas percentagem ao longo de todos os ensaios de uma forma constante, demonstra ser o método mais estável no que diz respeito aos cristais de carbonato de cálcio.

Apesar de se detetar percentagens de vaterite em todos os ensaios de DRX feitos às amostras de betão nos ensaios do SEM/EDS nunca se encontrou cristais de vaterite nas amostras analisadas. A presença de calcite e aragonite no SEM/EDS é confirmada pelos ensaios DRX, pois os cristais são detetados pelo DRX em todas as amostras de betão.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

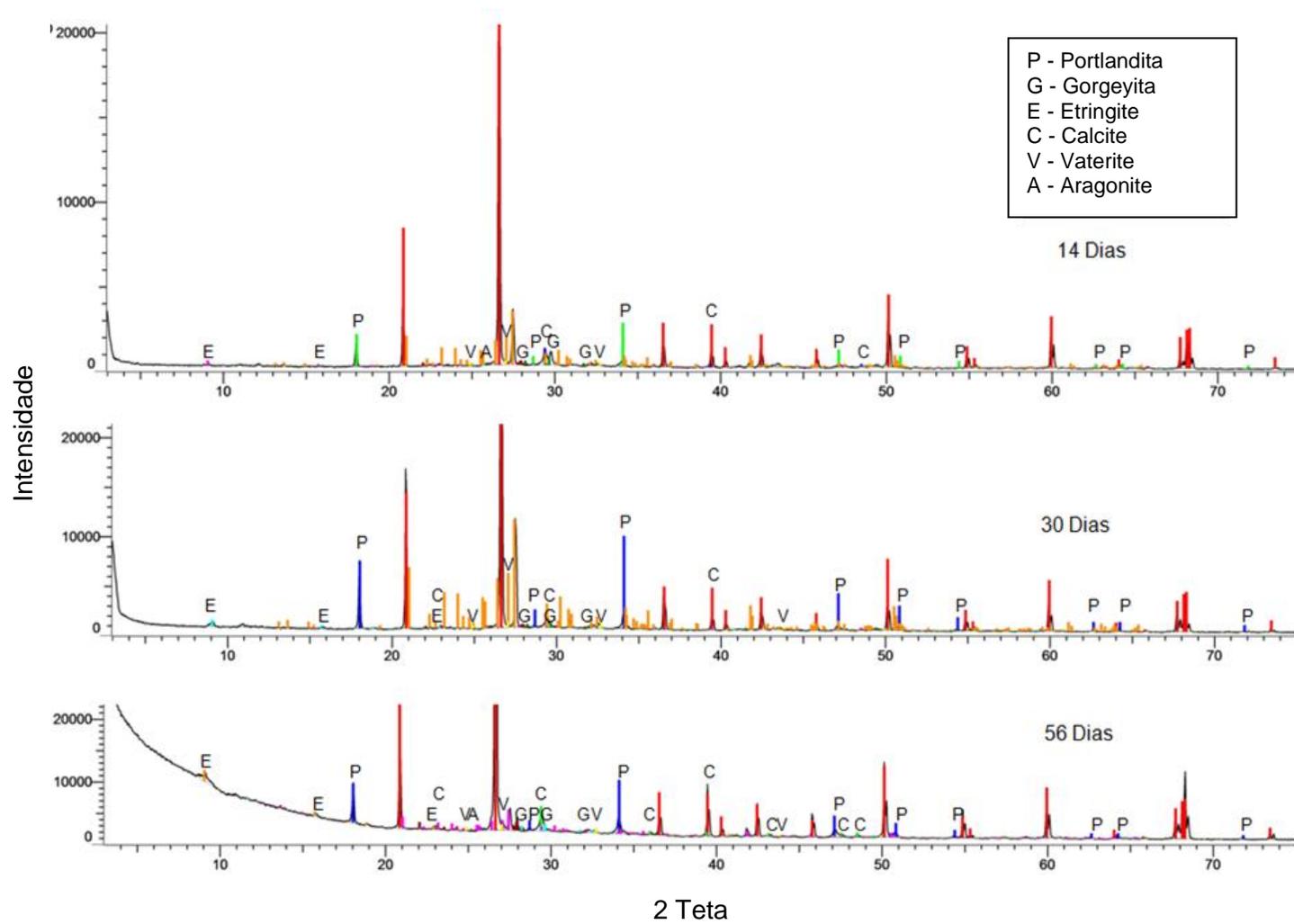


Figura 93 - DRX do betão BASE aos 14, 30 e 56 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

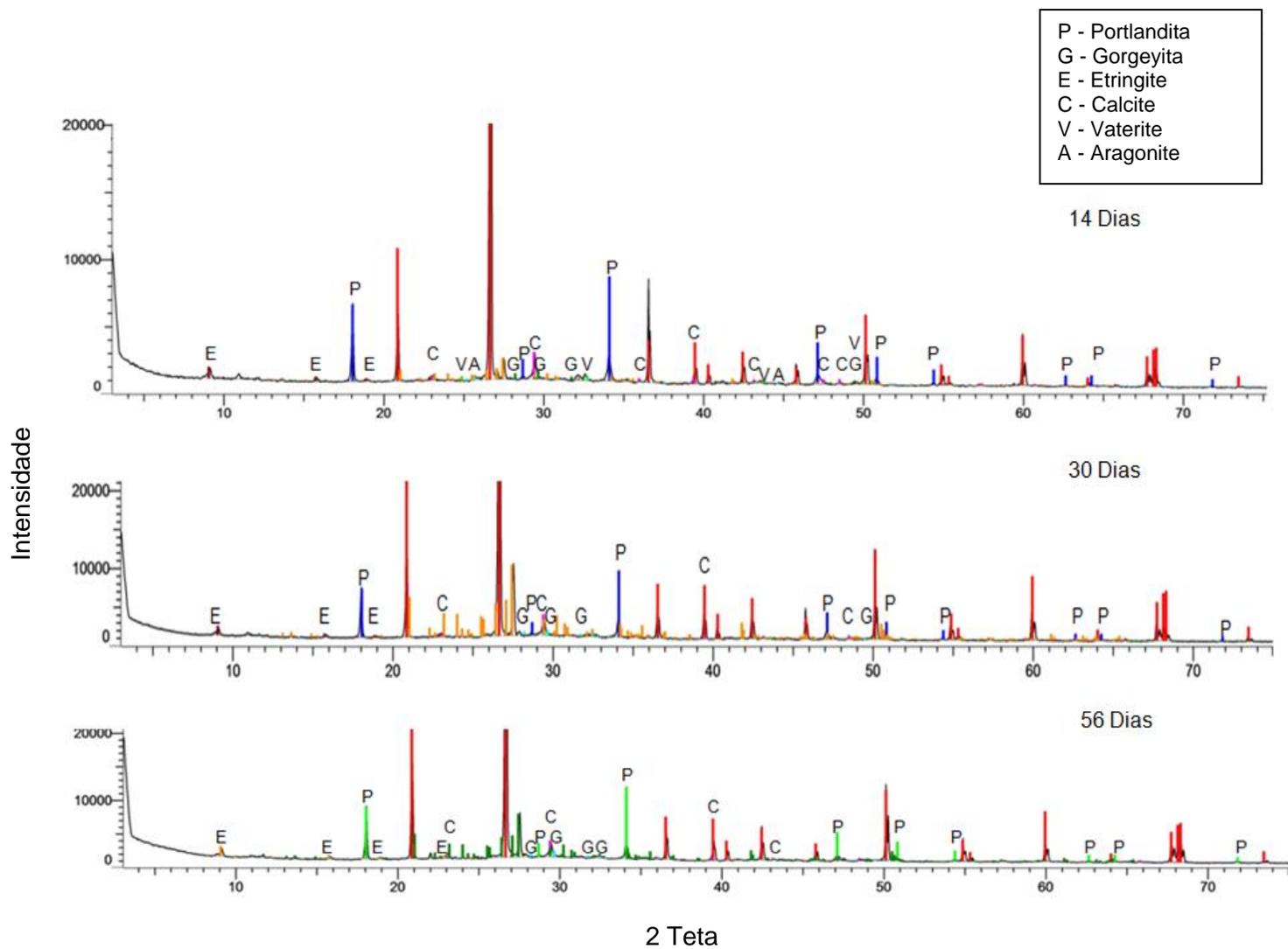


Figura 94 - DRX do BA aos 14, 30 e 56 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

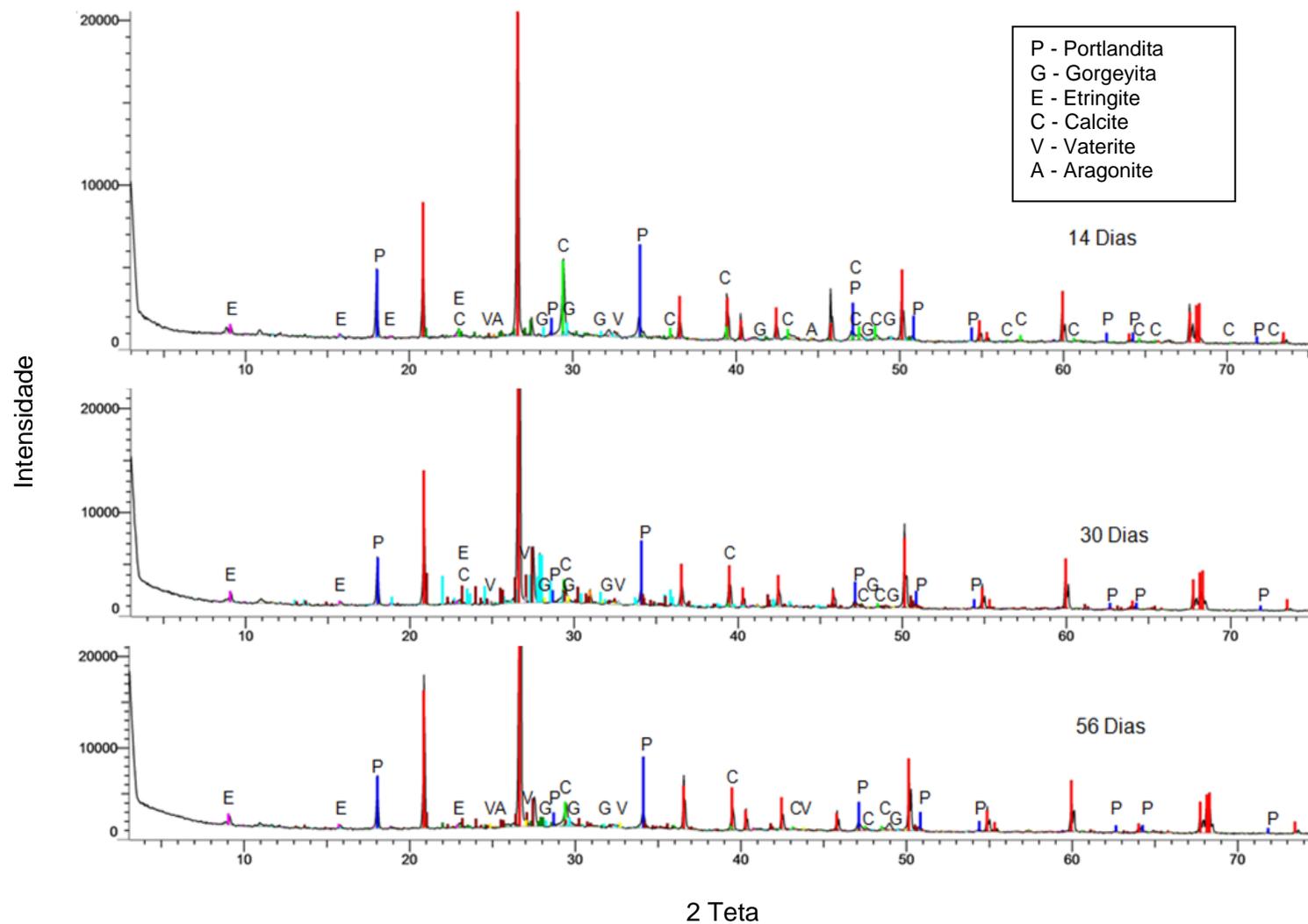


Figura 95 - DRX do BS aos 14, 30 e 56 dia.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

66

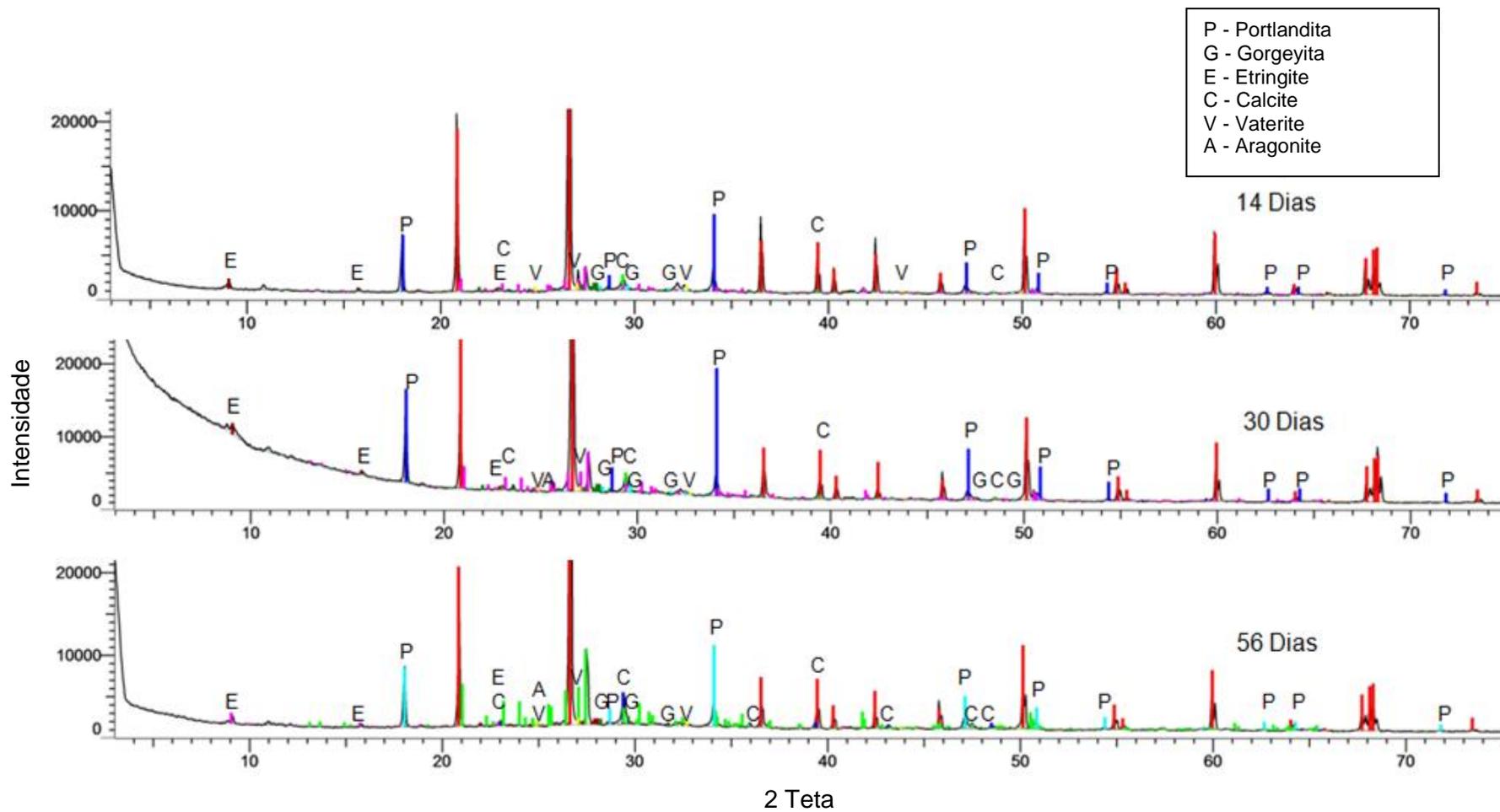


Figura 96 - DRX do BBA1 aos 14,30 e 56 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

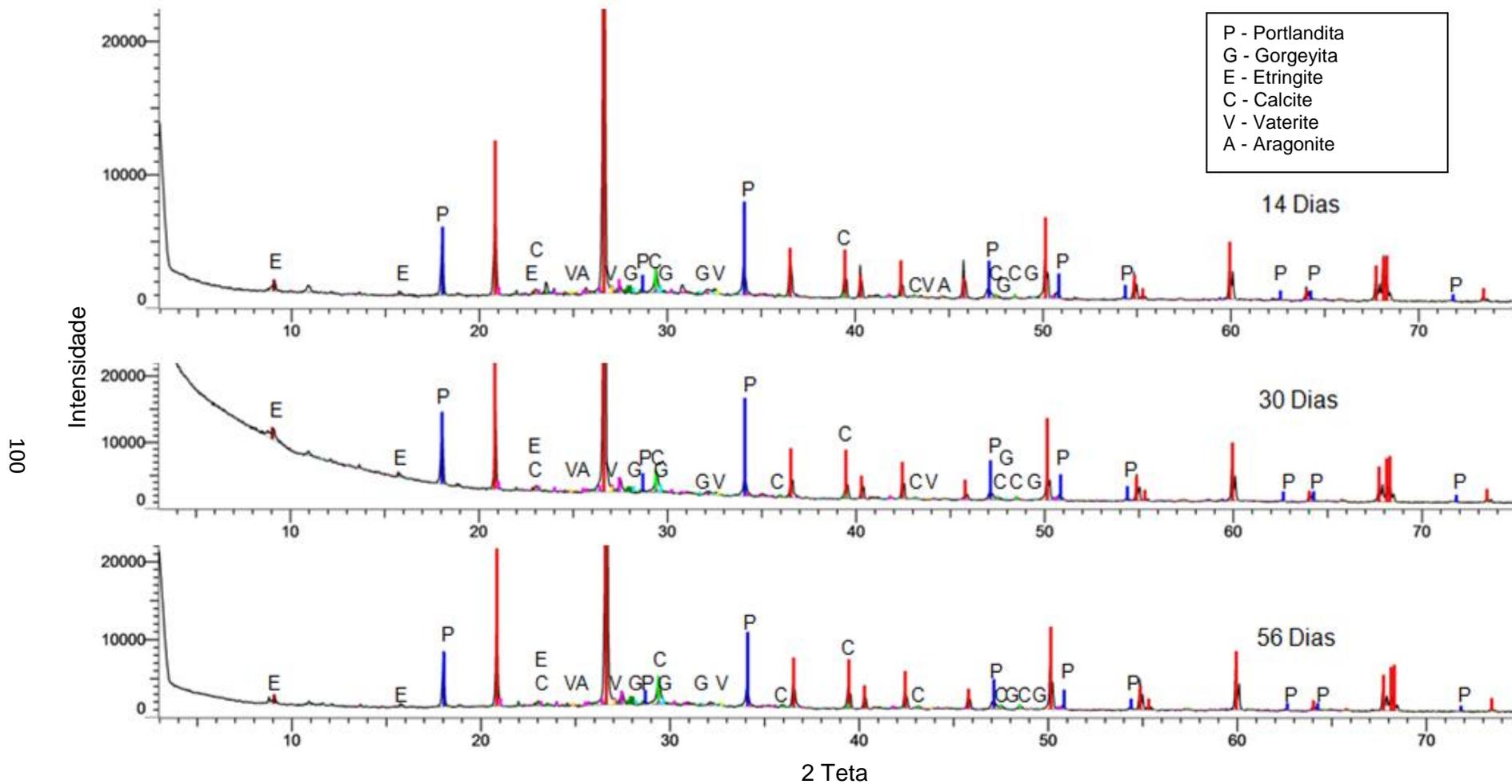


Figura 97 - DRX do BBS1 aos 14, 30 e 56 dias.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

