

colégio
de
engenharia

**geológica
e de
minas**



**XV
ENCONTRO
NACIONAL**

Ponta Delgada,
26 a 29 de Maio de 2005

"SONNENBRAND" DOS BASALTOS

Dias, Isabel Maria Ribeiro da Fonseca

Laboratório Regional de Engenharia Civil, Ponta Delgada, Isabel.MR.Dias@azores.gov.pt

Resumo

A alteração denominada "Sonnenbrand" pode manifestar-se nos Basaltos s.I., iniciando-se com o aparecimento de manchas cinzentas esbranquiçadas a partir das quais se formam fissuras radiais que se interligam. Este fenómeno reduz a resistência da textura mineral da rocha e, conseqüentemente, conduz a uma perda de resistência da mesma.

Com este trabalho objectiva-se que produtores e consumidores, que utilizam agregados de origem basáltica, (1) tenham conhecimento da existência deste problema que eventualmente os pode afectar e (2) se consciencializem que, quando o mesmo é diagnosticado atempadamente, se podem evitar as conseqüências decorrentes da sua degradação.

Para a consecução dos objectivos propostos apresenta-se uma síntese do documento normativo homologado para diagnóstico deste aspecto textural, de natureza secundária, que pode ocorrer nos basaltos, NP EN 1367-3, bem como o resultado de um pequeno estudo laboratorial resultante da aplicação do documento anteriormente referido. Para o efeito foram recolhidas duas amostras na Ilha de S. Jorge e duas na Ilha de S. Miguel e todas elas evidenciavam indícios de alteração de Sonnenbrand, com maior ou menor amplitude, exceptuando-se uma de S. Jorge que aparentemente se mostrava sã.

Assim, começou-se por fazer análises macroscópicas, a olho nu e com lupa de mão, sobre as amostras recolhidas. Para a determinação da perda de massa e da perda de resistência ensaiaram-se provetes de basalto com determinada granulometria antes e depois de serem sujeitas ao ensaio de ebulição.

Finalmente e recorrendo às normas de Produto dos Agregados tentou-se ver quais seriam as implicações que os resultados obtidos nos ensaios poderiam ter na aplicação destes materiais nas diferentes áreas da construção civil.

1. Introdução

O arquipélago dos Açores é constituído por nove ilhas de origem vulcânica (Figura 1), localizadas no Atlântico Norte, entre as latitudes 37° e 40°N e as longitudes 25° e 31°W, contando com uma área total da ordem de 2333Km² e cerca de 237500 habitantes. As ilhas estão distribuídas ao longo de uma faixa de aproximadamente 500 Km de extensão, com orientação WNW-ESE, e emergem da designada Plataforma dos Açores, uma zona alcandorada de forma triangular e com fundo irregular, cujo bordo se situa na linha batimétrica dos 2000m.

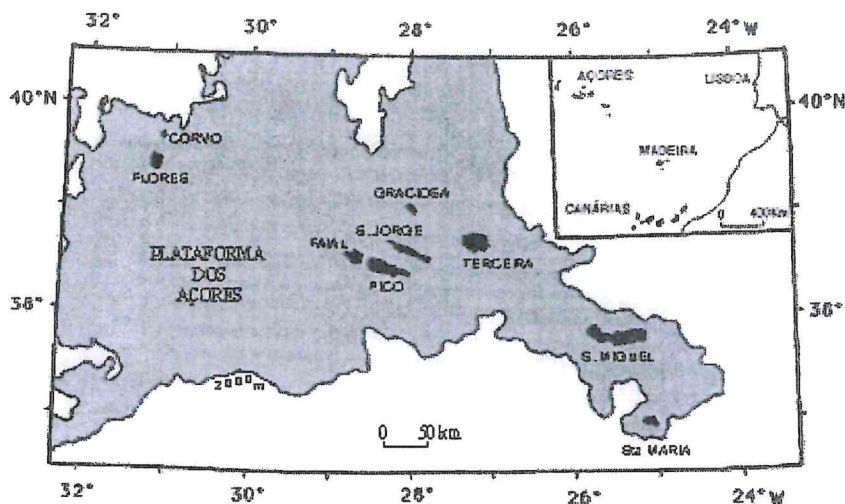


Figura 1: Localização geográfica do arquipélago dos Açores

Esta região localiza-se próximo da zona de confluência entre as placas litosféricas Americana, Euroasiática e Africana, conferindo-lhe um enquadramento geodinâmico complexo e de grande controvérsia científica. As estruturas tectónicas mais importantes que afectam a Plataforma dos Açores são a Crista Média Atlântica (CMA), a Zona de Fractura Norte dos Açores (ZFNA), a Zona de Fractura Este dos Açores (ZFEA), a Zona de Fractura Oeste dos Açores (ZFWA) e o Rifte da Terceira (RT; Figura 2).

