

COMPARAÇÃO DE DANOS OCORRIDOS NAS FREGUESIAS MAIS DANIFICADAS PELO SISMO DE 9 DE JULHO DE 1998 COM MODELOS ANALÍTICOS DE SIMULAÇÃO



**Mónica Amaral
Ferreira**
Eng. Território
IST
Lisboa-Portugal



**Francisco Mota de
Sá**
Eng. Civil
Fuzzy, Lda.
Lisboa-Portugal



Carlos Sousa Oliveira
Prof. Catedrático
IST
Lisboa-Portugal



João Carlos Nunes
Prof. Auxiliar
U. Açores
Ponta Delgada-
Portugal



Filipe Neves
Eng. Civil
U. Aveiro
Aveiro-Portugal



Aníbal Costa
Prof. Catedrático
U. Aveiro
Aveiro-Portugal

SUMÁRIO

Quase dez anos passados da ocorrência do sismo que abalou o Faial, Pico e S. Jorge permitiram o desenvolvimento de diversos estudos sobre este evento e a recolha de muita informação ao longo do tempo, dando ocasião à criação de cenários aproximados à realidade verificada no dia 9 de Julho de 1998 e cujo tema faz parte do projecto FCT - POCI/CTE-GIN/58095/2004 intitulado “*USuET –Urban System under Earthquake Threat. Análise Sistémica do Risco Sísmico: Uma Versão Integrada. Aplicação a Centros Urbanos nos Açores*” que se encontra em desenvolvimento. O presente artigo circunscreve-se às freguesias da Ribeirinha, Salão e Cedros da ilha do Faial e tem como objectivo recriar os efeitos que o sismo teve sobre o edificado, tendo como base o levantamento efectivado ao parque edificado após o sismo por ocasião do processo de reconstrução da ilha.

1. INTRODUÇÃO

O actual estudo visa comparar os danos reais registados em 315 edifícios de 3 freguesias do concelho da Horta (Ribeirinha, Salão e Cedros) com os danos obtidos através de modelos analíticos de simulação. Sabe-se que o sismo causou danos mais elevados nas construções da freguesia da Ribeirinha e lugar de Espalhafatos por esta ser uma zona fortemente condicionada pela presença de perigosidade hidrogeológica e por grande parte das construções não apresentarem qualidade construtiva adequada. Também as freguesias de Salão e Cedros foram fortemente afectadas ao nível do edificado, devido à má qualidade dos materiais e técnicas construtivas utilizadas, sendo as zonas de maior risco a Rua da Igreja no Salão e Rua da Igreja e Lajinha nos Cedros devido à presença de perigosidade hidrogeológica. Segundo o Relatório da 1ª Fase do Processo de Reconstrução das Freguesias da Ribeirinha, Salão e Cedros “mais de metade do parque habitacional destas três freguesias foi afectado pelo sismo de 1998 (64%)”[1].

O relatório acima referido desenvolveu um Sistema de Informação Geográfica (SIG) donde consta a informação associada aos levantamentos de campo das freguesias supracitadas (figura 1) e que permitiu analisar os diversos campos da sua base de dados, associá-la à base de dados que reúne a compilação das informações relativas ao processo da reconstrução da ilha do Faial e Pico e assim, tentar encontrar modelos que representem os valores dos índices de vulnerabilidade do edificado e os graus de danos semelhantes aos ocorridos em 1998.