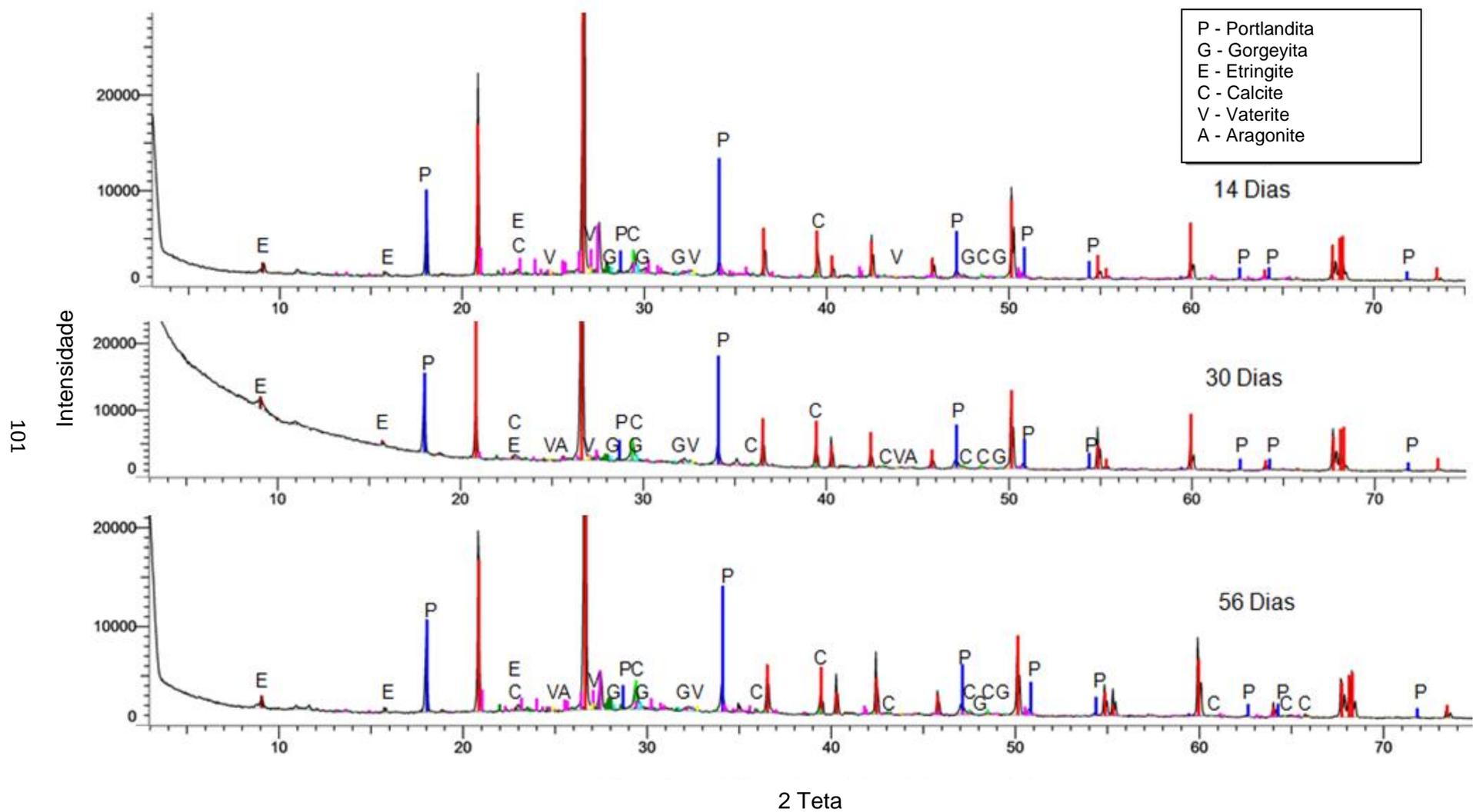


Figura 98 - DRX do BBA2 aos 14, 30 e 56 dia.

Influência do mineral precursor no uso de uma bactéria para reparação de fissuras no betão

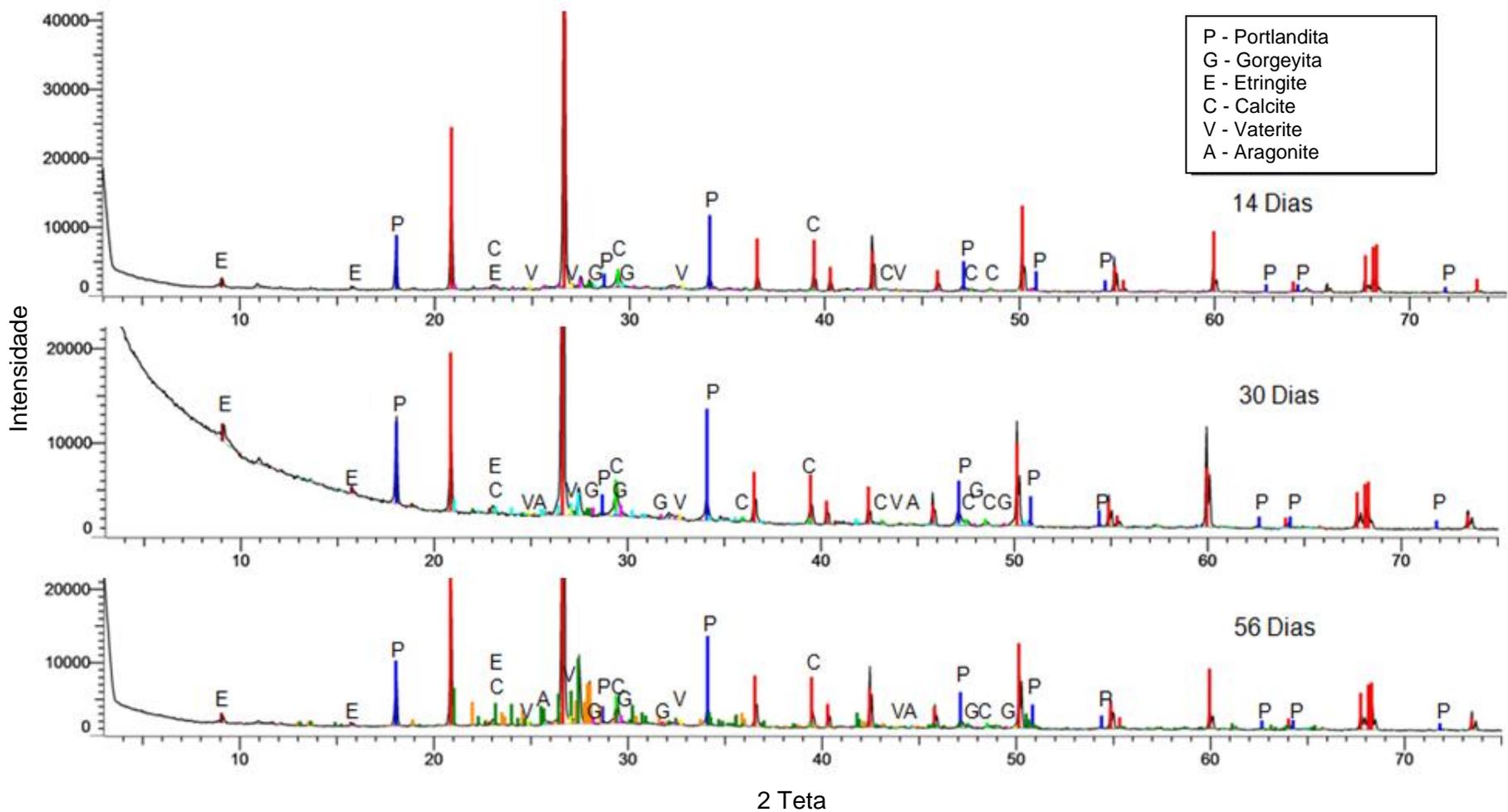


Figura 99 - DRX do BBS2 aos 14, 30 e 56 dias.

5.5 Ensaio do Número Mais Provável (NMP)

Os ensaios do NMP realizados aos diferentes tipos de betão foram feitos nos dias previstos e os resultados foram conclusivos.

Nos provetes do betão BASE com a idade de 36 dias, como esperado, não se observou o desenvolvimento de bactérias. As placas de Petri com as diluições 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} e a solução-mãe (10^0), na Fig. 100, não mostraram qualquer crescimento de bactérias quer *B. cohnii* quer outras bactérias.

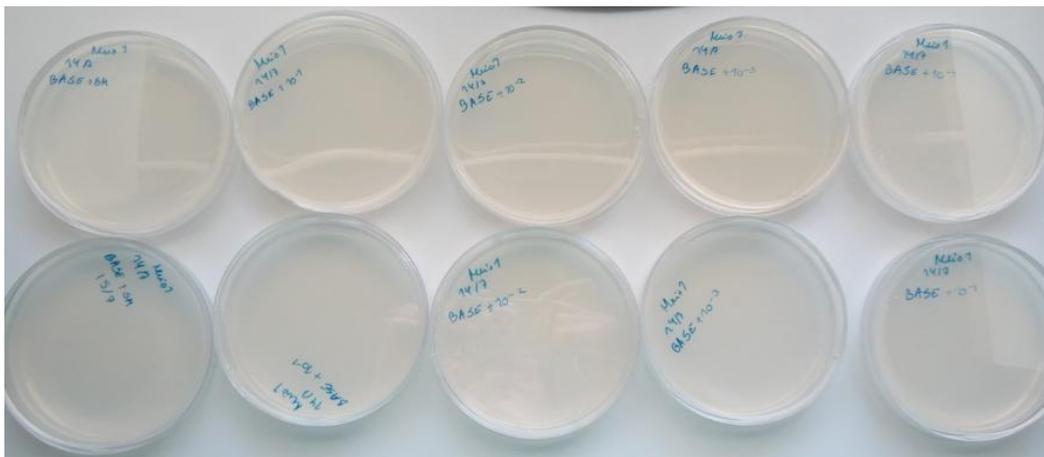


Figura 100 - Placas de Petri com SM, 10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4} .

Quando se fez o ensaio aos 14 dias notou-se que o BBA1 e BBA2 não mostraram qualquer crescimento de bactérias, ao contrário do aconteceu com o BBS1 e BBS2, Fig. 101 e 102, em que houve o crescimento de *B. cohnii*.

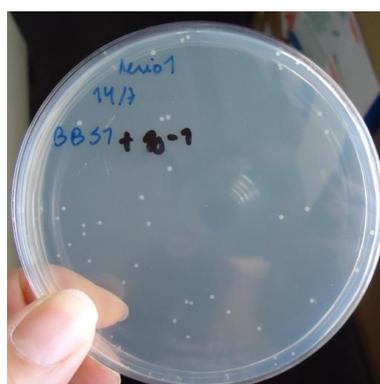


Figura 101 - Placa de Petri com BBS1 em diluição de 10^{-1} aos 14 dias.



Figura 102 - Placa de Petri com BBS2 em solução mãe aos 14 dias.

Aos 36 dias fez-se novamente o ensaio do NMP ao BBA1, ao BBS1, ao BBA2 e ao BBS2, obtiveram-se resultados positivos em todos excepto no BBS1, como indicam as Fig. 103 a 105.

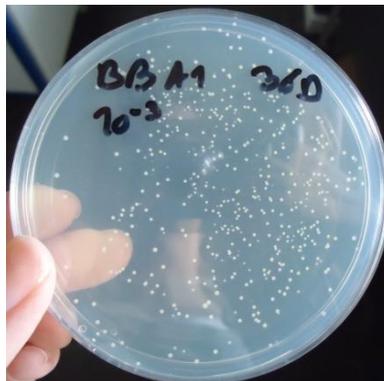


Figura 103 - Placa de Petri com BBA1 em diluição de 10^{-3} aos 36 dias.

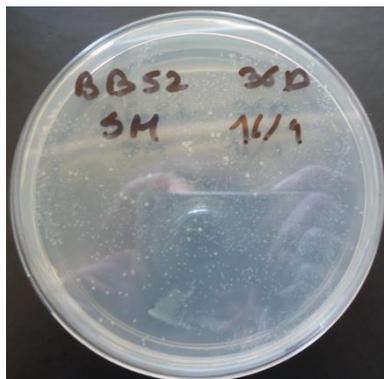


Figura 104 - Placa de Petri com BBS2 em solução mãe aos 36 dias.

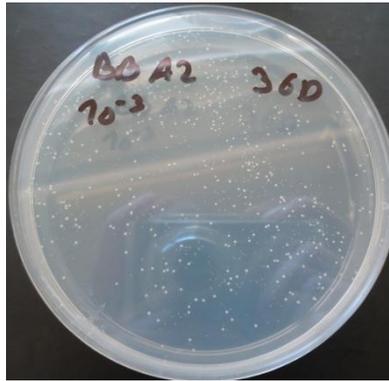


Figura 105 - Placa de Petri com BBA2 em diluição de 10^{-3} aos 36 dias.

Assim obtiveram-se resultados diferentes para as diferentes idades, como se verifica na Tabela 27.

Tabela 27 - Resultados do NMP aos 14 dias e aos 36 dias.

14 dias			36 dias		
	Número de placas positivas	NMP (ufc/g betão)		Número de placas positivas	NMP (ufc/g betão)
			BASE	0-0-0	< 0,9
BBA1	0-0-0	< 0,9	BBA1	2-2-1	23400
BBS1	2-1-1	42,75	BBS1	0-0-0	< 0,9
BBA2	0-0-0	< 0,9	BBA2	2-2-1	2340
BBS2	2-2-0	72	BBS2	2-2-0	72

Através da análise da Tabela 27 pode observar-se que o BBA1 e BBA2 têm o valor mínimo de unidades formadoras de colónias por grama aos 14 dias mas aos 36 dias esses valores aumentam drasticamente no BBA1 e BBA2. No caso do BBS1 e BBS2 os valores de unidades por grama de formação de colónias aos 14 dias revelam valores superiores aos do BBA1 e BBA2 e aos 36 dias os valores para o BBS1 baixam para valor mínimo. O BBS2 mantém o mesmo valor dos 14 dias e aos 36 dias.

Apesar do número de placas positivas coincidir em alguns tipos de betão, o número de unidades formadoras de colónias por grama é diferente. Isso deve-se ao facto de as placas positivas serem de diferentes diluições. Nos anexos apresentam-se os resultados detalhados.

Devido aos resultados diferentes para o betão com acetato de cálcio e para o betão com silicato de cálcio, pode-se dizer que o acetato de cálcio atrasa um pouco o desenvolvimento dos esporos em células vegetativas, pois no ensaio aos 14 dias todas as placas deram resultados negativos, mas aos 36 dias já se obtiveram resultados positivos nas placas. O betão com silicato de cálcio mostrou resultados

positivos aos 14 dias e 36 dias mas por outro lado o número de células vegetativas diminui mais rapidamente ao longo tempo com o uso do silicato de cálcio.

No caso do BBA1 ao comparar-se os resultados do SEM/EDS com os resultados do NMP, em que a presença de cristais de calcite e aragonite é bastante elevada nas diferentes zonas analisadas (argila, matriz e fissura), essas quantidades podem ser justificadas pela elevadíssima presença de bactérias na amostra. É aos 36 dias na amostra do BBA1 que se encontra o valor mais elevado de unidades formadoras de colónias por grama nas amostras.

6 Conclusões

Neste trabalho de investigação foram obtidas as seguintes conclusões:

- A amostra BBS2 conseguiu selar fissuras até 72 μm em 94 dias, sendo que a segunda melhor, a BBA2 selou foi 38 μm no mesmo período de tempo, o que mostra que o mineral precursor silicato de cálcio apresenta melhores resultados;
- Os melhores resultados obtidos no BBS2 podem se dever também a produção de silicatos associados a introdução de silicatos de cálcio nas amostras;
- No BBS2 a formação de CSH não se deve à introdução da bactéria *B. cohnii* pois no ensaio NMP não existiu evolução da bactéria ao longo do ensaio;
- Através do ensaio NMP pode-se confirmar que os cristais de carbonato de cálcio que se encontraram nas amostras do BBA1 e BBA2 deveram-se à bactéria *B. cohnii* pois existiu uma evolução do seu crescimento ao longo do tempo;
- As composições com silicato de cálcio também foram as que obtiveram melhores resultados de resistência à compressão;
- As amostras que continham a bactéria *B. cohnii* e meio precursor nas mesmas argilas expandidas foram mais eficientes na formação de carbonato de cálcio;
- O BBA1 obteve os piores resultados em termos de resistência à compressão;
- Através do ensaio NMP foi possível verificar que o acetato de cálcio retarda o crescimento das células vegetativas e o silicato de cálcio faz com que as células vegetativas cresçam mais rapidamente e se esgotem também mais rapidamente;
- Encontraram-se cristais de calcite e aragonite no BBS1, BBA2 e BBS2;
- Os betões BASE, BA, BS, BBA1 e BBS1 através da inspeção visual não foi possível observar quaisquer depósitos de cristais de carbonato de cálcio ao longo das fissuras existentes;
- A bactéria *B. cohnii* precisa de estar sempre combinada com um meio precursor, sendo que o acetato de cálcio ou silicato de cálcio foram essenciais para a precipitação de cristais de carbonato de cálcio no betão;
- As amostras do betão BASE utilizadas para os ensaios aparentam estar contaminadas, por motivos desconhecidos, pelo que não se pode concluir nada acerca das mesmas;

- Através do ensaio SEM/EDS não se pode concluir qual a origem dos cristais, se são resultado da adição dos esporos bacterianos no betão;
- No ensaio de Difração Raios-X houve dificuldades em aproveitar os seus resultados. Verificou-se que a amostragem devia ser mais cuidada, em termos de quantidade, permitindo uma maior homogeneidade da amostragem;
- A formação de cristais de carbonato de cálcio pode ter origem também na carbonatação do betão. Neste estudo não foi possível diferenciar a sua origem, uma vez que houve contaminação da amostra base.