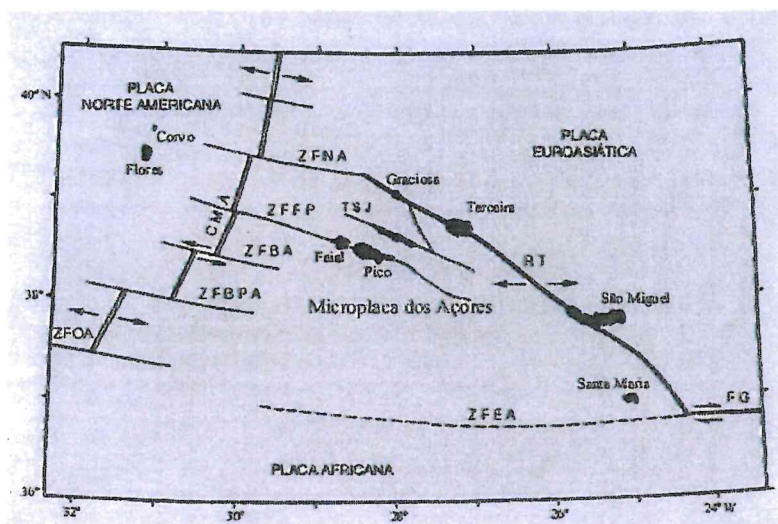


Figura 2: Placas e acidentes tectónicos que interactuam na região dos Açores

Pelo atrás exposto verifica-se a existência de uma série de estruturas tectónicas, cuja dinâmica é responsável pela sismicidade e vulcanismo existente nestas ilhas, bem como pelas características petrológicas e geoquímicas das lavas emitidas.

2. Características Petroológicas Sumárias do Arquipélago dos Açores

As ilhas do arquipélago dos Açores são essencialmente basálticas, embora ocorram também, com menor representatividade, rochas de natureza ácida. Neste contexto, ao invés do observável nas ilhas do Pico, São Jorge e Santa Maria, predominantemente constituídas por basaltos ou basaltos alcalinos picríticos, as restantes ilhas apresentam uma litologia mais variada que se dispersa dos basaltos alcalinos picríticos aos traquitos, englobando também havaítos e mugearitos (França, Z., 2000; Figura 3).

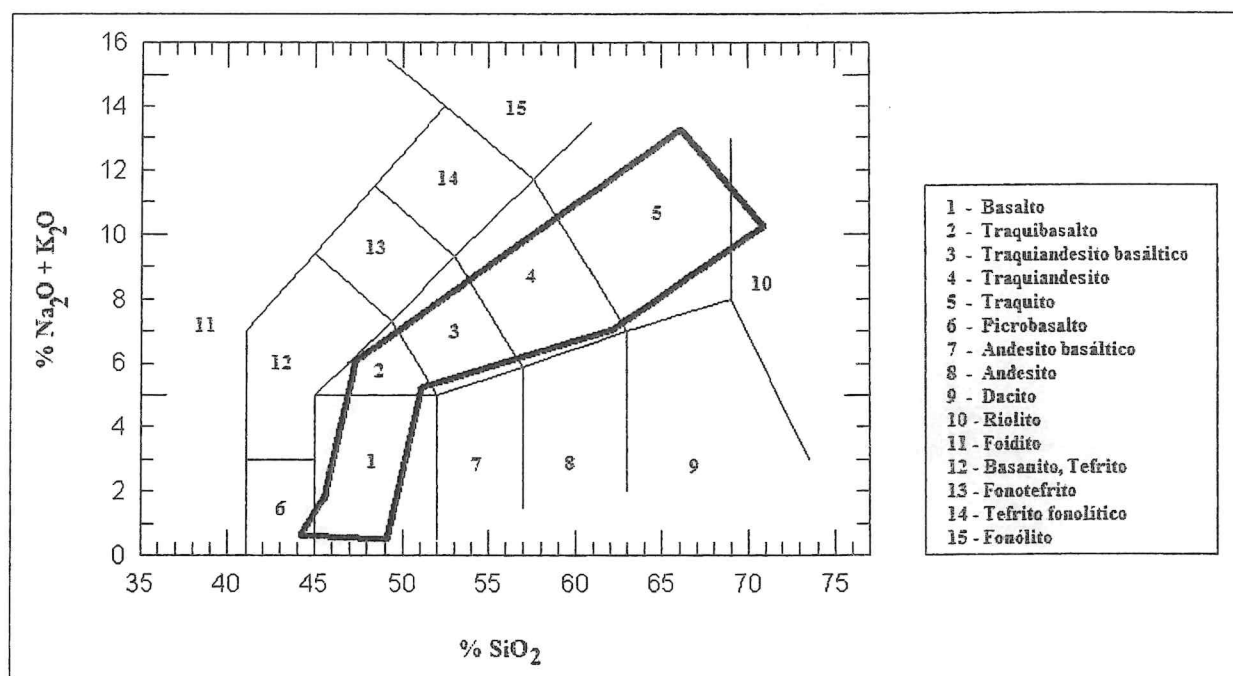


Figura 3: Classificação das lavas do arquipélago dos Açores, mediante o diagrama TAS de Le Bas *et al.*, 1986

2.1. Descrição sumária dos basaltos *s.l.* observados

2.1.1. Sonnenbrand dos Basaltos

Segundo a NP EN 1367-3 a "Sonnenbrand" inicia-se com o aparecimento de manchas cinzentas esbranquiçadas em forma de estrela a partir das quais se formam fissuras radiais que se interligam. Este fenómeno reduz a resistência da estrutura mineral da rocha resultando na desagregação da mesma em partículas de menores dimensões.