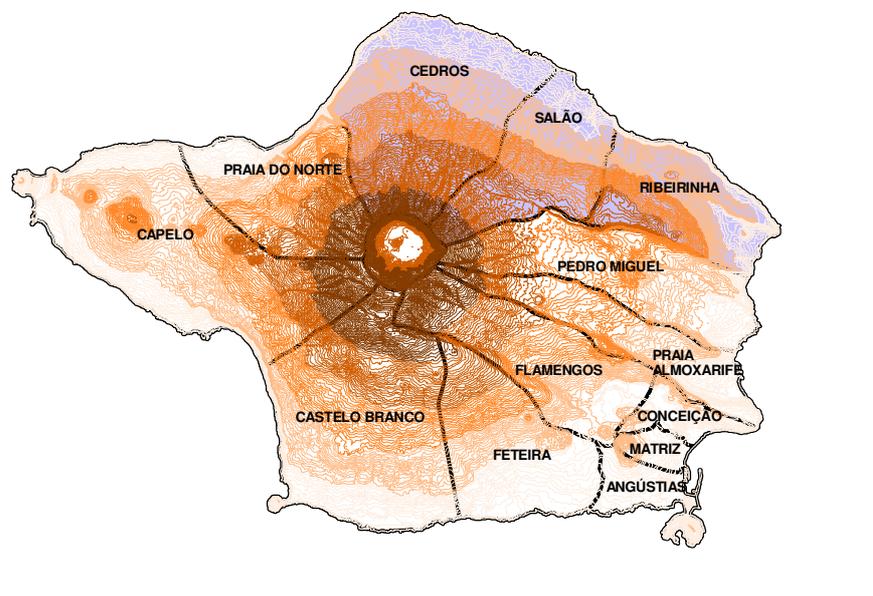


Figura 1: Freguesias em estudo. Pormenor dos 315 edifícios e população afectada por quarteirão

2. RISCOS NATURAIS EXISTENTES NAS FREGUESIAS DE RIBEIRINHA, SALÃO E CEDROS

Os estudos desenvolvidos pelo Departamento de Geociências da Universidade dos Açores permitiram uma análise pormenorizada às freguesias mais afectadas pelo sismo e explicam que o grau de destruição do parque habitacional se deveu essencialmente às seguintes situações:

- Localização de casas em zonas de elevado risco;
- Incumprimento das normas de construção sismo-resistente;
- Características geotécnicas de algumas formações geológicas e aterros.

2.1. Ribeirinha

A freguesia da Ribeirinha é formada pelos lugares da Ribeirinha e Espalhafatos a que correspondem problemáticas diferentes. O lugar da Ribeirinha na área norte junto da escarpa e ribeira da Ribeirinha, encontra-se em zona de elevado perigo hidrogeológico, com sobreposição de áreas condicionadas de protecção das linhas de água, área de movimentação de massa e área condicionada devido à presença de falha. Na zona sul deste lugar há a referir a falha da Chã da Cruz que se mostrou activa neste sismo.

Da observação da carta de análise dos perigos geológicos do lugar dos Espalhafatos ressaltam os perigos hidrogeológicos no sítio do Alto, vindo os mesmos a decrescerem no sentido do sítio da Ramada para o sítio do Canto.

2.2. Salão

Na área povoada da freguesia do Salão destacam-se quatro falhas sensivelmente paralelas orientadas no sentido Sudoeste Nordeste, que afectam com maior evidência a zona alta da freguesia. Esta freguesia é algo vulnerável à ocorrência de movimentos de massa tendo em atenção as suas características geomorfológicas e o tipo de produtos vulcânicos que constituem a vertente do Vulcão Central e a arriba. Existe ainda a possibilidade de ocorrência de cheia/enxurradas ao nível de algumas ribeiras.

2.3. Cedros

A freguesia de Cedros não inclui formas vulcânicas mais recentes do que os centros eruptivos de Covões, sendo uma área vulnerável à acção de produtos gerados no decorrer de eventuais erupções centradas no Vulcão Central do Faial. É bastante vulnerável à ocorrência de movimentos de massa e existe ainda a possibilidade de ocorrência de cheia/enxurradas ao nível de algumas ribeiras, tais como a Ribeira Funda, a Ribeira Joana Pires, a Ribeira do Vale Verde, a Ribeira de Santa Barbara e a Ribeira do Pinheiro. Nesta freguesia, nomeadamente na área povoada, destacam-se três situações com problemáticas diversas; a Rua da Igreja e Ribeira que corresponde à Falha dos Cedros, a Falha do Cascalho que acompanha sensivelmente a Canada Larga e o caso da Falha da Ribeira Funda.