Este trabalho de investigação demonstra que é possível selar fissuras com o recurso à bactéria *B. cohnii*. Se os trabalhos desta dissertação forem continuados, poder-se-ão chegar a bactérias mais eficazes e até a técnicas que permitam reparar estruturas de betão já existentes, o que permitirá eventualmente poupar muito dinheiro em reparações.

7 Bibliografia

Artigos científicos:

Andreassen J. P., Beck R., Nergaard M., "Biomimetic type morphologies of calcium carbonate grown in absence of additives", *Journal the Royal Society of Chemistry*, N.º 159, pp. 247-261, 2012.

Antoniassi J.L., "A difração de raios x com o método de rietveld aplicada a bauxitas de porto trombetas, pa", Universidade de São Paulo, 2010.

Biswas M., Majumdar S., Chowdhury T., Chattopadhyay B., Mandal S., Halder U., Yamasaki S., " Bioremediase a unique protein from a novel bacterium BKH1, ushering a new hope in concrete technology", *Enzyme and Microbial Technology*, Vol. 46, pp.581-587, 2010.

Bogas J. A., Gomes A., Gomes M. G., "Estimation of water absorbed by expanding clay aggregates during structural lightweight concrete production", *Materials and Structures*, Vol. 45, pp.1565-2576, 2012.

Braissant O., Cailleau G., Dupraz C., Verrecchia E. P., "Bacterially induced mineralization of calcium carbonate in terrestrial environments: the role of exopolysaccharides and amino acids", *Journal of Sedimentary Research*, Vol. 73, N.º 3, pp.485-490, 2003.

Costa A., Appleton J., " Estruturas de betão I, Parte II - Materiais", Instituto Superior Técnico - Departamento de Engenharia Civil, 2002.

Díaz L. F., González Á. F., Priento M., "The role of sulfate groups in controlling CaCO₃ polymorphism", *Geochimica et Cosmochimica Acta*, Vol. 74, pp. 6064-6076, 2010.

Jonkers H. M., Thijssen A., Muyzer G., Copuroglu O., Schlangen E., "Application of bacteria as self-healing agent for the development of sustainable concrete", *Ecological Engineering*, Vol. 36, pp.230-235, 2010.

Jonkers H. M., Schlangen E., "Crack repair by concrete-immobilized bacteria", *Proceedings of the first international conference on self healing materials*, pp. 18-20, 2007.

Jonkers H. M., Schlangen E., "Development of a bacteria-based self-healing concrete", *Tailor Made Concrete Structures - Walraven & Stoelhorst(eds)*, pp. 425-430, 2008.

Liu R., Liu F., Zhao S., Su Y., Wang D., Shen Q., "Crystallization and oriented attachment of monohydrocalcite and its crystalline phase transformation", *CrystEngComm*, N.º15, pp. 509-515, 2013.

Kim H. K., Park J. I., Lee H. K., "Microbially mediated calcium carbonate precipitation on normal and lightweight concrete", *Construction and Building Materials*, Vol. 38, pp. 1073-1082, 2013.

Kim Y.Y., Kulak A. N., Li Y., Batten T., Kuball M., Armes S. P., Meldrum F. C., "Substrate-directed formation of calcium carbonate fibres", *Journal of Materials Chemistry*, N.º 19, pp. 287-397, 2009.

Kurra B., Mukkamala S. B., "Combined influence of organic additives on growth morphology of calcium carbonate", *Oriental Journal of Chemistry*, Vol. 29, N.º 4, pp. 1559-1563, 2013.

Martins M. C. S., "Uso de bactérias na reparação de fissuras no betão", Universidade de Évora, 2015.

"Most probable procedure and tables", Laboratory Quality Assurance Staff (LQAS), pp. 1-8, 2014. Disponível em : <http://www.fsis.usda.gov/wps/wcm/connect/8872ec11-d6a3-4fcf-86df-4d87e57780f5/MLG-Appendix-2.pdf?MOD=AJPERES> (Visto em Maio de 2014).

Monteiro A.J.S.C., "Revestimentos multicamada PVD com comportamento electrocrómico", Universidade do Minho, 2005.

Navarro C. R., Gallego M. R., Chekroun K. B., Muñoz M. T. G., "Conservation of ornamental stone by *Myxococcus xanthus* - Induced carbonate biomineralization", *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 69, N.º 4, pp. 2182-2193, 2003.

Pires S. M. S., "Estudo comparativo da resistência à compressão do betão em provetes normalizados e em estruturas betonada", Universidade Nova de Lisboa, 2011.

Priest F. G., Goodfellow M., Todd C., " A numerical classification of the Genus *Bacillus*", *Journal of General Microbiology*, N.º 134, pp. 1847-1882, 1988.

Rao M. V. S., Reddy V. S., Hafsa M., Veena P., Anusha P., "Bioengineered concrete - A sustainable self-healing constructions material", *Research Journal of Engineering Sciences*, Vol. 2(6), pp. 45-51, 2013.

Regnault O., Lagneau V., Schneider H., " Experimental measurement of portlandite carbonation kinetics with supercritical CO₂", Chemical Geology, Vol. 265, pp. 113-121, 2009.

Ribas M. M. F., Cunha M. E., Cereda M. P., "Método de número mais provável para avaliação de grupos fisiológicos de microrganismos em digestão anaeróbia de água residuária de mandioca", Ambiência - Revista do Sector de Ciências Agrárias e Ambientais, Vol. 5, N.º 3, pp. 401-417, 2009.

Ribeiro D. V., Yuan S. Y., Morelli M. R., "Effect of chemically treated leather shaving addition on characteristics and microstructure of OPC mortars", Materials Research, N.º 15, pp.136-143, 2012.

Rodrigues A., Fernandes I., Noronha F., "Caracterização de produtos de deterioração do betão por métodos petrográficos", Revista Eletrónica de Ciências da Terra, Vol. 9, N.º 21, 2010.

Sarkar A., Mahapatra S., "Mechanism or unusual polymorph transformations in calcium carbonate: Dissolution- recrystallization vs additive-mediated nucleation", Journal Chem. Sci., Vol. 124, N.º 6, pp. 1399-1404, 2012.

Sawada K., " The mechanisms of crystallization and transformation of calcium carbonates", Pure & Appl. Chem., Vol. 69, N.º 5, pp. 921-928, 1997.

Siddique R., Chahal N. K., "Effect of ureolytic bacteria on concrete properties", Construction and Building Materials, Vol. 25, pp. 3791-3801, 2011.

Slepecky R. A., Hemphill H. E., "The Genus *Bacillus* - Nonmedical", Springer, Vol. 4-Parte 1, pp. 530-562, 2006.

Spanka R., Fritze D., "Bacillus cohnii sp.nov., a New, Obligately Alkaliphilic, Ovalspore-forming Bacillus Species with Ornithine and Aspartic Acid Instead of Diaminopimelic Acid in the Cell Wall", International Journal of Systematic Bacteriology, Vol. 43, N.º 1, pp.150-156, Janeiro 1993.

Tekin N., Cihan A. Ç., Takaç Z. S., Tuzun C. Y., Tunç K., Çokmus C., "Alkaline protease production of Bacillus cohnii APT5", Turk Biol, Vol. 36, pp. 430-440, 2012.

Tittelboom K. V., Belie N. D., Muynck W. D., Verstraete W., "Use of bacteria to repair cracks in concrete", Cement and Concrete Research, N.º 40, pp.157-166, 2010.

Wang G., Li L., Lan J., Chen L., You J., "Biomimetic crystallization of calcium carbonate spherules controlled by hyperbranched polyglycerols", Journal of Materials Chemistry, N.º 18, pp. 2789-2797, 2008.

Wang J., Tittelboom K.V., Belie N. D., Verstraete W., "Use of silica gel or polyurethane immobilized bacteria for self-healing concrete", Construction and Building Materials, Vol. 26, pp. 532-540, 2012.

Wang X., Bai H., Jia Y., Zhi L., Qu L., Xu Y., Li CH., Shi G., "Synthesis of CaCO₃/graphene composite crystals for ultra-strong structural materials", RSC Advances, N.º 2, pp. 2154-2160, 2012.

Wiktor V., Jonkers H. M., "Quantification of crack-healing in novel bacteria-based self-healing concrete", Cement & Concrete Composites, Vol. 33, pp. 763-770, 2011.

Sites :

Acumedia : www.neogen.com/Acumedia (visto em Junho de 2014).

Argex : www.argex.pt (visto em Maio de 2014).

DSMZ : www.dsmz.de (visto em Maio de 2014).

Secil : www.secil.pt (visto em Maio de 2014).

Normas :

NP EN 1008 - Água de amassadura para betão. Especificações para a amostragem, ensaio e avaliação da aptidão da água, incluindo água recuperada nos processos da indústria de betão, para o fabrico de betão.

NP EN 933-1 - Ensaio de análise granulométrica.

NP EN 12350-2 - Ensaio de abaixamento.

NP EN 1097-5 - Ensaio de determinação do teor de humidade por secagem em estufa.

NP EN 12390-2 - Execução e cura dos provetes para ensaios de resistência mecânica.

8 Anexos

Índice de Anexos

Anexo A - Ficha de Desempenho do Cimento tipo I.....	114
Anexo B - Ficha de Desempenho da Argila Expandida	115
Anexo C - Ficha de Desempenho da Areia Fina (0-1mm).....	116
Anexo D - Curva granulométricas das areias	117
Anexo E - Resultados do ensaio de determinação do teor de humidade por secagem na estufa ventilada (NP EN1097-5) para a argila expandida	119
Anexo F - Resultados do ensaio de determinação do teor de humidade por secagem na estufa ventilada (NP EN1097-5) da areia fina e grossa	120
Anexo G - Resistências à compressão para induzir as fissuras nos provetes	121
Anexo H - Ensaio de resistência à compressão do betão BASE e BASEH.....	123
Anexo I - Ensaio de resistência à compressão do BA.....	125
Anexo J - Ensaio de resistência à compressão do BS.....	126
Anexo K - Ensaio de resistência à compressão do BBA1	127
Anexo L - Ensaio de resistência à compressão do BBS1	128
Anexo M - Ensaio de resistência à compressão do BBA2.....	129
Anexo N - Ensaio de resistência à compressão do BBS2	130
Anexo O - Resultados da difração de Raios-X do BASE aos 14, 30, 56 dias	131
Anexo P - Resultados da difração de Raios-X do BA aos 14, 30, 56 dias	137
Anexo Q - Resultados da difração de Raios-X do BS aos 14, 30, 56 dias	143
Anexo R - Resultados da difração de Raios-X do BBA1 aos 14, 30, 56 dias.....	149
Anexo S - Resultados da difração de Raios-X do BBS1 aos 14, 30, 56 dias.....	155
Anexo T - Resultados da difração de Raios-X do BBA2 aos 14, 30, 56 dias	161
Anexo U - Resultados da difração de Raios-X do BBS2 aos 14, 30, 56 dias.....	167
Anexo V - Resultados do ensaio NMP do BASE (36 dias) e BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 (14 dias).....	173
Anexo W - Resultados do ensaio NMP do BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 (36 dias).....	174

Anexo A - Ficha de Desempenho do Cimento tipo I



DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO 0856-CPR-0118

- Código de identificação único do produto-tipo:
Cimento Portland EN 197-1 – CEM I 42,5 R
- Número do tipo, do lote ou da série, ou quaisquer outros elementos que permitam a identificação do produto de construção, nos termos do nº 4 do artigo 11º do RPC:
Fábrica de Outão - Cimento Portland EN 197-1 – CEM I 42,5 R
- Utilização ou utilizações previstas do produto de construção, de acordo com a especificação técnica harmonizada aplicável, tal como previsto pelo fabricante:
Fabrico de betão, argamassa, caldas de injeção e outras misturas para a construção e para o fabrico de produtos de construção
- Nome, designação comercial ou marca comercial registada e endereço de contacto do fabricante:
**SECIL – Companhia Geral de Cal e Cimento, S.A.
Avenida das Forças Armadas, 125 – 7º | 1600-079 Lisboa | Portugal**
- Se aplicável, nome e endereço de contacto do mandatário cujo mandato abrange os actos especificados no nº 2 do artigo 12º do RPC:
Não aplicável
- Sistema ou sistemas de avaliação e verificação da regularidade do desempenho do produto de construção:
Sistema 1+
- Produto de construção com declaração de desempenho abrangida por uma norma harmonizada:
O LNEC – Laboratório Nacional de Engenharia Civil, organismo de certificação de produto notificado nº 0856, realizou a determinação do produto-tipo com base nos ensaios de tipo (incluindo amostragem), a inspeção inicial da unidade fabril e do controlo da produção em fábrica, o acompanhamento, apreciação e avaliação do controlo da produção em fábrica e os ensaios aleatórios de amostras colhidas antes da colocação do produto no mercado, no âmbito do sistema 1+ e emitiu o certificado de regularidade de desempenho (CPD).

8. Desempenho declarado:

CARACTERÍSTICAS ESSENCIAIS	DESEMPENHO	ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS HARMONIZADAS
Cimentos correntes (subfamílias) constituintes e composição	CEM I	EN 197-1:2011
Resistência à compressão (inicial e de referência)	42,5 R	
Tempo de presa	Conforme	
Resíduo insolúvel	Conforme	
Perda ao fogo	Conforme	
Expansibilidade	Conforme	
Teor em SO ₃	Conforme	
Teor em cloretos	Conforme	

- O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 8. A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado em nome do fabricante por:

Lisboa, em 28 de Junho de 2013

Gonçalo Salazar Leite | Administrador

DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO

N.º 221029_EN 13055-1_PT_v02

1. Código de identificação único do produto-tipo: ARGEX[®] 2-4
 2. Identificação do produto de construção:
 - Saco: marcado na embalagem.
 - Bigbag e granel: marcado na embalagem ou na guia de remessa.
 3. Utilização ou utilizações previstas do produto de construção: Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção.
 4. Fabricante: **ARGEX – Argila Expandida, S.A.**
 Zona Industrial de Bustos, Azurveira
 3770 – 911 Bustos Aveiro – Portugal
 T. (+351) 234 751 533 – F. (+351) 234 751 534
 Correio electrónico: argex@argex.pt – www.argex.pt
 5. Sistema de avaliação e verificação da regularidade do desempenho: Sistema 2^o.
 6. Norma: NP EN 13055-1:2005 e NP EN 13055-1:2005/AC:2010.
- AENOR - Asociación Española de Normalización y Certificación, Organismo Notificado n.º 0099 certificou o Sistema de Controlo de Produção em Fábrica e emitiu o Certificado n.º: 0099/CPR/A60/0879.

7. Declaração de Desempenho:

Características essenciais	Desempenho	Especificações técnicas harmonizadas
Forma partícula	Arredondada	-
Granulometria	4,0 – 8,0 mm [15-90]% passados	EN 13055-1
Bandade	358 Kg/m ³ (±15%)	
Resistência ao esmagamento	4,8 MPa (±10%)	
Absorção de água	26,2 (% massa seca) (±10%)	
Partículas esmagadas	Não aplicável	
Cloretos	<0,004	
Sulfatos solúveis em ácidos	<0,05	
Enxofre total	<0,04	
Limpeza	Mais claro (sem presença de húmus)	
Resistência à desintegração	D.N.D.	
Resistência ao gelo/degelo	D.N.D.	
Resistência ao fogo	Classe A1	2000/605/EC

D.N.D. – desempenho não determinado.

8. O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 7.

A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Assinado por e em nome do fabricante por:



Nelson Costa
(Gestor da Qualidade)

Aveiro, 02-09-2013

Anexo C - Ficha de Desempenho da Areia Fina (0-1mm)



DECLARAÇÃO DE DESEMPENHO



N.º DoP.16/01A/2013



- Código de identificação único do produto tipo: **AS 40**.
- Identificação do produto de construção, nos termos do n.º 4 do artigo 11.º: **AS 40**.
- Utilização ou utilizações previstas do produto de construção para **betão e argamassas em edifícios, estradas e outras obras de engenharia civil**.
- Contacto do fabricante, nos termos do n.º 5 do artigo 11.º:
SIFUCEL - Sílicas S.A.
Zona Industrial de Rio Maior, 2040-998 Rio Maior, Portugal
Tel: 243 991 559 Fax: 243 994 668 / web: www.parapedra.pt
- Não existe mandatário de acordo com o n.º 2 do artigo 12.º.
- O sistema de avaliação é **Sistema 2+**.
- Certif - Associação para a Certificação**, organismo n.º **1328** realizou uma auditoria inicial à fábrica e ao controlo de produção, e efectua o acompanhamento contínuo, a avaliação e a aprovação do controlo de produção em fábrica no âmbito do **Sistema 2+** e emitiu o certificado de controlo de produção em fábrica: **1328 - CPD - 0033**.
- Não sujeito a Avaliação Técnica Europeia.
- Desempenho declarado:

Características essenciais		Especificações Técnicas harmonizadas	
		EN 12620:2002+A1:2008	EN 13139:2002 EN 13139:2002/AC:2004
Dimensão		0/1	
Granulometria		G ₈₅	-
Teor de finos		f _s	Categoria 1
Massa Volúmica	Densidade aparente da partícula	2,30 - 2,90 Mg/m ³	
	Densidade da partícula (base seca)	2,30 - 2,90 Mg/m ³	
	Densidade da partícula saturada e superfície seca	2,30 - 2,90 Mg/m ³	
Absorção de água		0,2 - 0,8 %	
Teor de enxofre total		<1 %	
Sais de cloro solúveis em água		<0,001%	
Solubilidade em água		NPD	<1%
Constituintes que alteram o tempo de presa e a resistência do betão	Diminuição da resistência à compressão	<20 %	
	Tempo de presa	<120 min.	
Teor de húmus		Mais claro	
Contaminantes orgânicos leves		<0,1%	

NPD - Desempenho não determinado

Não sujeito a documentação técnica nos termos do artigo 37.º ou do artigo 38.º.

- O desempenho do produto identificado nos pontos 1 e 2 é conforme com o desempenho declarado no ponto 9. A presente declaração de desempenho é emitida sob a exclusiva responsabilidade do fabricante identificado no ponto 4.

Rio Maior, 27 de Junho 2013

Assinado por:
Sifucel - Sílicas, S.A.