As amostras dos basaltos *s.l.* que foram objecto de estudo neste trabalho evidenciam as características atrás referidas. Na figura 4 pode-se observar fotografias dos provetes relativos às amostras que foram submetidos ao pequeno estudo laboratorial efectuado e que serviu de referência para a execução deste documento.

"Sonnenbrand" dos Basaltos

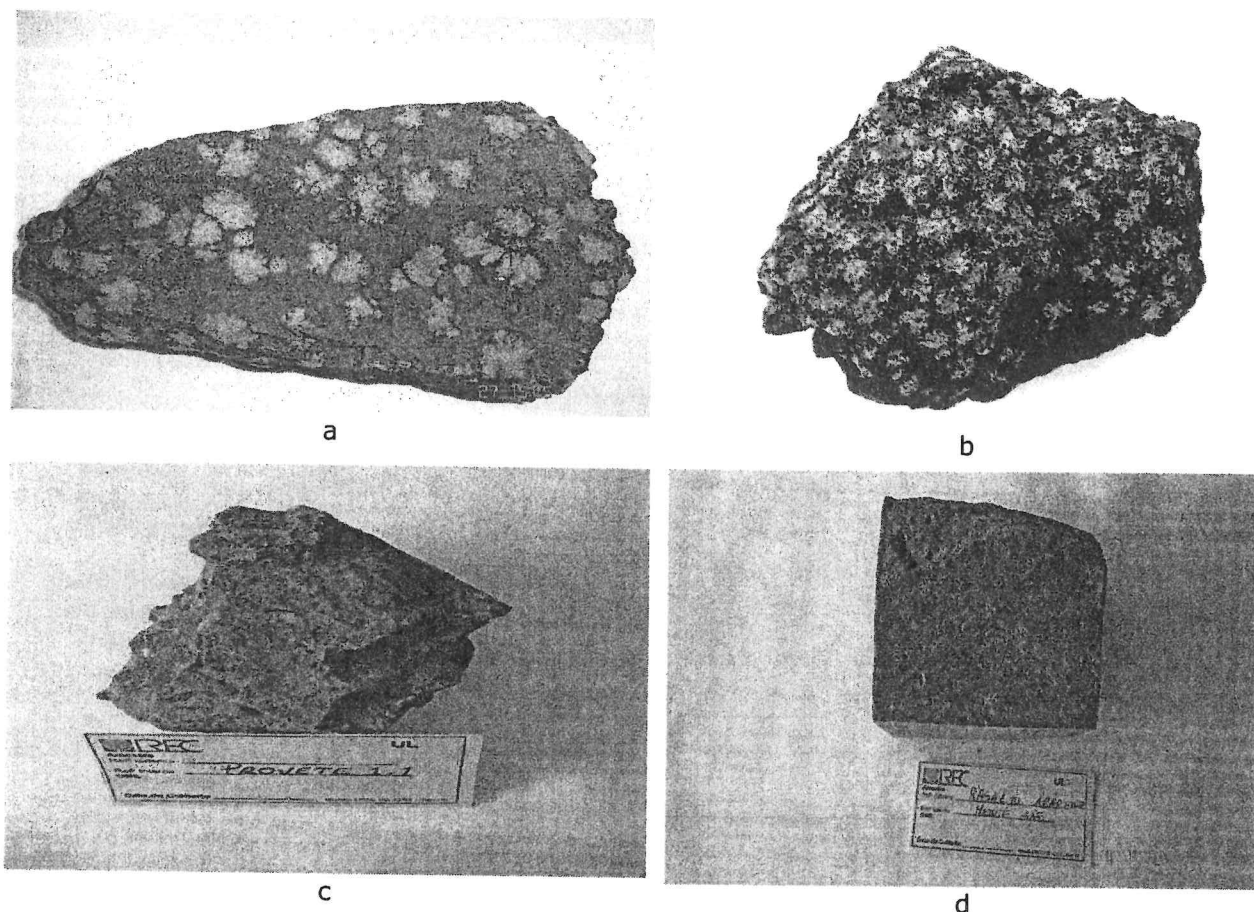


Figura 4: Aspecto visual dos provetes de rocha basáltica– a) e b) recolhidos em S. Miguel, com indícios de Sonnenbrand; c) e d) recolhidos em S. Jorge em que c) aparenta indícios de Sonnenbrand

3. Método para a determinação da presença de indícios Sonnenbrand nos Basaltos – Aplicação da norma de ensaio NP EN 1367 – 3

3.1. Metodologia Utilizada

Neste trabalho foram utilizadas 2 amostras provenientes de S. Jorge e dois provetes de amostras colhidas em S. Miguel. No que diz respeito às duas amostras de S. Jorge, elas foram extraídas de dois afloramentos de basalto, localizados um ao lado do outro, na Fajã dos Cubres. De notar que, embora localizadas ao lado uma da outra, só uma destas amostras mostrava ter indícios de Sonnenbrand. Com estas amostras prepararam-se quatro provetes com dimensões da ordem dos 75 mm, para serem submetidos a uma inspeção visual comparativa antes e depois de submetidos a ebulição, e quatro provetes na forma de agregado (aproximadamente 6000g de cada, com dimensão a variar entre 8-16mm) para determinar em dois deles a perda de massa e de resistência após ebulição e nos outros dois apenas a perda de resistência. O estudo laboratorial, tal como é preconizado pelo documento normativo anteriormente referido, apenas se fez com as amostras de S. Jorge por ambas se encontrarem no mesmo local, logo submetidas às mesmas condições atmosféricas, sendo em termos de idade geológica praticamente contemporâneas. Relativamente aos provetes de S. Miguel, colhidos na zona das Feteiras e da Lagoa, procedeu-se a uma caracterização macroscópica de ambos e à realização de um ensaio de ebulição, apenas com um deles.