(Representante da Administração, Gonçalo Nuno Feitor Pinheiro)

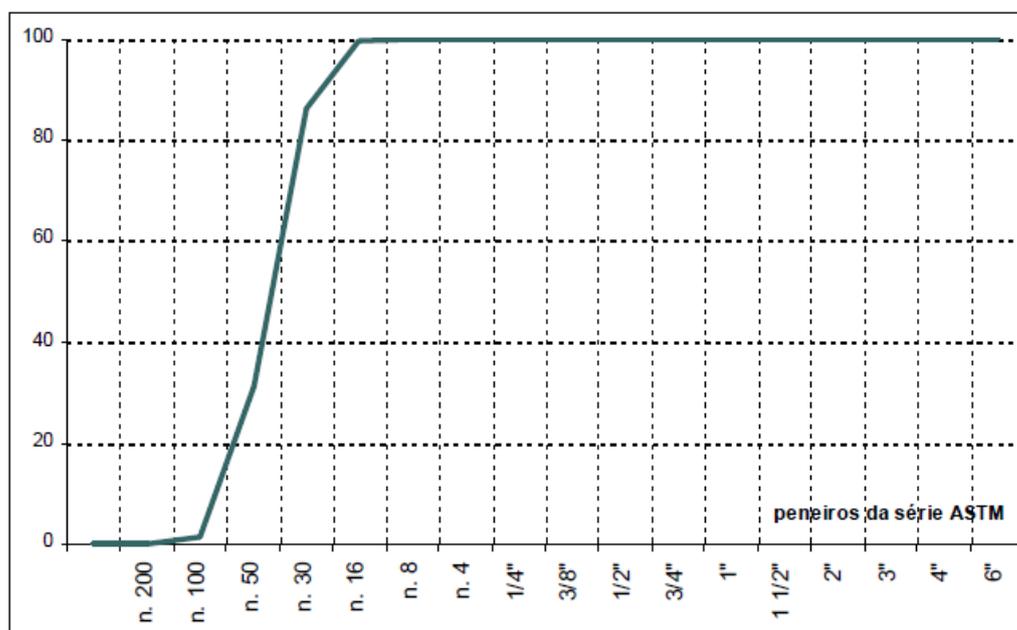
Nota: A presente Declaração de Desempenho encontra-se em vigor a partir da presente data, sendo alterada se surgir a variação de alguma característica essencial ou um facto relevante.

Anexo D - Curva granulométrica das areias

NP 1379 - Granulometria e massa volúmica de agregados

designação	A. Fina	tipo	rolado	m. vol. (kg/m ³)	2620
n.º amostra	3	cliente		massa total (kg)	1,000
origem	cast. Ventoso	obra		máx. dim ACI (mm)	1,18
fornecedor	Sifucel	central	Evora	máx. dim Faury (mm)	0,68
		data de colheita	2011-08-16	mín. dimensão (mm)	0,15
		data de ensaio	2011-08-17		

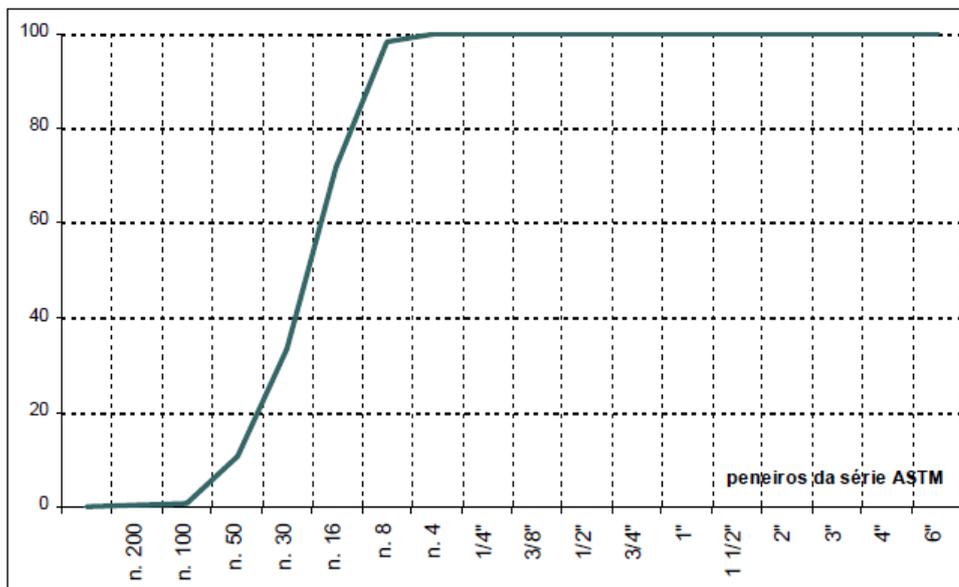
PENEIRO	MALHA mm	RESÍDUO		RESÍDUOS ACUMULADOS		ÁGUA DE MOLHAGEM %		
		g	%	passado	retido	COEFICIENTES		agregado
						rolado	britado	
6"	150,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,08	0,08	0,00
4"	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,12	0,13	0,00
3"	75,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,16	0,18	0,00
2"	50,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,20	0,23	0,00
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,24	0,28	0,00
1"	25,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,39	0,44	0,00
3/4"	19,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,55	0,60	0,00
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,92	1,10	0,00
3/8"	9,50	0,0	0,0	100,0	0,0	1,30	1,60	0,00
1/4"	6,30	0,0	0,0	100,0	0,0	1,75	2,20	0,00
n. 4	4,75	0,0	0,0	100,0	0,0	2,25	2,80	0,00
n. 8	2,36	0,0	0,0	100,0	0,0	4,0	5,2	0,00
n. 16	1,18	3,0	0,3	99,7	0,3	7,0	8,6	0,02
n. 30	0,600	136,0	13,6	86,1	13,9	10,0	12,3	1,36
n. 50	0,300	547,0	54,7	31,4	68,6	13,0	17,2	7,11
n. 100	0,150	301,0	30,1	1,3	98,7	20,0	24,6	6,02
n. 200	0,075	12,0	1,2	0,1	99,9	26,0	26,0	0,31
refugo		1,0	0,1	0,0	100,0	26,0	26,0	0,03
totais		1000,0	100,0					
módulo de finura					1,81			14,85



NP 1379 - Granulometria e massa volúmica de agregados

	tipo	rolado	m. vol. (kg/m ³)	2620	
designação	A. Grossa	cliente	massa total (kg)	0,100	
n.º amostra	2	obra	central	Evora	
origem	C.Ventoso	data de colheita	2012-06-06	máx. dim ACI (mm)	2,36
fornecedor	Sifucel	data de ensaio	2012-06-06	máx. dim Faury (mm)	2,44
				mín. dimensão (mm)	0,15

PENEIRO	MALHA mm	RESIDUO		RESIDUOS ACUMULADOS		AGUA DE MOLHAGEM %		
		g	%	%		COEFICIENTES		agregado
				passado	retido	rolado	bitado	
6"	150,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,08	0,08	0,00
4"	100,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,12	0,13	0,00
3"	75,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,16	0,18	0,00
2"	50,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,20	0,23	0,00
1 1/2"	37,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,24	0,28	0,00
1"	25,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,39	0,44	0,00
3/4"	19,0	0,0	0,0	100,0	0,0	0,55	0,60	0,00
1/2"	12,5	0,0	0,0	100,0	0,0	0,92	1,10	0,00
3/8"	9,50	0,0	0,0	100,0	0,0	1,30	1,60	0,00
1/4"	6,30	0,0	0,0	100,0	0,0	1,75	2,20	0,00
n. 4	4,75	0,0	0,0	100,0	0,0	2,25	2,80	0,00
n. 8	2,36	1,8	1,8	98,2	1,8	4,0	5,2	0,07
n. 16	1,18	26,4	26,4	71,8	28,2	7,0	8,6	1,85
n. 30	0,600	38,5	38,5	33,3	66,7	10,0	12,3	3,85
n. 50	0,300	22,5	22,5	10,8	89,2	13,0	17,2	2,93
n. 100	0,150	10,2	10,2	0,6	99,4	20,0	24,6	2,04
n. 200	0,075	0,3	0,3	0,3	99,7	26,0	26,0	0,08
refugo		0,3	0,3	0,0	100,0	26,0	26,0	0,08
totais		100,0	100,0					10,89
modulo de finura					2,85			



Anexo E - Resultados do ensaio de determinação do teor de humidade por secagem na estufa ventilada (NP EN1097-5) para a argila expandida

Ensaio : NP EN1097-5	Siglas	
Tabuleiro	M2	225,09g
Tabuleiro+ provete Húmido	M1+M2	637,98g
Provete Húmido	M1	412,89g
Tabuleiro+ provete seco (1ª pesagem)	Md1+M2	631,61g
Provete seco (1ª pesagem)	Md1	406,52g
Tabuleiro+ provete seco (2ª pesagem)	Md1+M2	631,12g
Provete seco (2ª pesagem)	Md1	406,03g
Diferença entre pesagens		0,49g
Verificação < 0.1%		0,12%
Tabuleiro+ provete seco (3ª pesagem)	Md2+M2	631,12g
Provete seco (3ª pesagem)	Md2	406,03g
Diferença entre pesagens		0g
Verificação < 0.1%		0,00%
Massa de água	$(M1+M2)-(M3+M2)$	6,86g
Massa do provete seco	M3	406,03g
Teor de humidade	w (%)	1,69%

Anexo F - Resultados do ensaio de determinação do teor de humidade por secagem na estufa ventilada (NP EN1097-5) da areia fina e grossa

Ensaio : NP EN1097-5 para areia fina	siglas	
Tabuleiro	M2	211,45 g
Tabuleiro+ provete Húmido	M1+M2	466,5 g
Provete Húmido	M1	255,05 g
Tabuleiro+ provete seco (1ªpesagem)	Mdl+M2	465,94 g
Provete seco (1ªpesagem)	Mdl	254,49 g
Tabuleiro+ provete seco (2ªpesagem)	Md1+HM2	465,94 g
Provete seco (2ªpesagem)	Md1	254,49 g
Diferença entre pesagens		0
Verificação < 0.1%		0,00%
Massa de água	$(M1+M2)-(M3+M2)$	0,56 g
Massa do provete seco	M3	254,49 g
Teor de humidade	w (%)	0,22%

Ensaio : NP EN1097-5 para areia grossa	siglas	
Tabuleiro	M2	212,55 g
Tabuleiro+ provete Húmido	M1+M2	1084,2 g
Provete Húmido	M1	871,65 g
Tabuleiro+ provete seco (1ªpesagem)	Mdl+M2	1083,19 g
Provete seco (1ªpesagem)	Mdl	870,64 g
Tabuleiro+ provete seco (2ªpesagem)	Md1+HM2	1083,21 g
Provete seco (2ªpesagem)	Md1	870,66 g
Diferença entre pesagens		-0,02
Verificação < 0.1%		0,00%
Massa de água	$(M1+M2)-(M3+M2)$	0,99 g
Massa do provete seco	M3	870,66 g
Teor de humidade	w (%)	0,11 %

Anexo G - Resistências à compressão para induzir as fissuras nos provetes

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BASE					
Dia			28-05-2014		
Nome	BASE.(3)		Nome	BASE.(9)	
Peso	5,420	kg	Peso	5,080	kg
Área (A _c)	22052	mm ²	Área (A _c)	22350	mm ²
Cargas (F)	169000	N	Cargas (F)	153600	N
f _c	7,66	MPa	f _c	6,87	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BA					
Dia			13-06-2014		
Nome	BA.(3)		Nome	BA.(10)	
Peso	5,575	kg	Peso	5,390	kg
Área (A _c)	21904	mm ²	Área (A _c)	22500	mm ²
Cargas (F)	244200	N	Cargas (F)	152800	N
f _c	11,15	MPa	f _c	6,79	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BS					
Dia			13-06-2014		
Nome	BS.(1)		Nome	BS.(9)	
Peso	5,305	kg	Peso	5,310	kg
Área (A _c)	22496	mm ²	Área (A _c)	22200	mm ²
Cargas (F)	195600	N	Cargas (F)	163900	N
f _c	8,69	MPa	f _c	7,38	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BBA1					
Dia			25-06-2014		
Nome	BBA1.(11)		Nome	BBA1.(10)	
Peso	5,295	kg	Peso	5,445	kg
Área (A _c)	21904	mm ²	Área (A _c)	22052	mm ²
Cargas (F)	165700	N	Cargas (F)	179200	N
f _c	7,56	MPa	f _c	8,13	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BBS1					
Dia			25-06-2014		
Nome	BBS1.(4)		Nome	BBS1.(5)	
Peso	5,430	kg	Peso	5,300	kg
Área (A _c)	22350	mm ²	Área (A _c)	22200	mm ²
Cargas (F)	176200	N	Cargas (F)	146700	N
f _c	7,88	MPa	f _c	6,61	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BBA2								
Dia			20-06-2014					
Nome	BBA2.(1)		Nome	BBA2.(4)		Nome	BBA2.(12)	
Peso	5,425	kg	Peso	5.350	kg	Peso	4,650	kg
Área (A_c)	22500	mm ²	Área (A_c)	21609	mm ²	Área (A_c)	18352	mm ²
Cargas (F)	162600	N	Cargas (F)	162500	N	Cargas (F)	138600	N
f_c	7,23	MPa	f_c	7.52	MPa	f_c	7,55	MPa

Resistência à Compressão para induzir fissuras - BBS2					
Dia			20-06-2014		
Nome	BBS2.(6)		Nome	BBS2.(7)	
Peso	5,435	kg	Peso	5,360	kg
Área (A_c)	22052	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	167400	N	Cargas (F)	168500	N
f_c	7,59	MPa	f_c	7,59	MPa

Anexo H - Ensaio de resistência à compressão do betão BASE e BASEH

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			30-05-2014		
Nome	BASE.(8)		Nome	BASE.(10)	
Peso	5,000	kg	Peso	5,295	kg
Área (A _c)	22500	mm ²	Área (A _c)	22500	mm ²
Cargas (F)	244900	N	Cargas (F)	230000	N
f _c	10,88	MPa	f _c	10,22	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			24-06-2014		
Nome	BASE.(1)		Nome	BASE.(2)	
Peso	5,545	kg	Peso	5,410	kg
Área (A _c)	22350	mm ²	Área (A _c)	22200	mm ²
Cargas (F)	295000	N	Cargas (F)	340100	N
f _c	13,20	MPa	f _c	15,32	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			22-07-2014		
Nome	BASE.(4)		Nome	BASE.(7)	
Peso	5,385	kg	Peso	5,445	kg
Área (A _c)	22500	mm ²	Área (A _c)	22200	mm ²
Cargas (F)	354800	N	Cargas (F)	410200	N
f _c	15,77	MPa	f _c	18,48	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			19-08-2014		
Nome	BASE.(6)		Nome	BASE.(5)	
Peso	5,205	kg	Peso	5,245	kg
Área (A _c)	22350	mm ²	Área (A _c)	21756	mm ²
Cargas (F)	433300	N	Cargas (F)	433300	N
f _c	19,39	MPa	f _c	19,92	MPa

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura húmida)					
Dia			30-05-2014		
Nome	BASEH.(8)		Nome	BASEH.(7)	
Peso	5,545	kg	Peso	5,565	kg
Área (A _c)	22500	mm ²	Área (A _c)	22650	mm ²
Cargas (F)	297500	N	Cargas (F)	268500	N
f _c	13,22	MPa	f _c	11,85	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura húmida)					
Dia			24-06-2014		
Nome	BASEH.(6)		Nome	BASEH.(5)	
Peso	5,275	kg	Peso	5,350	kg
Área (A_c)	21904	mm ²	Área (A_c)	22052	mm ²
Cargas (F)	286700	N	Cargas (F)	304200	N
f_c	13,09	MPa	f_c	13,79	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura húmida)					
Dia			22-07-2014		
Nome	BASEH.(3)		Nome	BASEH.(4)	
Peso	5,330	kg	Peso	5,370	kg
Área (A_c)	22500	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	370600	N	Cargas (F)	384100	N
f_c	16,47	MPa	f_c	17,30	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura húmida)					
Dia			19-08-2014		
Nome	BASEH.(1)		Nome	BASEH.(2)	
Peso	5,445	kg	Peso	5,480	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	377700	N	Cargas (F)	361800	N
f_c	16,90	MPa	f_c	16,30	MPa

Anexo I - Ensaio de resistência à compressão do BA

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			15-06-2014		
Nome	BA.(1)		Nome	BA.(2)	
Peso	5,275	kg	Peso	5,370	kg
Área (A_c)	22500	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	322400	N	Cargas (F)	260000	N
f_c	14,33	MPa	f_c	11,56	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			10-07-2014		
Nome	BA.(4)		Nome	BA.(6)	
Peso	5,285	kg	Peso	5,310	kg
Área (A_c)	22052	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	378200	N	Cargas (F)	421300	N
f_c	17,15	MPa	f_c	18,98	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			07-08-2014		
Nome	BA.(7)		Nome	BA.(8)	
Peso	5,400	kg	Peso	5,460	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	448300	N	Cargas (F)	533000	N
f_c	20,06	MPa	f_c	23,69	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			04-09-2014		
Nome	BA.(5)		Nome	BA.(9)	
Peso	5,325	kg	Peso	5,325	kg
Área (A_c)	21904	mm ²	Área (A_c)	21904	mm ²
Cargas (F)	379100	N	Cargas (F)	486200	N
f_c	17,31	MPa	f_c	22,20	MPa

Anexo J - Ensaio de resistência à compressão do BS

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			15-06-2014		
Nome	BS.(2)		Nome	BS.(3)	
Peso	5,130	kg	Peso	5,145	kg
Área (A_c)	22650	mm ²	Área (A_c)	22650	mm ²
Cargas (F)	264000	N	Cargas (F)	304200	N
f_c	11,66	MPa	f_c	13,43	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			10-07-2014		
Nome	BS.(11)		Nome	BS.(4)	
Peso	5,355	kg	Peso	5,275	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	311600	N	Cargas (F)	438400	N
f_c	13,94	MPa	f_c	19,48	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			07-08-2014		
Nome	BS.(6)		Nome	BS.(10)	
Peso	5,320	kg	Peso	5,305	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22350	mm ²
Cargas (F)	404100	N	Cargas (F)	436300	N
f_c	18,20	MPa	f_c	19,52	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			04-09-2014		
Nome	BS.(8)		Nome	BS.(5)	
Peso	5,175	kg	Peso	5,260	kg
Área (A_c)	22052	mm ²	Área (A_c)	22350	mm ²
Cargas (F)	424100	N	Cargas (F)	276800	N
f_c	19,23	MPa	f_c	12,38	MPa

Anexo K - Ensaio de resistência à compressão do BBA1

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			27-06-2014		
Nome	BBA1.(6)		Nome	BBA1.(3)	
Peso	5,205	kg	Peso	5,295	kg
Área (A_c)	22500	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	269600	N	Cargas (F)	298000	N
f_c	11,98	MPa	f_c	13,24	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			22-07-2014		
Nome	BBA1.(1)		Nome	BBA1.(8)	
Peso	5,375	kg	Peso	5,115	kg
Área (A_c)	22500	mm ²	Área (A_c)	21904	mm ²
Cargas (F)	451700	N	Cargas (F)	354000	N
f_c	20,08	MPa	f_c	16,16	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			19-08-2014		
Nome	BBA1.(4)		Nome	BBA1.(7)	
Peso	4,970	kg	Peso	5,105	kg
Área (A_c)	21904	mm ²	Área (A_c)	22052	mm ²
Cargas (F)	312300	N	Cargas (F)	357200	N
f_c	14,26	MPa	f_c	16,20	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			16-09-2014		
Nome	BBA1.(.)		Nome	BBA1.(5)	
Peso	5,145	kg	Peso	5,115	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22052	mm ²
Cargas (F)	477400	N	Cargas (F)	354700	N
f_c	21,50	MPa	f_c	16,08	MPa

Anexo L - Ensaio de resistência à compressão do BBS1

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			27-06-2014		
Nome	BBS1.(1)		Nome	BBS1.(2)	
Peso	5,355	kg	Peso	5,315	kg
Área (A_c)	22650	mm ²	Área (A_c)	22348	mm ²
Cargas (F)	279100	N	Cargas (F)	284200	N
f_c	12,32	MPa	f_c	12,72	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			22-07-2014		
Nome	BBS1.(6)		Nome	BBS1.(11)	
Peso	5,285	kg	Peso	5,375	kg
Área (A_c)	22052	mm ²	Área (A_c)	22350	mm ²
Cargas (F)	374600	N	Cargas (F)	260800	N
f_c	16,99	MPa	f_c	11,67	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			19-08-2014		
Nome	BBS1.(3)		Nome	BBS1.(10)	
Peso	5,355	kg	Peso	5,210	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22052	mm ²
Cargas (F)	498800	N	Cargas (F)	346300	N
f_c	22,32	MPa	f_c	15,70	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			16-09-2014		
Nome	BBS1.(8)		Nome	BBS1.(7)	
Peso	5,315	kg	Peso	5,285	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	403700	N	Cargas (F)	451900	N
f_c	18,18	MPa	f_c	20,36	MPa

Anexo M - Ensaio de resistência à compressão do BBA2

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			23-06-2014		
Nome	BBA2.(10)		Nome	BBA2.(11)	
Peso	5,540	kg	Peso	5,430	kg
Área (A_c)	22950	mm ²	Área (A_c)	22952	mm ²
Cargas (F)	269700	N	Cargas (F)	240200	N
f_c	11,75	MPa	f_c	10,47	MPa

Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			18-07-2014		
Nome	BBA2.(2)		Nome	BBA2.(7)	
Peso	5,455	kg	Peso	5,470	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	376000	N	Cargas (F)	428800	N
f_c	16,94	MPa	f_c	19,06	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			15-08-2014		
Nome	BBA2.(3)		Nome	BBA2.(8)	
Peso	5,335	kg	Peso	5,395	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22052	mm ²
Cargas (F)	439400	N	Cargas (F)	454400	N
f_c	19,79	MPa	f_c	20,61	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			12-09-2014		
Nome	BBA2.(9)		Nome	BBA2.(6)	
Peso	5,460	kg	Peso	5,420	kg
Área (A_c)	22200	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	281100	N	Cargas (F)	392400	N
f_c	12,66	MPa	f_c	17,68	MPa

Anexo N - Ensaio de resistência à compressão do BBS2

Resistência à Compressão aos 3 dias (Cura normal)					
Dia			23-06-2014		
Nome	BBS2.(1)		Nome	BBS2.(2)	
Peso	5,350	kg	Peso	5,250	kg
Área (A_c)	22800	mm ²	Área (A_c)	22500	mm ²
Cargas (F)	293700	N	Cargas (F)	275900	N
f_c	12,88	MPa	f_c	12,26	MPa

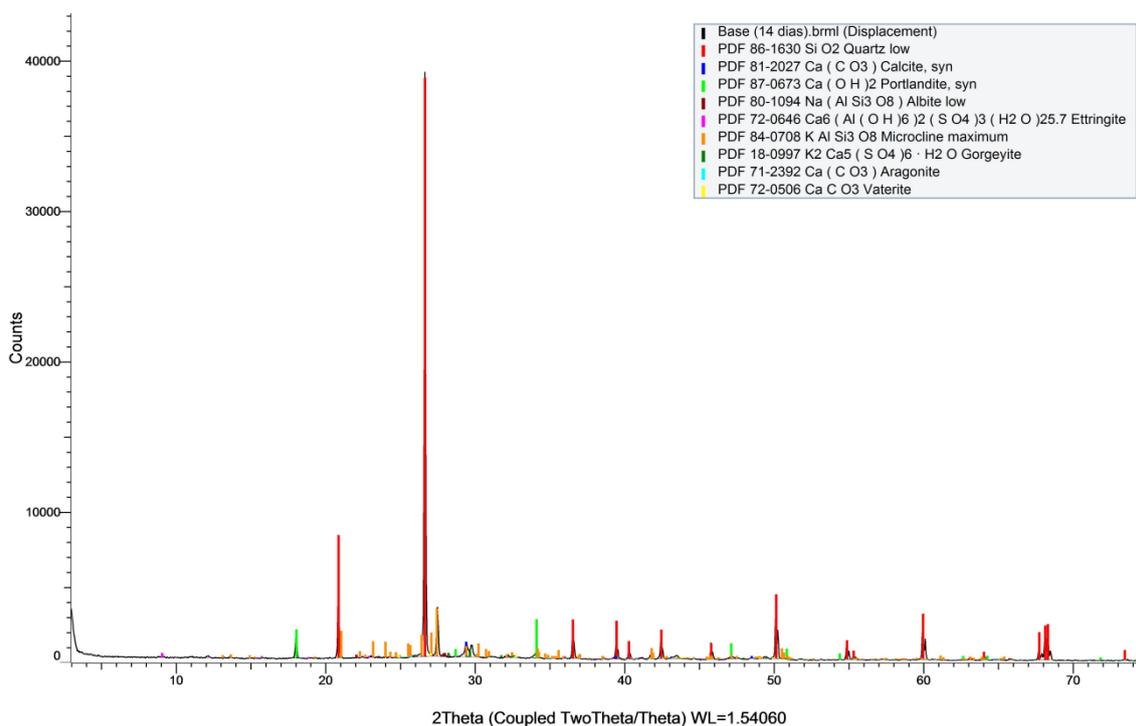
Resistência à Compressão aos 28 dias (Cura normal)					
Dia			18-07-2014		
Nome	BBS2.(10)		Nome	BBS2.(9)	
Peso	5,270	kg	Peso	5,240	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	384100	N	Cargas (F)	281200	N
f_c	17,19	MPa	f_c	12,67	MPa

Resistência à Compressão aos 56 dias (Cura normal)					
Dia			15-08-2014		
Nome	BBS2.(4)		Nome	BBS2.(5)	
Peso	5,425	kg	Peso	5,270	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22200	mm ²
Cargas (F)	482500	N	Cargas (F)	348100	N
f_c	21,59	MPa	f_c	15,68	MPa

Resistência à Compressão aos 84 dias (Cura normal)					
Dia			12-09-2014		
Nome	BBS2.(11)		Nome	BBS2.(3)	
Peso	5,205	kg	Peso	5,435	kg
Área (A_c)	22350	mm ²	Área (A_c)	22350	mm ²
Cargas (F)	456800	N	Cargas (F)	388900	N
f_c	20,44	MPa	f_c	17,40	MPa

Anexo O - Resultados da difração de Raios-X do BASE aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #11

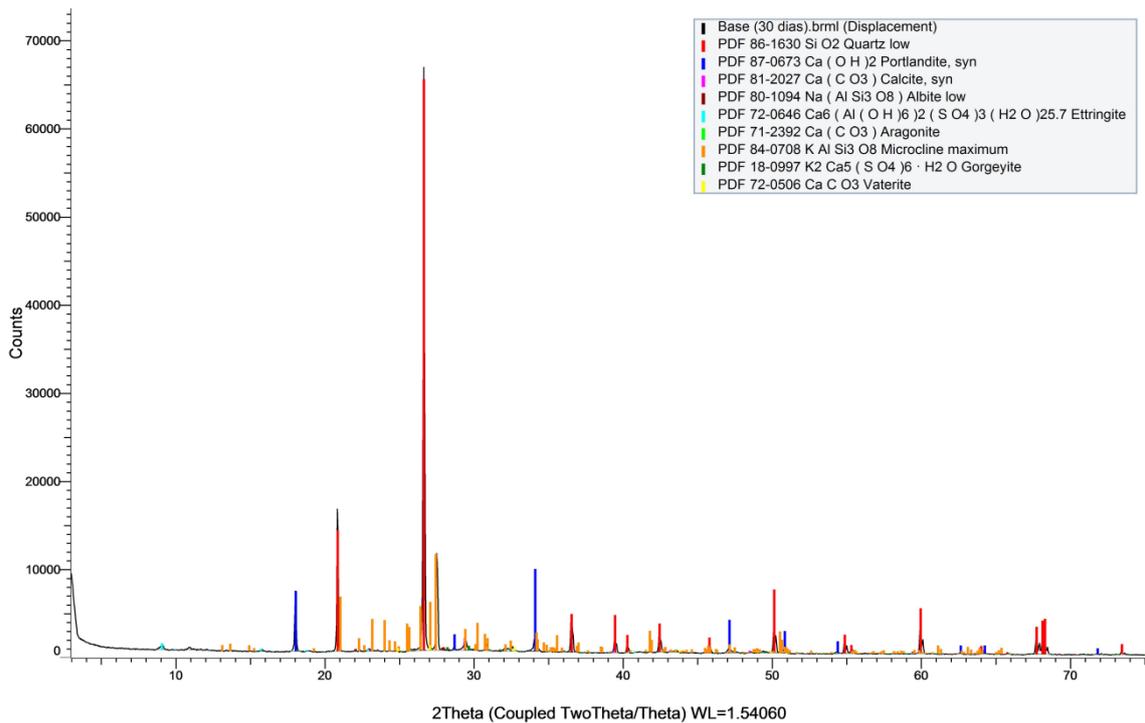
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 81-2027	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			2	PDF 87-0673	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			3	PDF 80-1094	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 80-1094
Yes			4	PDF 72-0646	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			5	PDF 84-0708	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			6	PDF 18-0997	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			7	PDF 71-2392	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #11	Base (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.0307 %	3.020		62.10 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.5780 %	3.230		1.51 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	6.6566 %	3.500		3.60 %
Albite low	Na (Al Si3 O8)	Calculated	0.6505 %	0.640		1.92 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	0.7656 %	1.660		0.87 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	8.1578 %	0.580		26.64 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.9551 %	(1)		1.81 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.2444 %	1.050		0.44 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.6619 %	1.140		1.10 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.13700	12.78500
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
7.15830	94.260	116.600	87.710	4	332.00	2.623	No	F30= 169.4(0.0048, 37)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #14

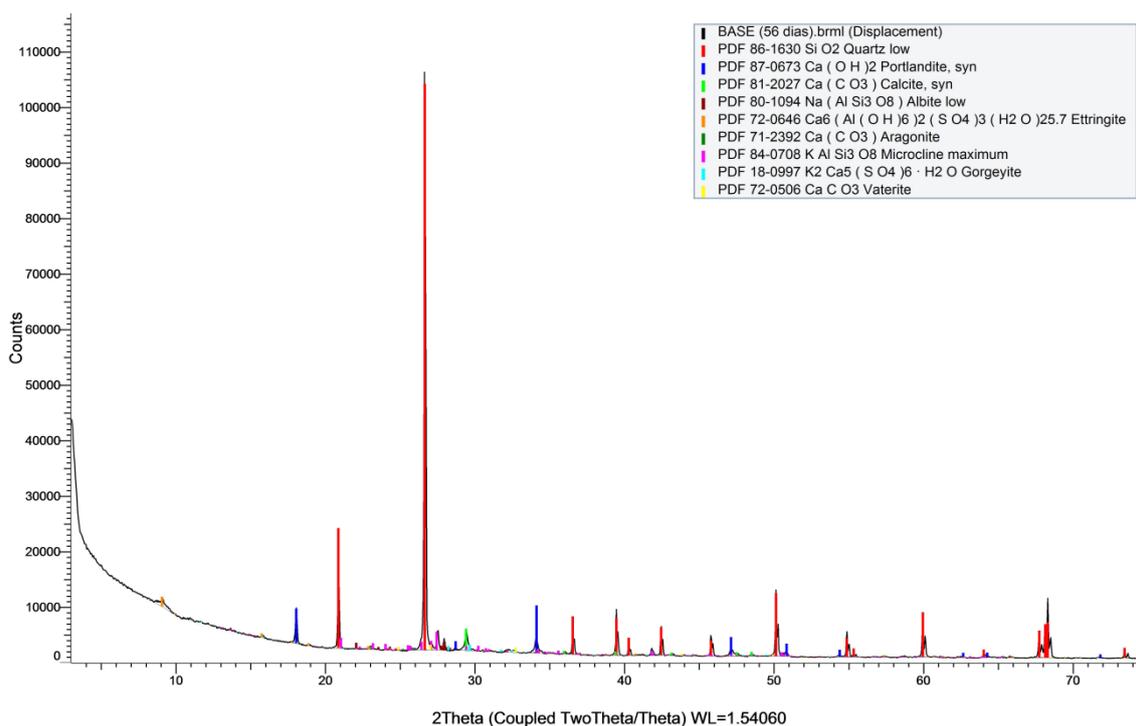
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 80-1094	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 80-1094
Yes			4	PDF 72-0646	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #14	Base (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	97.9534 %	3.020		47.18 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	14.1522 %	3.500		5.88 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.0948 %	3.230		0.94 %
Albite low	Na (Al Si3 O8)	Calculated	0.5207 %	0.640		1.18 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.1085 %	1.660		0.97 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.2702 %	1.050		0.37 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	16.4612 %	0.580		41.28 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.7435 %	(1)		1.08 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.8623 %	1.140		1.10 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.13700	12.78500
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmnc (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
7.15830	94.260	116.600	87.710	4	332.00	2.623	No	F30= 169.4(0.0048, 37)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #17

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 80-1094	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 80-1094
Yes			4	PDF 72-0646	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#17	BASE (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

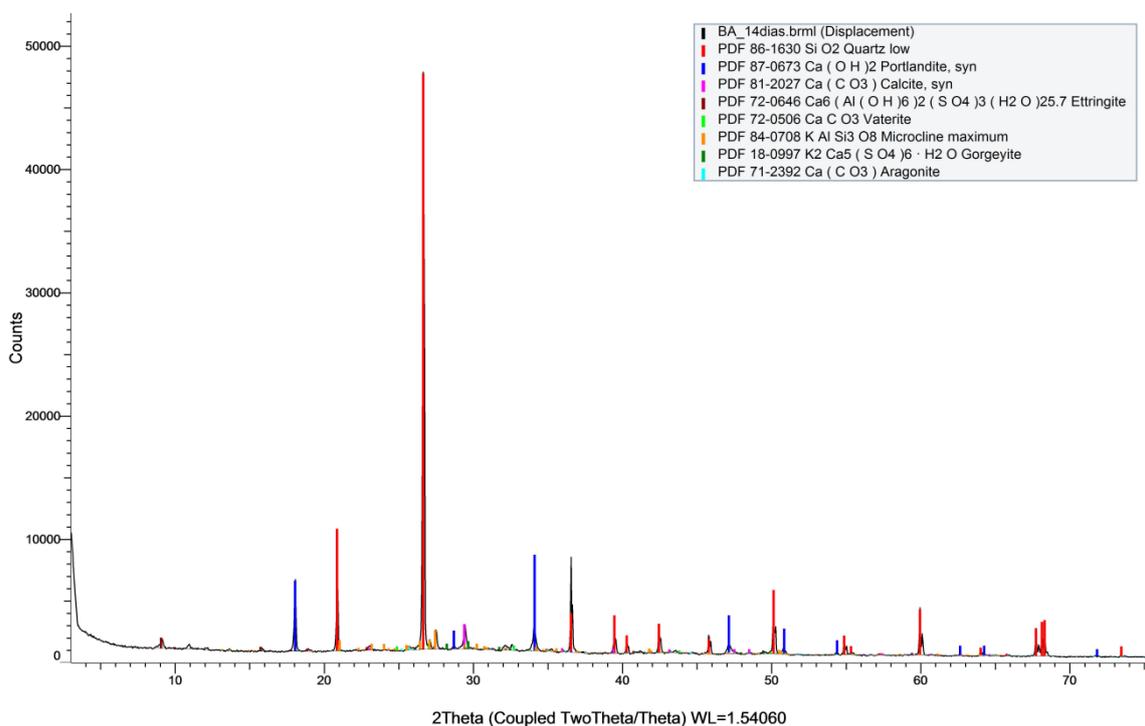
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	97.9939 %	3.020		69.25 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	8.2405 %	3.500		5.02 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.8239 %	3.230		2.53 %
Albite low	Na (Al Si3 O8)	Calculated	1.3870 %	0.640		4.62 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.7112 %	1.660		2.20 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3996 %	1.050		0.81 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	3.1544 %	0.580		11.61 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0363 %	(1)		2.21 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9337 %	1.140		1.75 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.13700	12.78500
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
7.15830	94.260	116.600	87.710	4	332.00	2.623	No	F30= 169.4(0.0048, 37)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo P - Resultados da difração de Raios-X do BA aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #20

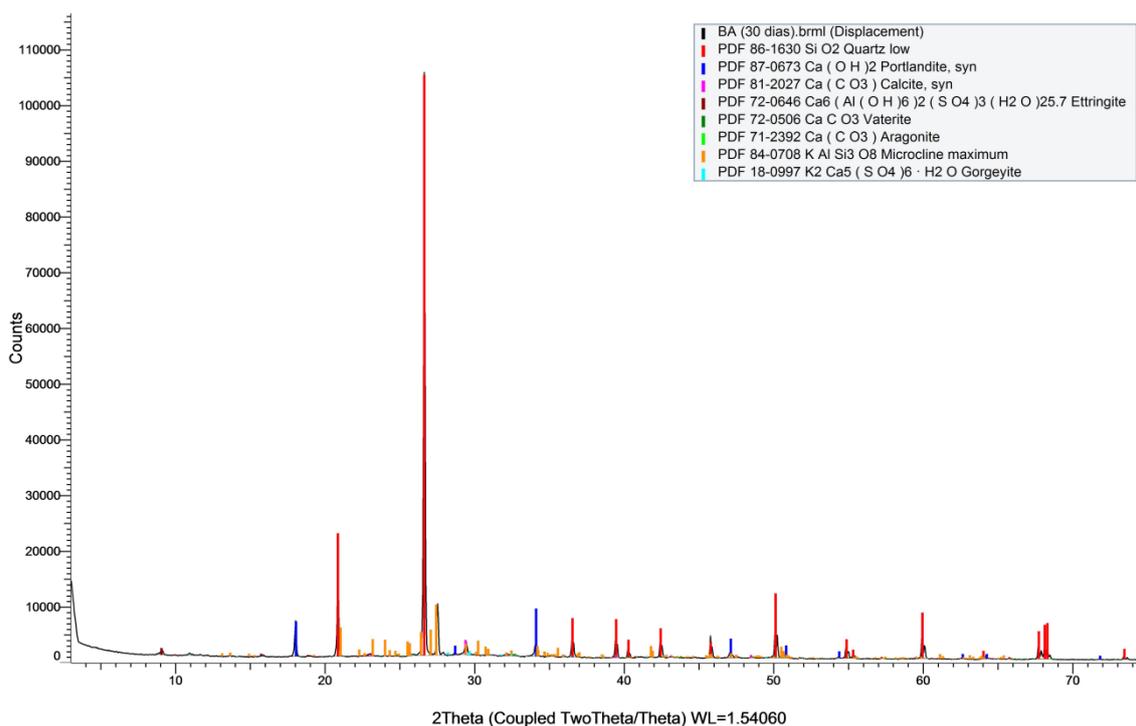
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 72-0506	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 72-0506
Yes			5	PDF 84-0708	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			6	PDF 18-0997	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			7	PDF 71-2392	Pattern List#20	BA_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 71-2392