3.2 – Descrição Petrográfica dos Provetes em Estudo

A descrição petrográfica dos provetes basálticos baseou-se no documento normativo NP EN 932-3. As amostras foram previamente escovadas, lavadas e de seguida tentou-se identificar por exame visual, a olho nu e com uma lupa de mão, os tipos de minerais constituintes das mesmas.

3.2.1. Descrição Macroscópica do Provete SJ1

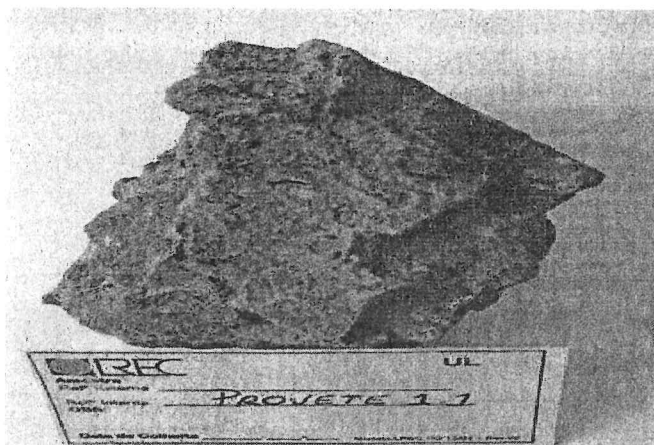


Figura 5: Provete elemental SJ1.1 da Ilha de S. Jorge

Este provete corresponde a um basalto cinzento, compacto, com textura porfírica. Caracteriza-se também por possuir muitos fenocristais de piroxenas, onde não se visionam aspectos de alteração. A rocha apresenta laminação de fluxo, paralela ao escoamento da lava, e inúmeras zonas de aspecto poligonal esbranquiçadas de raio a variar entre 4 a 6 mm. Nesta amostra não foram observadas fissuras a divergirem das manchas observadas.

3.2.2 – Descrição Macroscópica do Provete SJ2

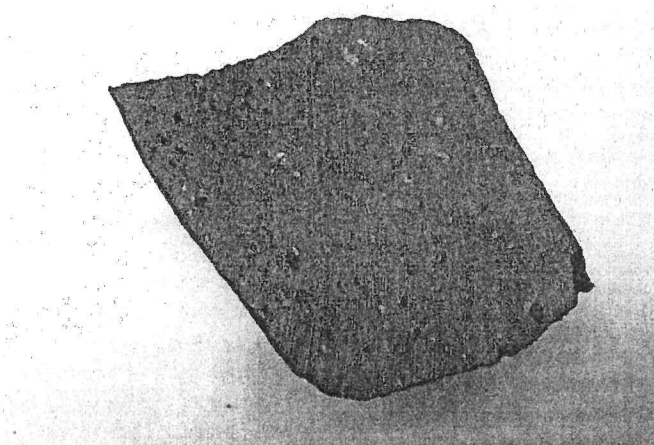


Figura 6: Provete elemental SJ 2.1 da Ilha de S. Jorge

Este provete corresponde a um basalto cinzento, com vesículos alongados que podem atingir 2 cm de comprimento. Apresenta textura porfírica e muito rica em fenocristais de plagioclases de cor leitosa. As plagioclases apresentam dimensões da ordem dos 3 mm. Não se visionam aspectos de alteração. A rocha não apresenta laminação de fluxo, nem zonas de aspecto poligonal esbranquiçadas, ou seja sem indícios visíveis de Sonnenbrand.

3.2.3 – Descrição Macroscópica do Provete SM1

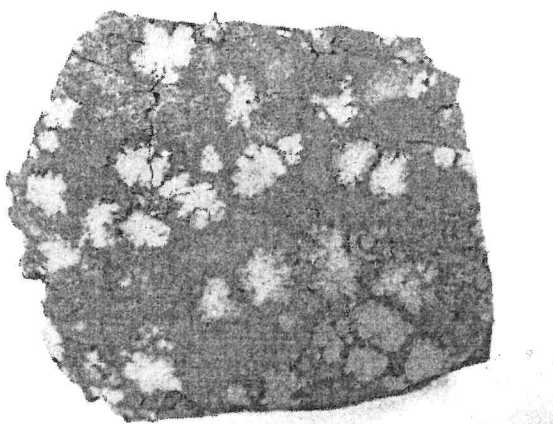


Figura 7: Provete elemental da Lagoa - Ilha de S. Miguel

Este provete corresponde a um basalto cinzento escuro, compacto, porfírico, com abundantes fenocristais de olivina fresca muito transparentes de cor verde amarelada, onde não se visionam aspectos de alteração. Também apresenta alguns fenocristais de piroxenas. A rocha apresenta laminação de fluxo, paralela ao escoamento da lava, e inúmeras zonas de aspecto poligonal esbranquiçadas de raio a variar entre 5 a 15 mm, que em alguns casos se mostram escavadas e com rebordo. Destas zonas observam-se fissuras que divergem e que por vezes se interligam. Nalguns casos estas fissuras parecem estar preenchidas por minerais secundários.

3.2.4. Descrição Macroscópica do Provete SM2

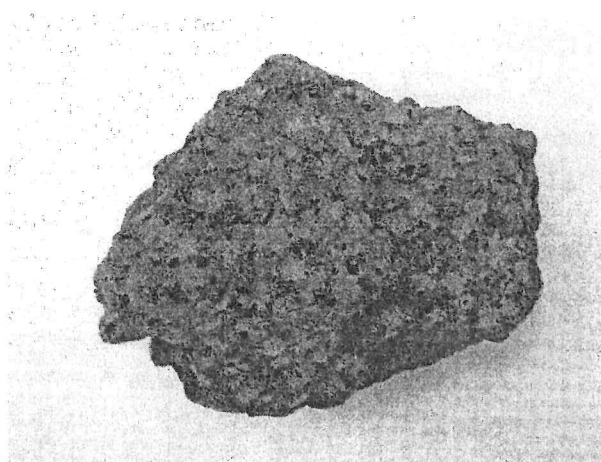


Figura 8: Provete elementar das Feteiras - da Ilha de S. Miguel

Provete muito idêntico ao SM1. correspondendo a um basalto cinzento escuro, compacto e porfírico. Apresenta na sua textura abundantes fenocristais de olivina fresca, muito transparentes, de cor verde amarelada, onde não se visionam aspectos de alteração e também alguns fenocristais de piroxenas. A rocha apresenta laminação de fluxo, paralela ao escoamento da lava, e inúmeras zonas de aspecto poligonal esbranquiçadas de raio com dimensão média de 6 mm, que em alguns casos se mostram escavadas e com rebordo. Destas zonas, ao contrario do Provete da Fig 7, não se observam fissuras.

3.3. Determinação visual de indícios de Sonnenbrand nos diferentes fragmentos de basalto, após ebulição.

Os provetes elementares das Figura 9, 10 e 11 foram colocados em três recipientes, de alumínio, com água destilada a ferver, e de seguida os mesmos foram introduzidos numa estufa a 140°C. Desta forma queria garantir-se que, dentro dos recipientes, a água se encontraria a 100°C. De notar que estas decisões foram tomadas na sequência de vários testes que se realizaram, entre temperatura da estufa versus temperatura da água no recipiente. As temperaturas foram controladas regularmente durante a execução do ensaio. Nunca se conseguiu fazer leituras de 100°C, pois sempre que se efectuava uma medição de temperatura registavam-se valores de 95°C, embora se pense que isso se devesse ao intervalo de tempo em que a porta da estufa se mantinha aberta, por forma a que se pudessem efectuar as leituras com o termómetro. Pela evaporação que se verificou ao longo do ensaio pensa-se que os 100°C foram atingidos. De notar que houve o cuidado de manter sempre os provetes imersos, fervendo água à parte e só depois é que a mesma era posta nos recipientes que estavam dentro da estufa. Após as 36 h de ebulição os provetes foram retirados da estufa e postos a secar.

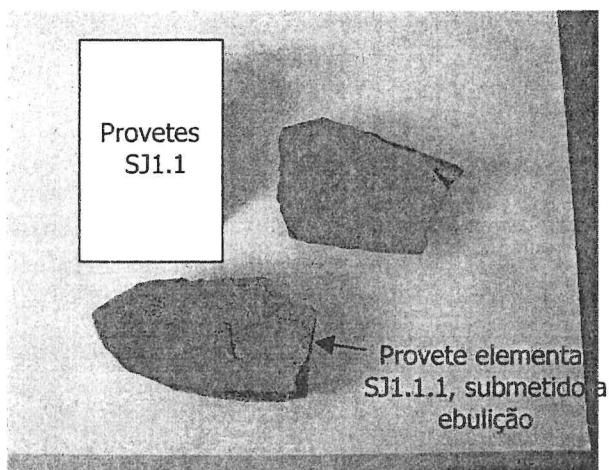


Figura 9: Aspecto dos provetes SJ1.1

PROVETE SJ1.1.1

Durante o período de secagem, não se verificou a formação de mais manchas. Constatou-se a formação de pequenas fracturas e alguma fragmentação do provete. Inclusivamente no próprio processo de ebulição houve uma pequena perda de massa do provete.

MSJ1.1.1_(antes da ebulição) = 317,2 g

MSJ1.1.1_(depois da ebulição) = 315,4 g

Perda de Massa do Provete = 0,6%

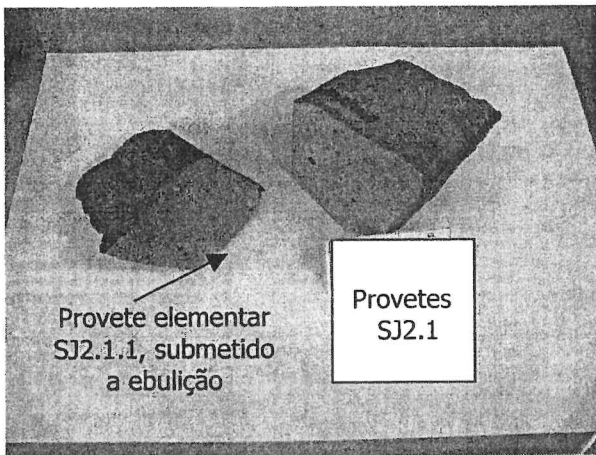


Figura 10: Aspecto dos provetes SJ2.1

PROVETE SJ2.1.1

Durante o período de secagem, não se verificou a formação de manchas. Não se constatou-se a formação de fracturas mas observou-se alguma fragmentação do provete. no próprio processo de ebulição.