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.7161 %	3.020		67.99 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	16.6199 %	3.500		9.78 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	4.2682 %	3.230		2.72 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.8472 %	1.660		2.29 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	1.0458 %	1.140		1.89 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	3.2700 %	0.580		11.61 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.3667 %	(1)		2.81 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.4634 %	1.050		0.91 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #23

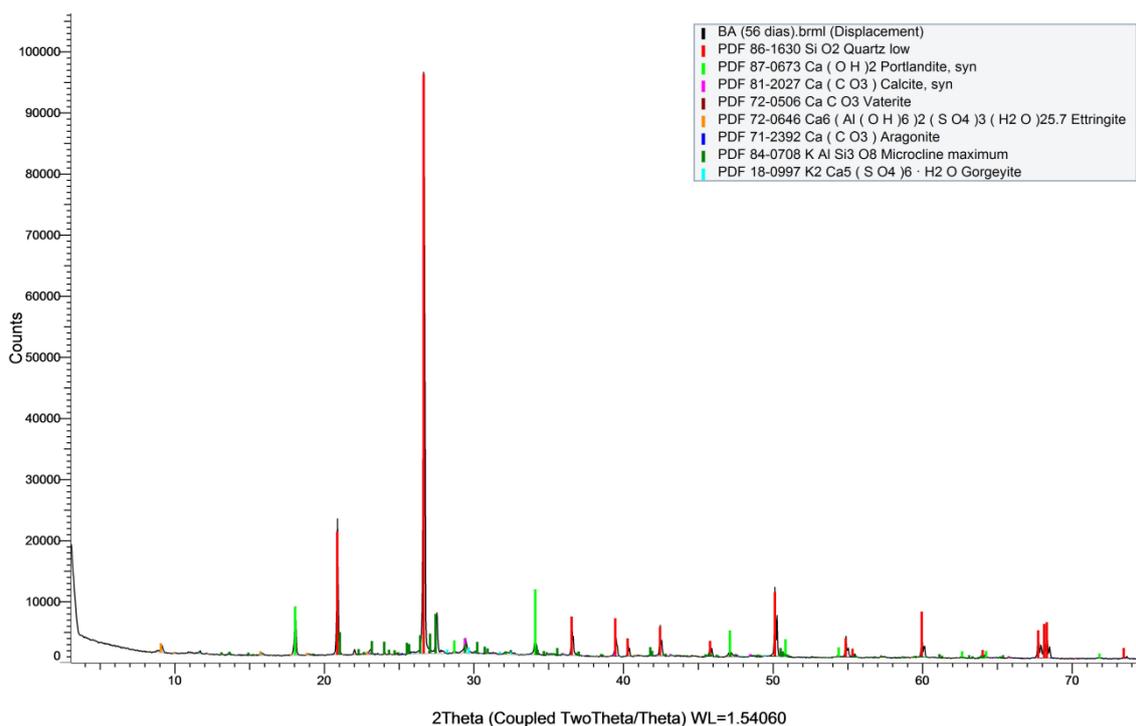
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 72-0506	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#23	BA (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.5128 %	3.020		62.13 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	8.2171 %	3.500		4.43 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.5514 %	3.230		1.49 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.1725 %	1.660		1.33 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.4763 %	1.140		0.79 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.2325 %	1.050		0.42 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	8.6688 %	0.580		28.18 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.6566 %	(1)		1.24 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #26

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0506	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506
Yes			4	PDF 72-0646	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#26	BA (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997

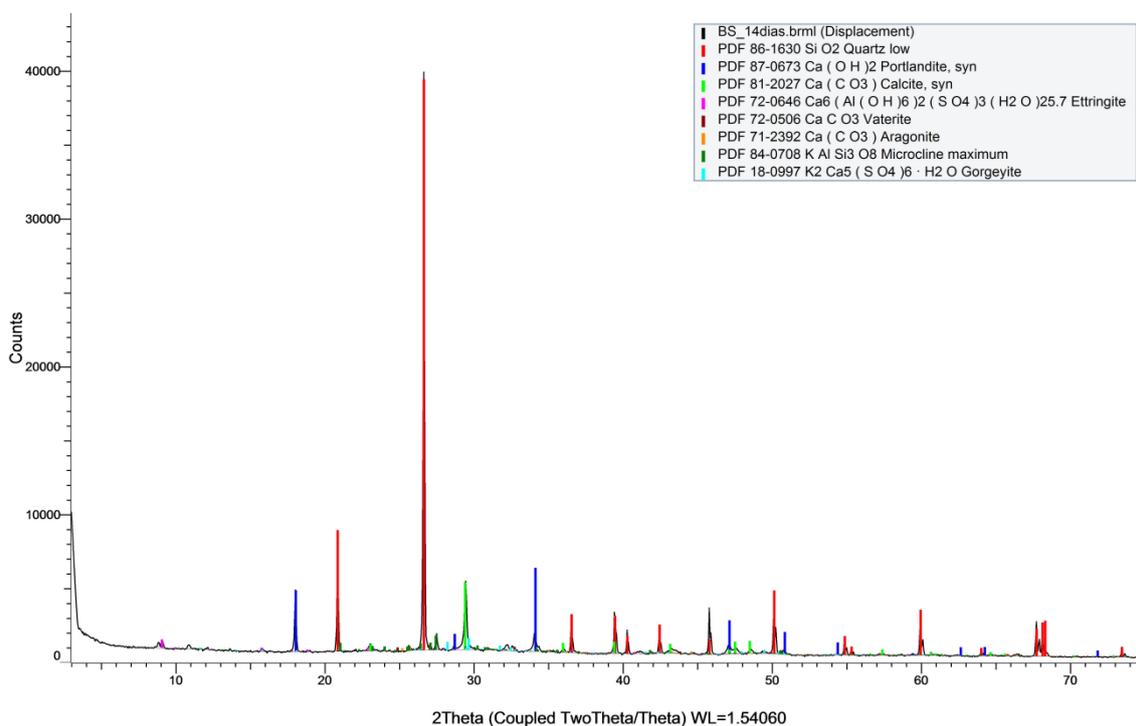
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.6884 %	3.020		64.38 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	11.2445 %	3.500		6.27 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.5477 %	3.230		1.54 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.4469 %	1.140		0.76 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.5855 %	1.660		1.86 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3281 %	1.050		0.61 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	6.7598 %	0.580		22.73 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.9442 %	(1)		1.84 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmnc (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)

Anexo Q - Resultados da difração de Raios-X do BS aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #6

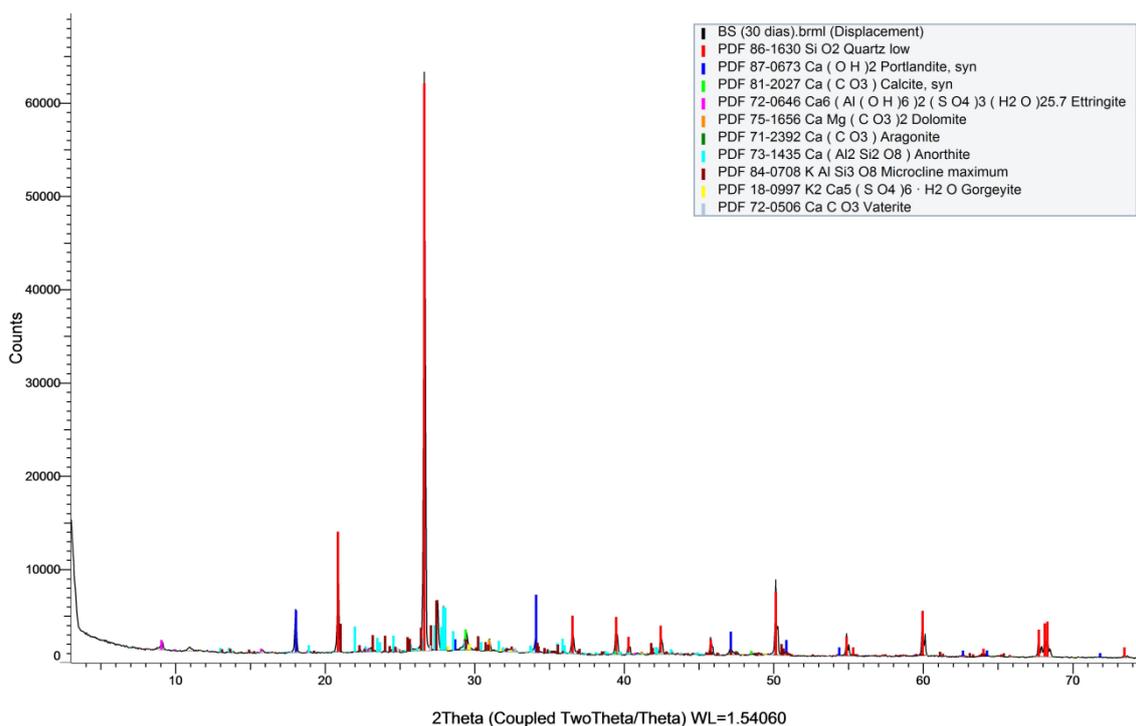
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 72-0506	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 72-0506
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#6	BS_14dias.brml (Displacement) #1	PDF 18-0997

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/c DB	I/c User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.7354 %	3.020		66.61 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	14.4401 %	3.500		8.41 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	11.6078 %	3.230		7.32 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.5065 %	1.660		1.85 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9250 %	1.140		1.65 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.6533 %	1.050		1.27 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	2.5021 %	0.580		8.79 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	2.0112 %	(1)		4.10 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #9

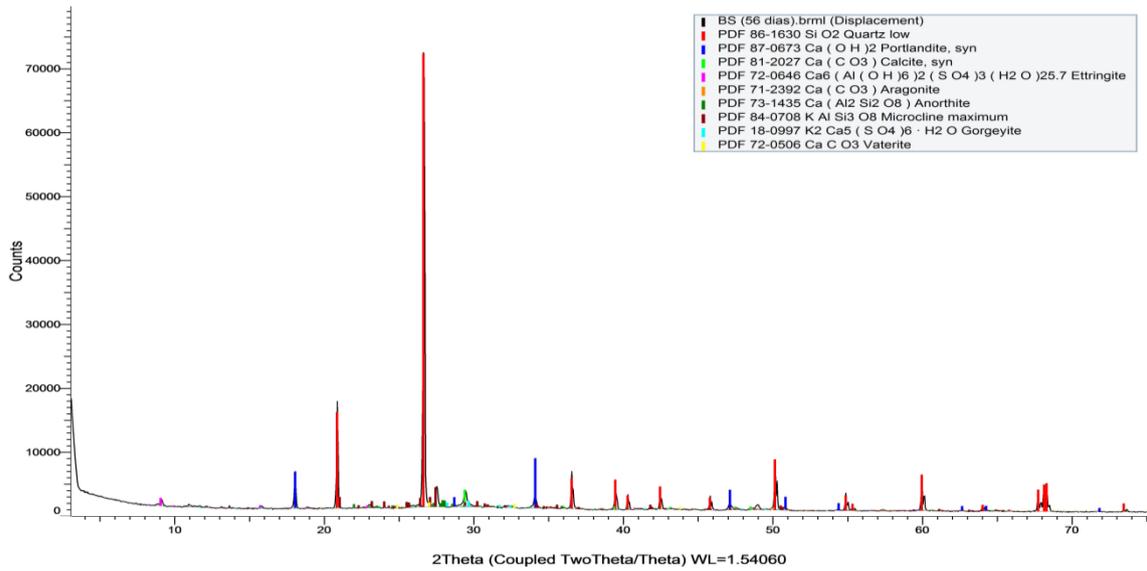
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 75-1656	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 75-1656
Yes			5	PDF 71-2392	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			6	PDF 73-1435	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			7	PDF 84-0708	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			8	PDF 18-0997	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			9	PDF 72-0506	Pattern List#9	BS (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.0893 %	3.020		46.93 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	9.9988 %	3.500		4.13 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.6224 %	3.230		1.62 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.7070 %	1.660		1.49 %
Dolomite	Ca Mg (C O3)2	Calculated	2.0357 %	2.520		1.17 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.4305 %	1.050		0.59 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	7.5333 %	0.550		19.79 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	8.6450 %	0.580		21.54 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.1043 %	(1)		1.60 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9102 %	1.140		1.15 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c(167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c(159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3 (148)	4.80500	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c(15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc(194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
16.02200				3	320.36	2.867	No	F30= 999.9(0.0001, 31)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #15

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#15	BS (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

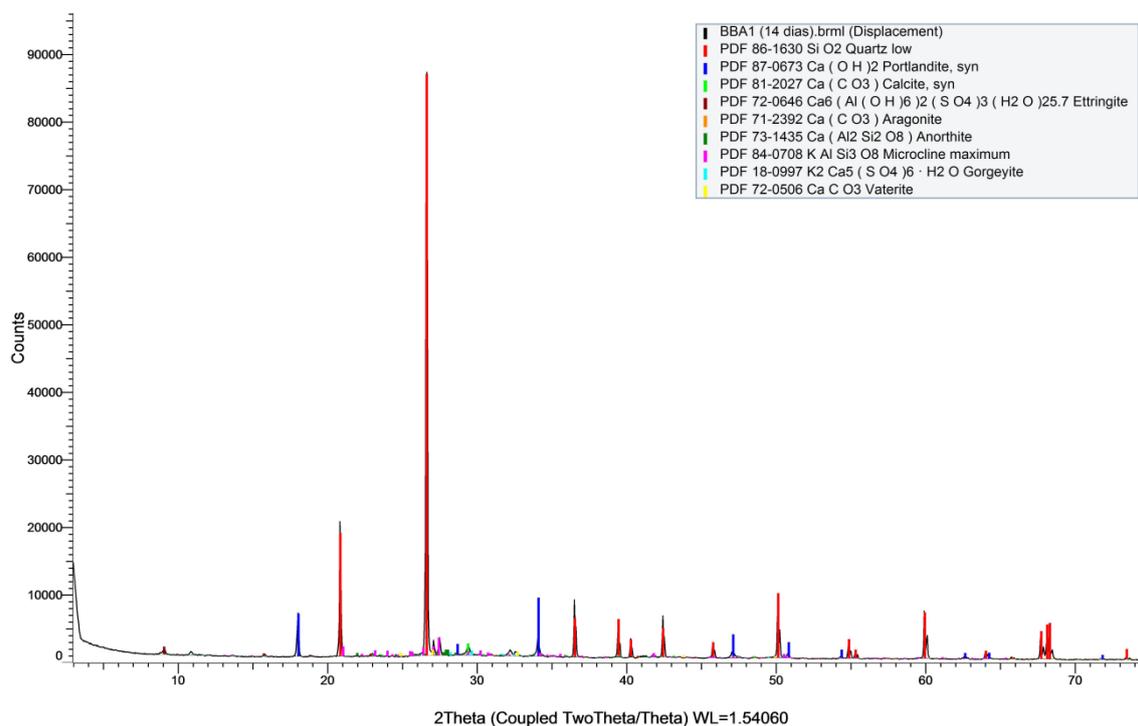
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.7419 %	3.020		64.69 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	10.9441 %	3.500		6.12 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.7330 %	3.230		2.26 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.7315 %	1.660		2.04 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3947 %	1.050		0.74 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	1.4563 %	0.550		5.19 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	4.3386 %	0.580		14.65 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.3114 %	(1)		2.57 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	1.0132 %	1.140		1.74 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo R - Resultados da difração de Raios-X do BBA1 aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #54

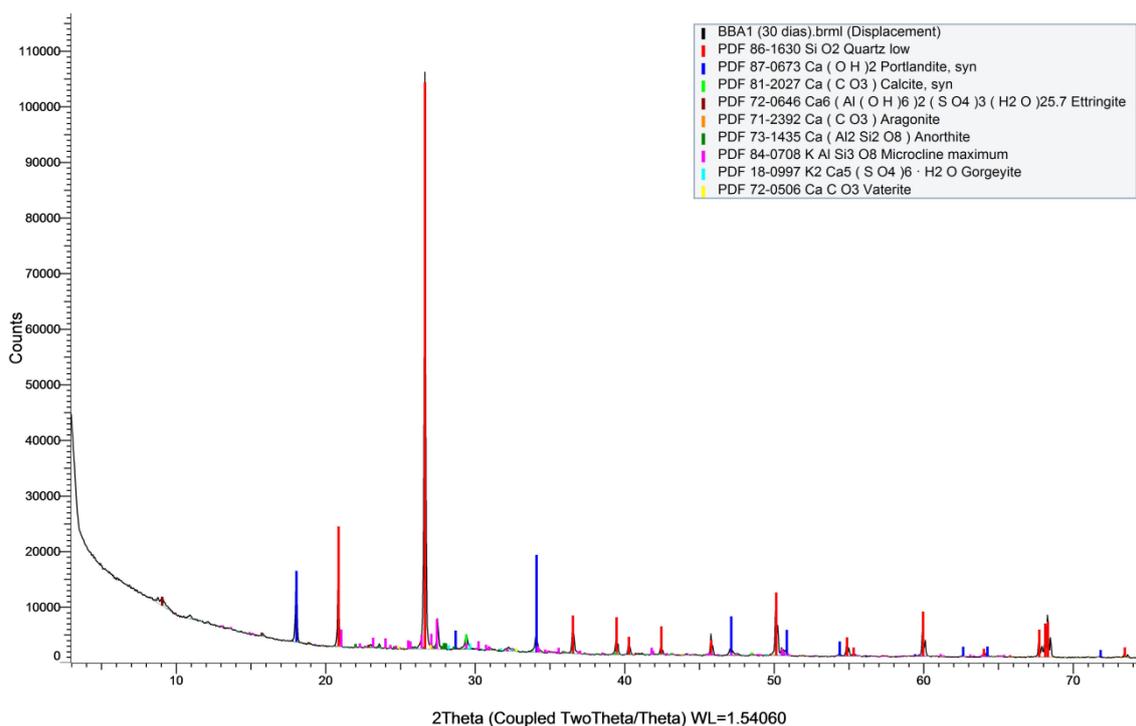
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #54	BBA1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.6935 %	3.020		71.57 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	10.0675 %	3.500		6.24 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.0170 %	3.230		1.35 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.3180 %	1.660		1.72 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3139 %	1.050		0.65 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.9724 %	0.550		3.83 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	2.9939 %	0.580		11.19 %
Gorgevite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.7604 %	(1)		1.65 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9424 %	1.140		1.79 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #57