$$MSJ2.1.1_{(\text{antes da ebulição})} = 726,4 \text{ g}$$

$$MSJ2.1.1_{(\text{depois da ebulição})} = 723,9 \text{ g}$$

$$\text{Perda de Massa do Provete} = 0,3\%$$

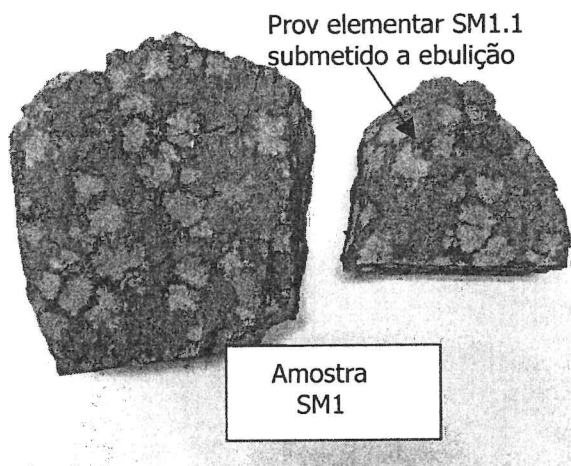


Figura 11: Aspecto dos provetes SM1

PROVETE SM1.1

O provete apresenta um aspecto mais baço quando comparado com o que não foi fervido.

Durante o período de secagem, não se verificou a formação de mais manchas. Constatou-se sim, a formação de pequenas fracturas e alguma fragmentação do provete. Constatou-se que no próprio processo de ebulição, houve uma pequena perda de massa do provete.

$$MSM1.1_{(\text{antes da ebulição})} = 536,2 \text{ g}$$

$$MSM1.1_{(\text{depois da ebulição})} = 532,7 \text{ g}$$

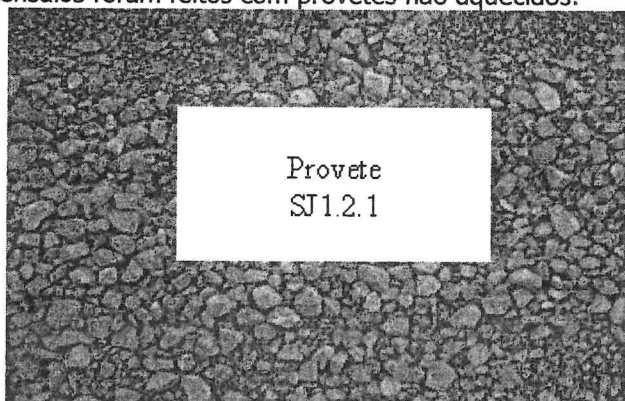
$$\text{Perda de Massa do Provete} = 0,7\%$$

3.4. Determinação, após Ebulição, da Perda de Massa e de Resistência dos Provetes

Os provetes elementares foram reduzidos à fracção de 8-16 mm tal como se pode observar na Figura 12 e 13. As fracções superiores a 16 mm e inferiores a 8 mm foram removidas por peneiração via seca de acordo com a NP EN 933-1. Como se pretendia, também, avaliar a perda de resistência do material, a massa dos provetes utilizada rondou as 6000g. De seguida os provetes foram colocados em dois recipientes, de alumínio, com água destilada a ferver, e a metodologia usada foi igual à descrita anteriormente.

Relativamente ao tamanho da fracção que se deveria adoptar no ensaio sentiu-se alguma dificuldade na decisão a tomar. Por um lado a NP EN 1367-3 considera três fracções granulométricas (4/8 mm; 8/16 mm e 16/32 mm), para avaliar da perda de massa, e remete a avaliação da perda de resistência para o documento normativo NP EN 1097-2, em que as fracções granulométricas a utilizar são 10/4 mm, 4/8 mm, 6.3/10 mm, 8/11.2 mm e 11.2/16 mm. Neste contexto optou-se por utilizar a fracção 8/16 mm que se submeteu à ebulição. Posteriormente depois de se efectuar o cálculo de perda de massa dos provetes, procedeu-se à peneiração, por forma a se obter uma fracção de 11.2/16 mm podendo assim efectuar-se o ensaio de Los Angeles e assim avaliar a perda de resistência dos mesmos.

ensaio em termos de aspecto visual pode ser observado nas fotos da Figura 14 e Figura 15. Os outros dois ensaios foram feitos com provetes não aquecidos.



PROVETE SJ1.2.1

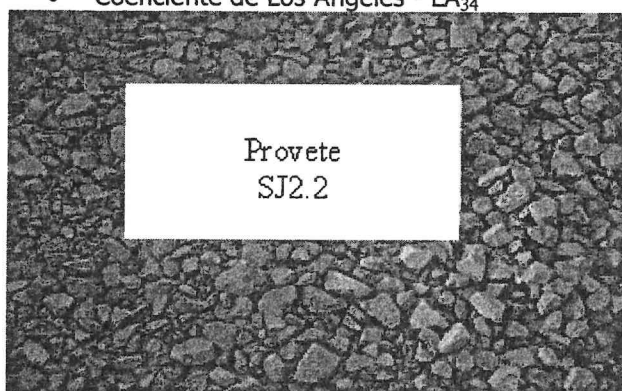
O provete aparenta ter mais manchas quando comparado com o que não foi aquecido.

Coefficiente de Los Angeles - LA₃₈

Figura 14: Aspecto do provete SJ1.2.1 de agregado basáltico, depois do Ensaio de Ebulição e do ensaio de Los Ageles

PROVETE ELEMENTAR SJ1.2.2 (sem ebulição) – Com indícios de Sonnenbrand

- Coeficiente de Los Angeles - LA₃₄



PROVETE SJ2.2.1

O provete apresenta um aspecto mais baço e uma grande quantidade de finos, quando comparado com o que não foi aquecido.

Coefficiente de Los Angeles - LA₂₅

Figura 15: Aspecto do provete de agregado basáltico depois do Ensaio de Ebulição e do ensaio de Los Ageles

PROVETE ELEMENTAR SJ2.2.2 (sem ebulição) – Sem indícios de Sonnenbrand

- Coeficiente de Los Angeles - LA₁₉

O cálculo da perda de resistência foi feito de acordo com a seguinte expressão:

$$S_{LA} = \frac{(LA1-LA0)}{LA0} \times 100 \quad (2)$$

S_{LA} é a perda de resistência, em percentagem.

LA0 é o coeficiente de Los Angeles do provete não aquecido

La1 é o coeficiente de Los Angeles do provete após ebulição

Na Tabela I apresenta-se uma síntese dos resultados obtidos em laboratório.

Amostras	Parâmetros	Perda de Massa (%) M ₁	Perda de Resistência (%) S _{LA}
SM1.1 (Prov 75 mm)		0,7*	-
SJ1.1.1 (Prov 75 mm)		0,6*	-
SJ2.1.1 (Prov 75 mm)		0,3*	-
SJ1.2 (AGE)		1,8	11,1
SJ2.2 (AGE)		0,5	31,6

* - Valores determinados por curiosidade, dado que na norma apenas se calcula a perda de massa para provetes de AGE.

4. Normas de Especificação do Produto

Na Tabela II estão referenciadas as normas de produto homologadas em Portugal, sendo que as mesmas, definem as propriedades dos agregados, obtidos a partir do processamento de materiais naturais, artificiais ou reciclados para utilizar nas diferentes áreas da construção civil. Foi feita uma leitura das respectivas normas tendo em vista verificar quais seriam as disposições das mesmas no que diz respeito ao ensaio de ebulição para basaltos. As conclusões estão descritas nas tabelas que a seguir se apresentam.

Tabela II – Normas de Produto Homologadas em Portugal

Norma	Nome do Ensaio	NP EN 12620 Betões NP EN 13139 Argamassas NP EN 13055 Agreg Leves P/ Betão	NP EN 13043 Mist Bet	NP EN 13242 Construção Rodoviária	NP EN 13450 Balastro de via Ferrea
NP EN 1367-3	Ensaio de Ebulição para Basaltos "Sonnebrand"	(1)	(2)	(3)	(4)
(1) – A NP EN 12620 e a NP EN 13139 não fazem referência à execução deste ensaio					
(2)- Quando existem indícios, o ensaio deve ser realizado, utilizando amostras de agregado grosso, duas vezes por ano. No final do Ensaio a perda de Massa e de Resistência devem ser declaradas pela correspondente categoria especificada na Tabela III (Tabela 21 da Norma NP EN 13043)					
(3) Quando existem indícios, o ensaio deve ser realizado utilizando amostras de agregado grosso, duas vezes por ano. No final do Ensaio a perda de Massa e de Resistência devem ser declaradas pela correspondente categoria especificada na Tabela III (Tabela 15 da Norma NP EN 13242)					
(4) Quando existem indícios, o ensaio deve ser realizado, utilizando amostras de agregado grosso, duas vezes por ano. Esta norma não faz referência à forma como a perda de Massa e de Resistência devem ser declaradas, embora diga que os mesmos devem ser declarados.					

Tabela III –Categorias para os valores Máximos de resistência ao Sonnenbrand

Método de Ensaio	Resultado	%	Categoria SB
Ensaio de Ebulição e Ensaio de Fragmentação por Impacto ou Ensaio Los Angeles	Perda de Massa após ebulição	≤ 1	SB _{SZ}
	Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição	≤ 5	
	Aumento do Coeficiente Los Angeles após ebulição	≤ 8	SB _{LA}
Ensaio de Ebulição e Ensaio de Fragmentação por Impacto ou Ensaio Los Angeles	Perda de Massa após ebulição	> 1	SB _{SZ} Declarada
	Aumento do valor de fragmentação por impacto após ebulição	> 5	
	Aumento do Coeficiente Los Angeles após ebulição	>8	SB _{LA} Declarada
Não Requerido			SB _{NR}

Com base nos valores da Tabela III (cópia integral do que está disposto nas normas de produto), relativamente à categoria de Sonnenbrand, a amostra SJ1 deveria ser declarada com o valor SB_{LA11,1}. No que diz respeito à amostra SJ2 se for seguido na íntegra o descrito na Tabela III, a mesma não seria declarada. Fica-se no entanto na dúvida porque a amostra analisada apresenta uma perda de massa inferior a 1% mas no entanto apresenta um aumento dos valores do coeficiente de Los Angeles após ebulição na ordem dos 31,6%.