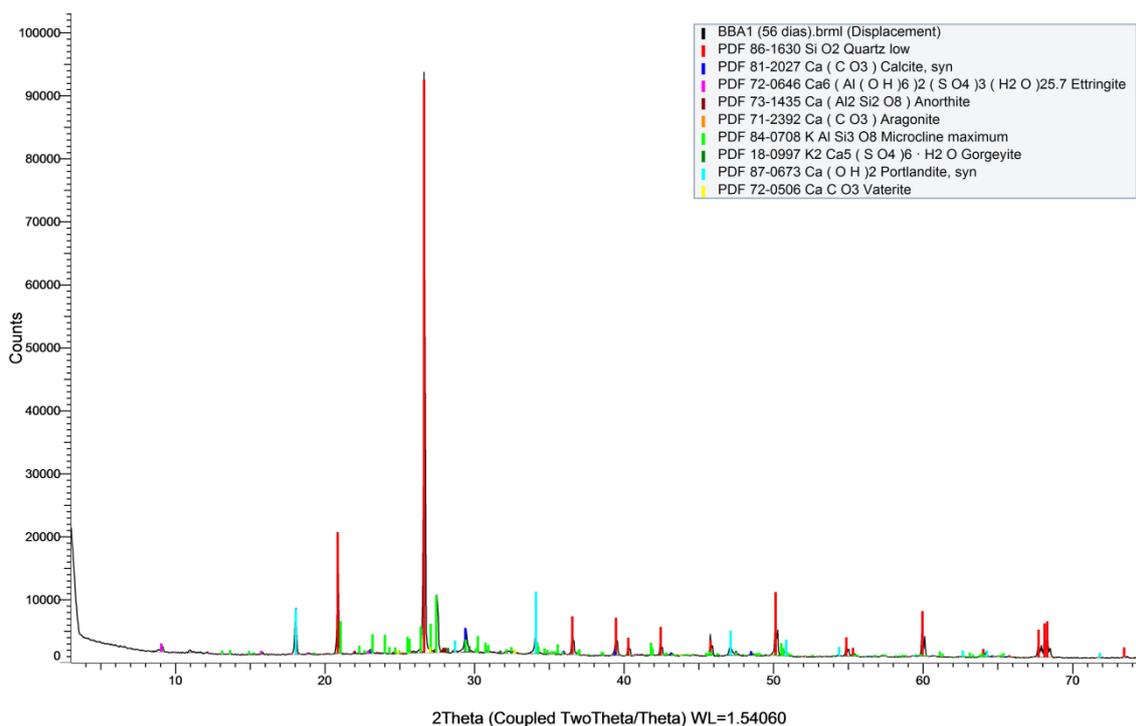
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#57	BBA1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.2106 %	3.020		62.64 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	16.8518 %	3.500		9.27 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.6196 %	3.230		1.56 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.5614 %	1.660		1.81 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3542 %	1.050		0.65 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	1.0617 %	0.550		3.72 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	5.1870 %	0.580		17.23 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0377 %	(1)		2.00 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.6579 %	1.140		1.11 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcn (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #60

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 81-2027	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			2	PDF 72-0646	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			3	PDF 73-1435	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 84-0708	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			6	PDF 18-0997	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			7	PDF 87-0673	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #60	BBA1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

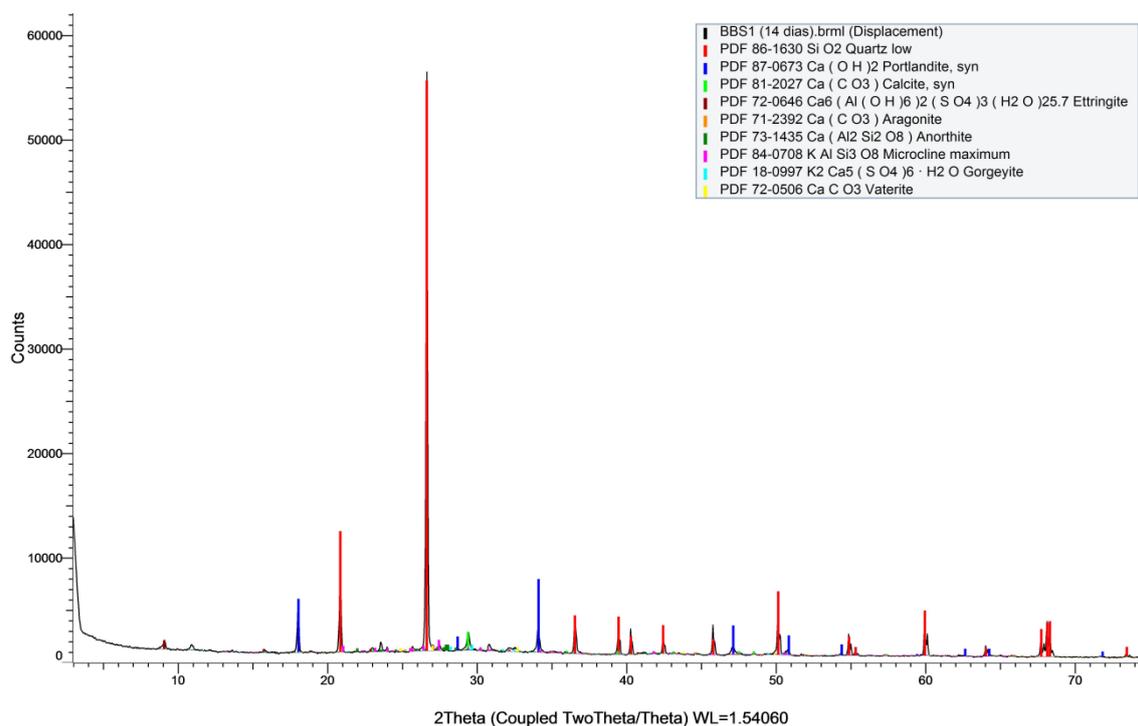
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.7004 %	3.020		55.79 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	4.1933 %	3.230		2.22 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.4269 %	1.660		1.47 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.8165 %	0.550		2.53 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.4020 %	1.050		0.65 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	9.8313 %	0.580		28.94 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0892 %	(1)		1.86 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	10.6871 %	3.500		5.21 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.8868 %	1.140		1.33 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcn (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo S - Resultados da difração de Raios-X do BBS1 aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #73

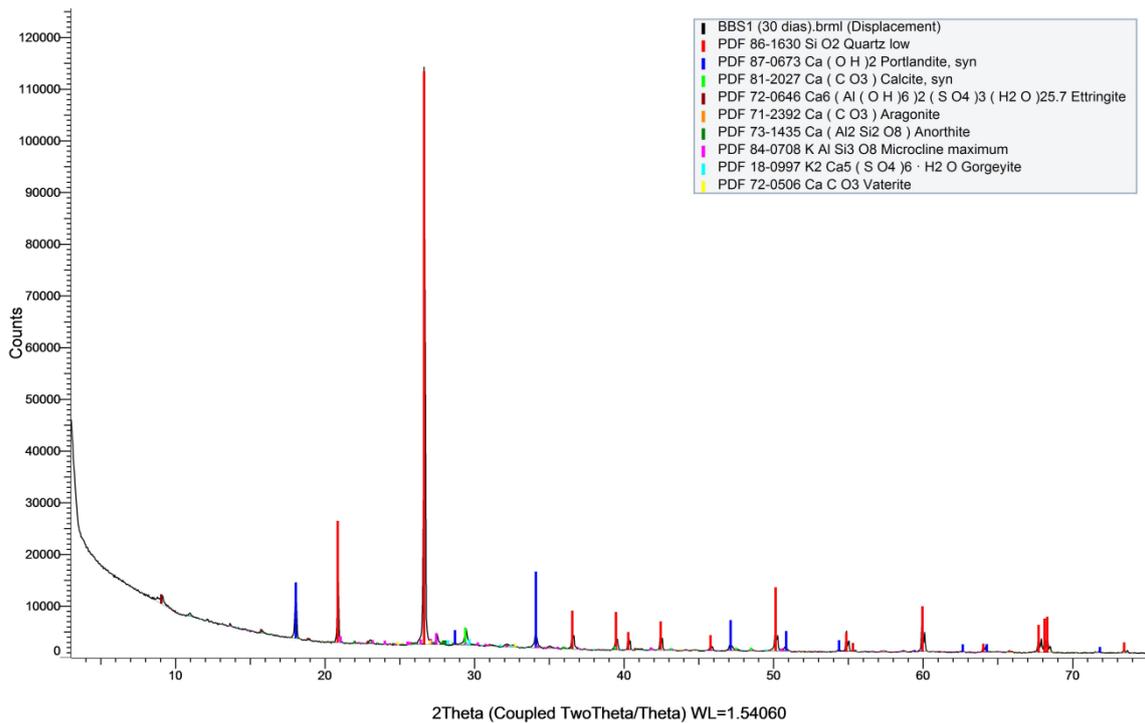
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #73	BBS1 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.5375 %	3.020		71.72 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	12.6260 %	3.500		7.93 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.1818 %	3.230		2.17 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.4830 %	1.660		1.96 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.5539 %	1.050		1.16 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	1.0441 %	0.550		4.17 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	1.8496 %	0.580		7.01 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.9937 %	(1)		2.18 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.8797 %	1.140		1.70 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #76

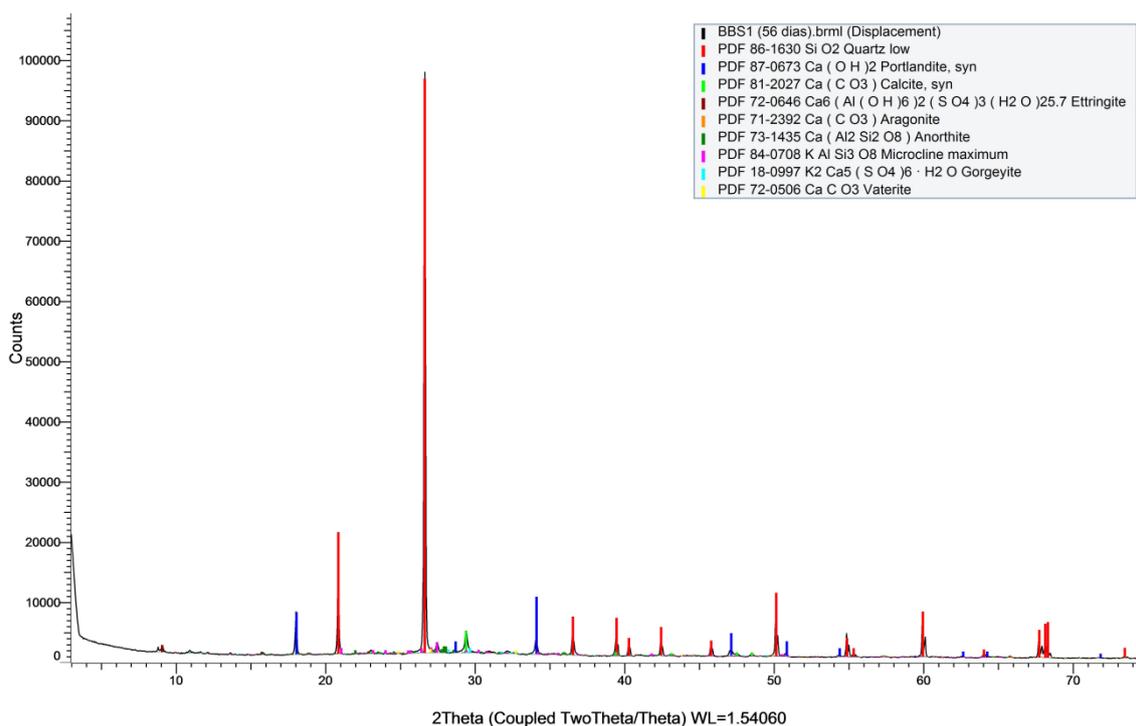
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#76	BBS1 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.2858 %	3.020		72.48 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	13.2000 %	3.500		8.31 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.0454 %	3.230		2.08 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.6276 %	1.660		2.16 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3829 %	1.050		0.80 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.7469 %	0.550		2.99 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	1.9512 %	0.580		7.42 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0687 %	(1)		2.36 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.7225 %	1.140		1.40 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #79

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #79	BBS1 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

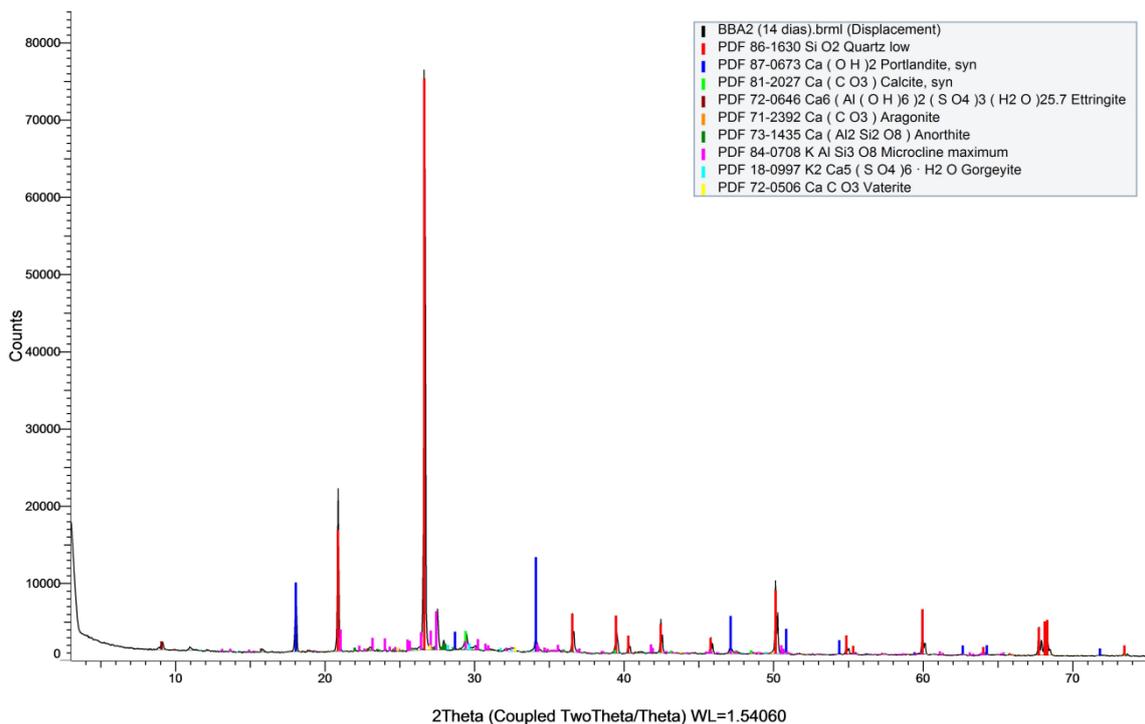
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.8588 %	3.020		73.96 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	9.9194 %	3.500		6.40 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.7150 %	3.230		2.60 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.2024 %	1.660		1.64 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3718 %	1.050		0.80 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	1.0967 %	0.550		4.50 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	1.7805 %	0.580		6.94 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.8221 %	(1)		1.86 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.6597 %	1.140		1.31 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo T - Resultados da difração de Raios-X do BBA2 aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #64

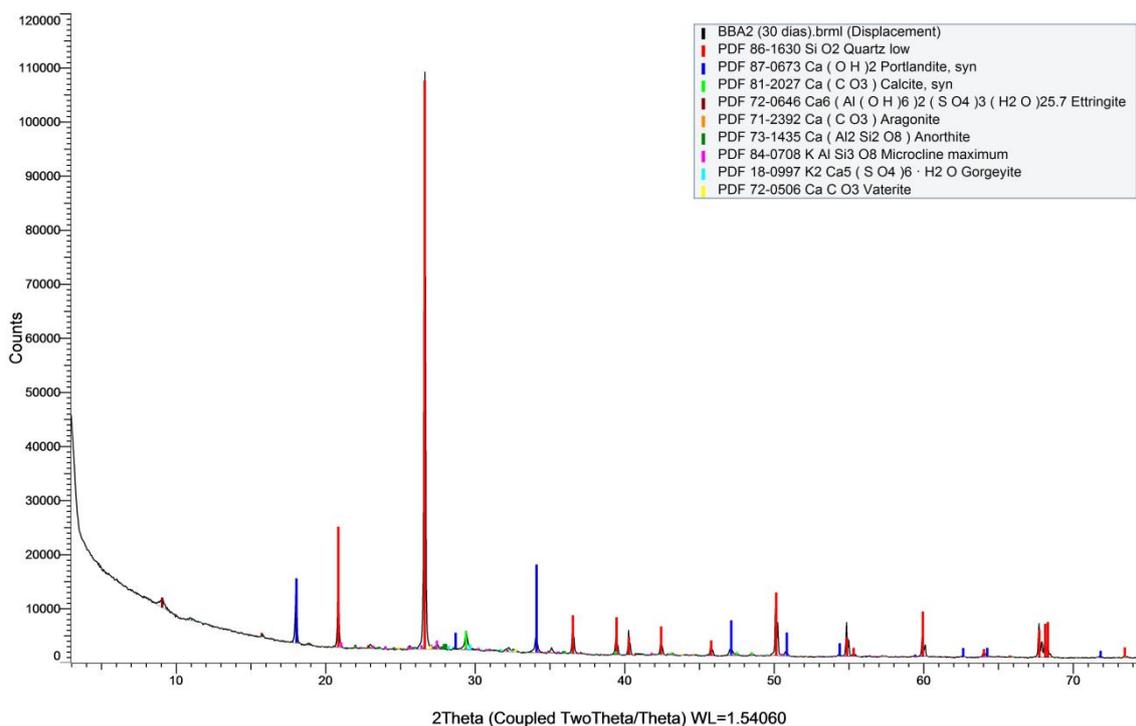
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#64	BBA2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O ₂	Calculated	98.5349 %	3.020		59.71 %
Portlandite, syn	Ca (OH) ₂	Calculated	16.2541 %	3.500		8.50 %
Calcite, syn	Ca (CO ₃)	Calculated	3.2510 %	3.230		1.84 %
Ettringite	Ca ₆ (Al (OH) ₆) ₂ (SO ₄) ₃ (H ₂ O) _{25.7}	Calculated	1.4233 %	1.660		1.57 %
Aragonite	Ca (CO ₃)	Calculated	0.3597 %	1.050		0.63 %
Anorthite	Ca (Al ₂ Si ₂ O ₈)	Calculated	1.0128 %	0.550		3.37 %
Microcline maximum	KAlSi ₃ O ₈	Calculated	6.6241 %	0.580		20.90 %
Gorgeyite	K ₂ Ca ₅ (SO ₄) ₆ ·H ₂ O	Indexed	1.1680 %	(1)		2.14 %
Vaterite	CaCO ₃	Calculated	0.8352 %	1.140		1.34 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcn (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #67

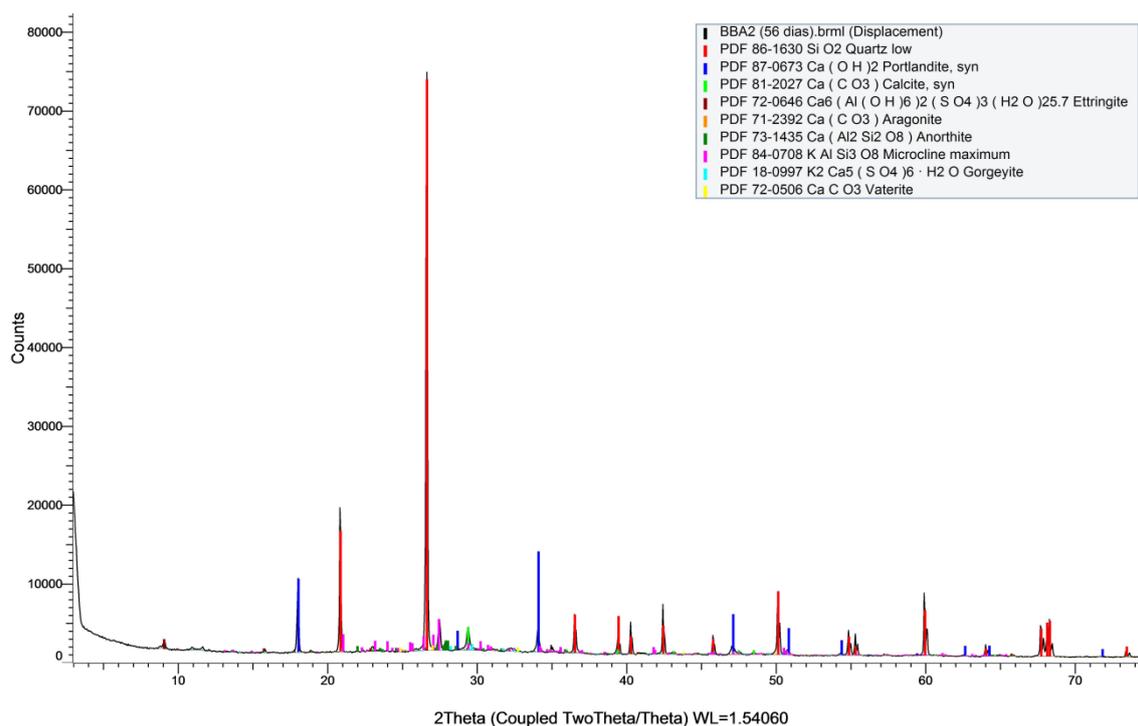
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#67	BBA2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.5568 %	3.020		72.10 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	15.2854 %	3.500		9.65 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.2415 %	3.230		2.22 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.7210 %	1.660		2.29 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.4014 %	1.050		0.84 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.9668 %	0.550		3.88 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	1.4942 %	0.580		5.69 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.9690 %	(1)		2.14 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.6123 %	1.140		1.19 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #70

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#70	BBA2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

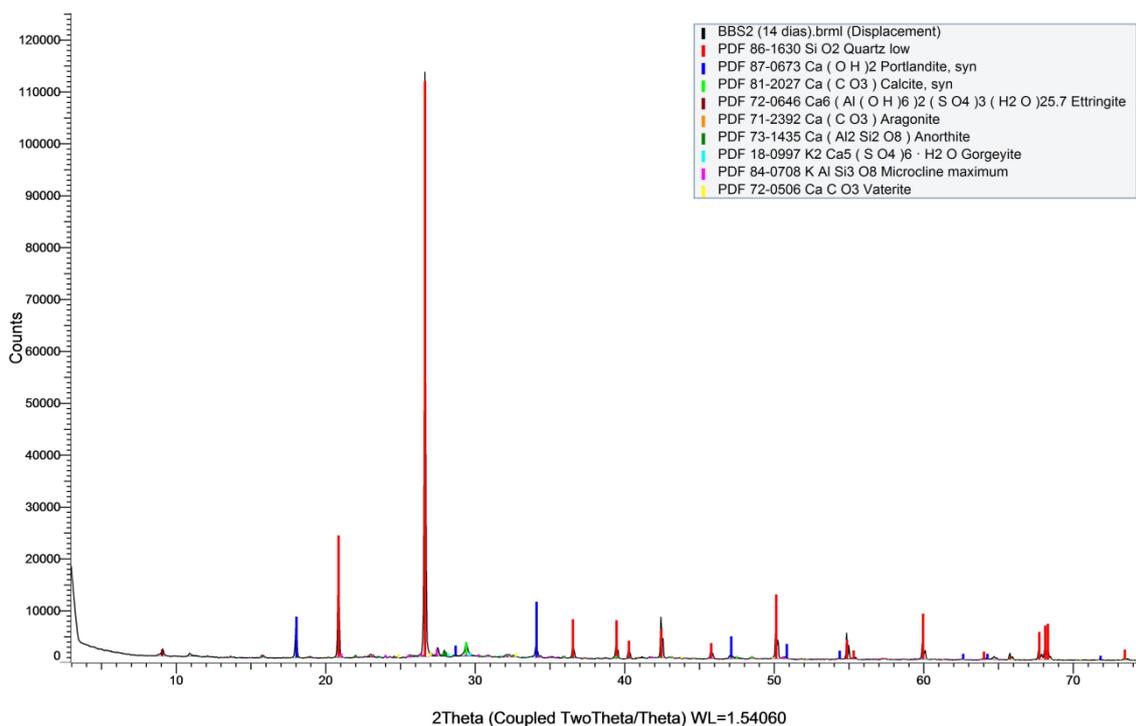
Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.7251 %	3.020		59.88 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	17.3696 %	3.500		9.09 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.9684 %	3.230		2.25 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.6953 %	1.660		1.87 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.5014 %	1.050		0.87 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	1.7009 %	0.550		5.67 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	5.3729 %	0.580		16.97 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0605 %	(1)		1.94 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9030 %	1.140		1.45 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo U - Resultados da difração de Raios-X do BBS2 aos 14, 30, 56 dias

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #82

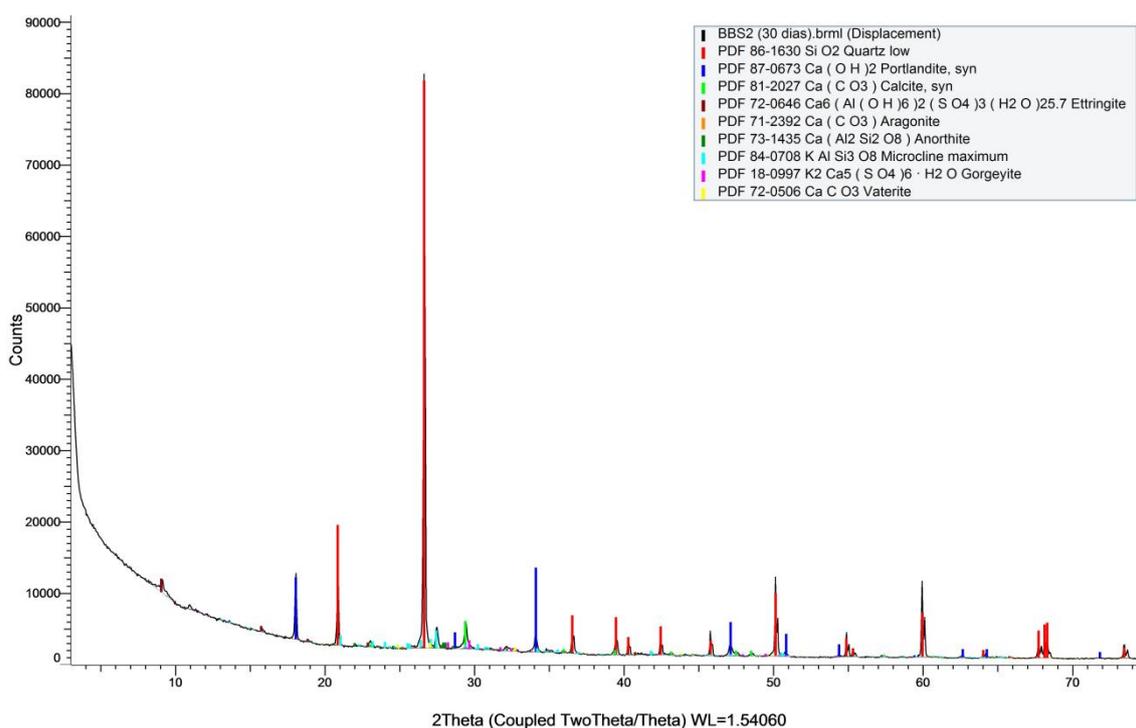
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 18-0997	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			7	PDF 84-0708	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List #82	BBS2 (14 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.4612 %	3.020		78.01 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	9.5441 %	3.500		6.52 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	2.4062 %	3.230		1.78 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.0855 %	1.660		1.56 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.2624 %	1.050		0.60 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.7759 %	0.550		3.38 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	0.6886 %	(1)		1.65 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	1.1824 %	0.580		4.88 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.7702 %	1.140		1.62 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #85

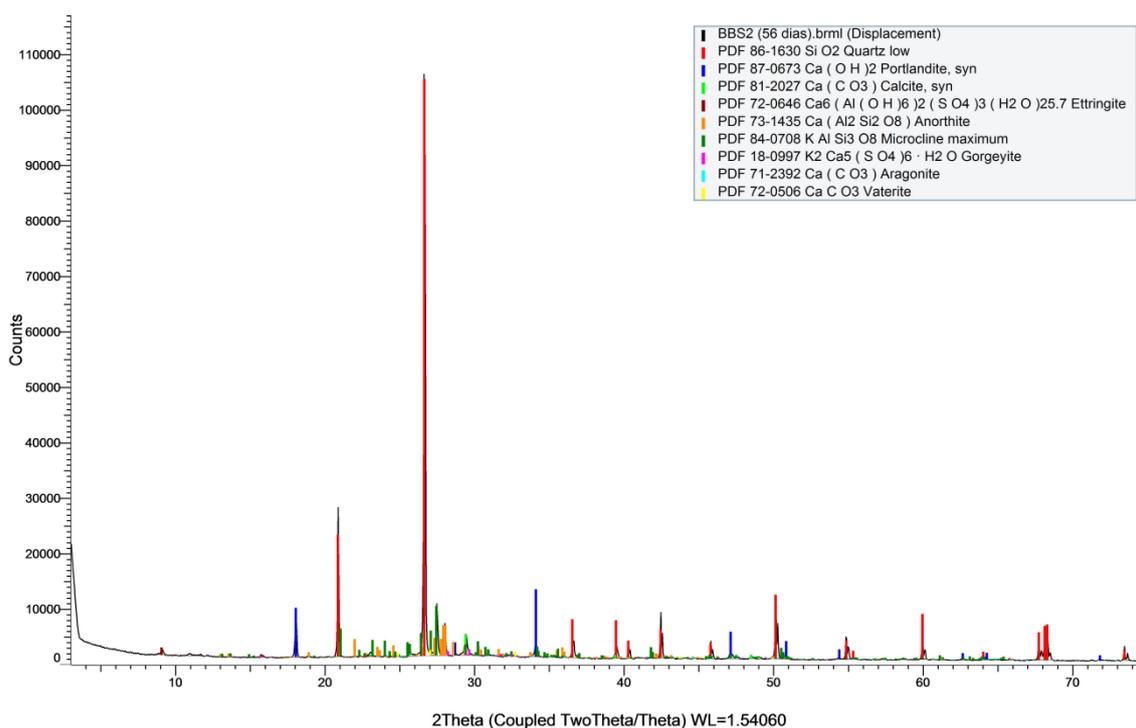
Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 71-2392	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			5	PDF 73-1435	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			6	PDF 84-0708	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			7	PDF 18-0997	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#85	BBS2 (30 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	98.8916 %	3.020		65.81 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	14.6982 %	3.500		8.44 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	4.8398 %	3.230		3.01 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	2.3553 %	1.660		2.85 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.5332 %	1.050		1.02 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	0.9948 %	0.550		3.64 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	3.0468 %	0.580		10.56 %
Gorqeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.5043 %	(1)		3.02 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	0.9346 %	1.140		1.65 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmcm (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Commander Sample ID (Coupled TwoTheta/Theta)



Pattern List #88

Show	Icon	Color	Index	Name	Parent	Scan	Pattern #
Yes			0	PDF 86-1630	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 86-1630
Yes			1	PDF 87-0673	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 87-0673
Yes			2	PDF 81-2027	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 81-2027
Yes			3	PDF 72-0646	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0646
Yes			4	PDF 73-1435	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 73-1435
Yes			5	PDF 84-0708	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 84-0708
Yes			6	PDF 18-0997	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 18-0997
Yes			7	PDF 71-2392	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 71-2392
Yes			8	PDF 72-0506	Pattern List#88	BBS2 (56 dias).brml (Displacement) #1	PDF 72-0506

Compound Name	Formula	Quality	Y-Scale	I/Ic DB	I/Ic User	S-Q
Quartz low	Si O2	Calculated	99.1309 %	3.020		50.97 %
Portlandite, syn	Ca (O H)2	Calculated	11.6081 %	3.500		5.15 %
Calcite, syn	Ca (C O3)	Calculated	3.6275 %	3.230		1.74 %
Ettringite	Ca6 (Al (O H)6)2 (S O4)3 (H2 O)25.7	Calculated	1.2893 %	1.660		1.21 %
Anorthite	Ca (Al2 Si2 O8)	Calculated	5.1988 %	0.550		14.68 %
Microcline maximum	K Al Si3 O8	Calculated	8.5100 %	0.580		22.78 %
Gorgeyite	K2 Ca5 (S O4)6 · H2 O	Indexed	1.0274 %	(1)		1.60 %
Aragonite	Ca (C O3)	Calculated	0.3410 %	1.050		0.50 %
Vaterite	Ca C O3	Calculated	1.0000 %	1.140		1.36 %

Added Reference	d x by	Scan WL	Wavelength	System	Space Group	a	b
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P3121 (152)	4.91410	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P-3m1 (164)	3.58900	
	1.0000	Yes	1.54060	Rhombo.H.axes	R-3c (167)	4.99100	
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P31c (159)	11.26000	
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	P-1 (2)	8.17680	12.87680
	1.0000	Yes	1.54060	Triclinic	C-1 (2)	8.57320	12.96680
	1.0000	Yes	1.54060	Monoclinic	C2/c (15)	17.47500	6.83200
	1.0000	Yes	1.54060	Orthorhombic	Pmnc (62)	4.96140	8.96710
	1.0000	Yes	1.54060	Hexagonal	P63/mmc (194)	4.13000	

c	alpha	beta	gamma	Z	Volume	Density	Cell Tuned	F (N)
5.40600				3	113.06	2.647	No	F29= 999.9(0.0001, 29)
4.91100				1	54.78	2.240	No	F17= 263.4(0.0034, 19)
17.06200				6	368.07	2.709	No	F30= 999.9(0.0001, 30)
21.48000				2	2358.53	1.770	No	F30= 999.9(0.0000, 34)
14.16900	93.170	115.850	91.220	8	1338.82	2.760	No	F30= 63.1(0.0106, 45)
7.22270	90.658	115.917	87.626	4	360.77	2.562	No	F30= 116.3(0.0061, 42)
18.22600		113.300		4	1998.53	2.930	No	F30= 5.1(0.0280, 210)
5.74040				4	255.39	2.603	No	F30= 585.4(0.0017, 31)
8.49000				2	125.41	2.600	No	F30= 398.7(0.0024, 31)

Anexo V - Resultados do ensaio NMP do BASE (36 dias) e BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 (14 dias)

NMP - 36 dias			
BASE	SM	1ºplaca	Negativo
	SM	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo

NMP - 14 dias							
BBS2	SM	1ºplaca	Positivo	BBS1	SM	1ºplaca	Positivo
	SM	2ºplaca	Positivo		SM	2ºplaca	Positivo
	10 ⁻¹	1ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻¹	2ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	1ºplaca	Negativo		10 ⁻²	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻²	2ºplaca	Negativo		10 ⁻²	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	1ºplaca	Negativo		10 ⁻³	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻³	2ºplaca	Negativo		10 ⁻³	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo

NMP - 14 dias							
BBA2	SM	1ºplaca	Negativo	BBA1	SM	1ºplaca	Negativo
	SM	2ºplaca	Negativo		SM	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	1ºplaca	Negativo		10 ⁻¹	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo		10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	1ºplaca	Negativo		10 ⁻²	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	2ºplaca	Negativo		10 ⁻²	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	1ºplaca	Negativo		10 ⁻³	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	2ºplaca	Negativo		10 ⁻³	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo

Anexo W - Resultados do ensaio NMP do BBA1, BBS1, BBA2 e BBS2 (36 dias)

NMP - 36 dias							
BBS2	SM	1ºplaca	Positivo	BBS1	SM	1ºplaca	Negativo
	SM	2ºplaca	Positivo		SM	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	1ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	2ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	1ºplaca	Negativo		10 ⁻²	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	2ºplaca	Negativo		10 ⁻²	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	1ºplaca	Negativo		10 ⁻³	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻³	2ºplaca	Negativo		10 ⁻³	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo

NMP - 36 dias							
BBA2	SM	1ºplaca	Positivo	BBA1	SM	1ºplaca	Negativo
	SM	2ºplaca	Negativo		SM	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	1ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	1ºplaca	Negativo
	10 ⁻¹	2ºplaca	Positivo		10 ⁻¹	2ºplaca	Negativo
	10 ⁻²	1ºplaca	Positivo		10 ⁻²	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻²	2ºplaca	Positivo		10 ⁻²	2ºplaca	Positivo
	10 ⁻³	1ºplaca	Positivo		10 ⁻³	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻³	2ºplaca	Negativo		10 ⁻³	2ºplaca	Positivo
	10 ⁻⁴	1ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	1ºplaca	Positivo
	10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo		10 ⁻⁴	2ºplaca	Negativo