5. Conclusões

Relativamente ao pequeno estudo laboratorial efectuado terá de haver algum cuidado nas conclusões a retirar dado o número reduzido de amostras utilizadas. De notar que é nossa intenção prosseguir os estudos com a execução de mais ensaios laboratoriais utilizando outros basaltos, com e sem indícios de Sonnenbrand de forma a que se possa avaliar a consistência destes resultados. Perante este estudo não ficou claro haver uma correlação entre a perda de massa e a perda de resistência como seria à priori expectável.

Os provetes utilizados, à excepção de um, mostravam ter indícios de Sonnenbrand, com maior ou menor amplitude, se atendermos ao descritivo da norma NP EN 1367-3. Após o ensaio de ebulição, em termos visuais, não se constatou o aparecimento de mais manchas, nem nos provetes onde elas já se manifestavam nem naquele onde nada se observava. Relativamente à perda de massa, notou-se alguma variação, sendo que os valores mais acentuados foram registados nos provetes que mostravam indícios de Sonnenbrand. Os diferentes valores obtidos fazem sentido se considerarmos que os provetes ensaiados estão em diferentes estados de alteração. Já no que diz respeito à perda de resistência era expectável que os provetes de AGE ensaiados com indícios de Sonnenbrand apresentassem valores superiores. Estes resultados poderão ser explicados, se considerarmos que a amostra ensaiada, antes do aquecimento, já tinha uma resistência ao desgaste baixa, ou seja, apresentava já uma evolução natural de perda de resistência. Relativamente à perda de resistência, para o provete aparentemente são, o valor obtido foi maior, o que poderá ser explicado se considerarmos que a rocha está num estado mais atrasado de alteração e, ao ser aquecida e posteriormente submetida a um ensaio agressivo, apresenta uma variação mais elevada.

Finalmente por tudo o que foi anteriormente referido o Sonnenbrand do Basalto parece ser um fenómeno de alteração estrutural. O objectivo final deste trabalho seria fazer um reconhecimento geotécnico deste fenómeno nas nove ilhas dos Açores, começando pelas ilhas onde existem pedreiras de basalto nas quais se faz a extracção de basaltos para produção de agregados. Considera-se também que seria interessante poder explicar a predisposição do aparecimento deste aspecto nalgumas lavas existentes nos Açores, e nesse contexto seria importante proceder a um estudo geoquímico destes materiais. Para isso é necessário proceder à realização de lâminas delgadas de amostras de basalto para descrição petrográfica, à execução de análises de geoquímica da Rocha Total, microsonda electrónica e fluorescência de raios x sobre as zonas alteradas.

Referências bibliográficas

- FRANÇA, Z., 2000. Origem e evolução petrológica e geoquímica do vulcanismo da ilha do Pico, Dissertação para a obtenção do grau de Doutor em Geologia, 372 pp., Univ. dos Açores, Ponta Delgada.
- LE BAS, M.J. , LE MAITRE, R.W., STRCKEISEN, A. e ZANETTIN, B. (1986) – A chemical classification of volcanic rocks based on the total alkali-silica diagram. *J. Petrology*, 27, 745-750.
- Norma Portuguesa NP EN 1367-3 (2003). "Ensaio das Propriedades térmicas e de meteorização dos agregados – Parte 3: Ensaio de ebulição para basaltos Sonnenbrand". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 932-1 (2002). "Ensaio das Propriedades gerais dos agregados – Parte 1: Métodos de amostragem". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 932-2 (2002). "Ensaio das Propriedades gerais dos agregados – Parte 2: Método e terminologia para a descrição petrográfica simplificada". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 932-3 (2003). "Ensaio das Propriedades gerais dos agregados – Parte 3: Métodos de redução de amostras laboratoriais". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.

"Sonnenbrand" dos Basaltos

- Norma Portuguesa NP EN 933-1 (2000). "Ensaio das Propriedades geométricas dos agregados dos agregados – Parte 1: "Análise granulométrica – Método de peneiração". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 1097-2 (2002). "Ensaio das Propriedades mecânicas e físicas dos agregados - Parte 2: "Métodos para a determinação da resistência à fragmentação". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 13242 (2004). "Agregados para materiais não ligados ou tratados com ligantes hidráulicos utilizados em trabalhos de engenharia civil e na construção rodoviária". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 13450 (2003). "Agregados para balastro de via férrea". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 13043 (2004). "Agregados para misturas betuminosas e tratamentos superficiais para estradas, aeroportos e outras áreas de circulação". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 12620 (2004). "Agregados para betão". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 13139 (2004). "Agregados para Argamassas". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.
- Norma Portuguesa NP EN 13055 (2004). "Agregados leves para betão, argamassas e caldas de injeção". Instituto Português da Qualidade (IPQ), Lisboa.