3. ÍNDICES DE VULNERABILIDADE DO PARQUE EDIFICADO

Os levantamentos de campo e projectos efectuados na sequência do sismo permitiram a classificação das construções tal como descrito na tabela 1. O parque edificado das ilhas do Pico e Faial no momento após o sismo é caracterizado [2] como:

- construção tradicional (CT),
- construção tradicional alterada (CTA),
- construção mista (CM) e
- construção corrente (CC).

Tabela 1 - Tipologias construtivas da Ilha do Faial

Tipo Construtivo	Estrutura	Pavimento	Estrutura da Cobertura	Parede interior/exterior
CT	Alvenaria de pedra	Madeira	Madeira	Tabique de madeira
CTA	Alvenaria de pedra	Laje de betão armado	Madeira	Tabique de madeira
CM1	Pilares e vigas de betão armado	Laje de betão armado	Madeira	Blocos de cimento (interior) e alvenaria de pedra no exterior
CM2 = CT+CM1	Pilares e vigas de betão armado	Madeira e laje de betão armado parcial (nas zonas húmidas)	Madeira	Blocos de cimento (no interior e exterior quando existe ampliações da casa)
CM3	Pilares e vigas de betão armado	Laje de betão armado	Madeira ou betão armado	Blocos de cimento
CC	Resistente em betão armado	Laje de betão armado	Madeira ou betão armado	Blocos de cimento

Descritas as tipologias construtivas e com a localização espacial das 315 construções, encontram-se reunidas as condições para construir e calibrar um modelo de vulnerabilidade do edificado, recriando o cenário de danos verificado outrora.

A avaliação da vulnerabilidade das tipologias construtivas foi realizada com base nos conceitos desenvolvidos por Giovinazzi e Lagomarsino [3], recorrendo à Escala Macrosísmica Europeia (EMS-98) (figura 2). Esta metodologia é útil quando a perigosidade sísmica é descrita em termos de intensidade macrosísmica como acontece neste estudo.

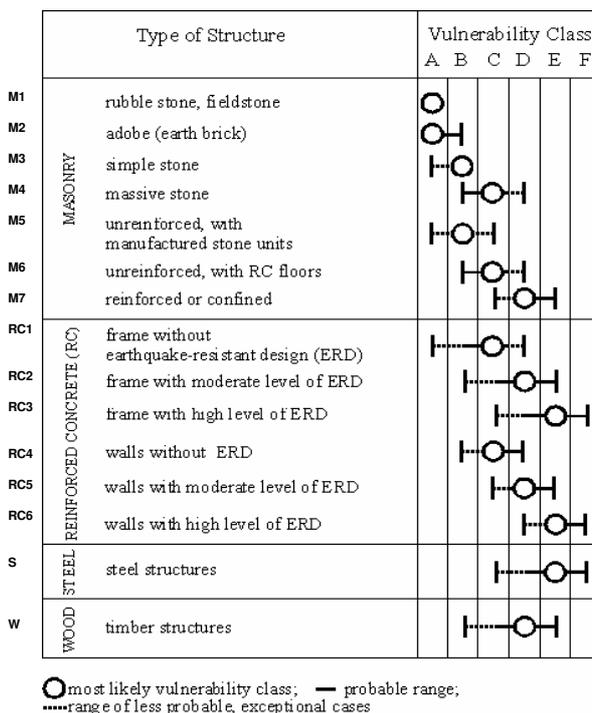


Figura 2: Classes de vulnerabilidade segundo a EMS-98. Classe A - maior vulnerabilidade; Classe F- menor vulnerabilidade.

A vulnerabilidade de uma estrutura é medida através de um índice de vulnerabilidade V_i que é construído tendo em conta as tipologias e técnicas construtivas do mesmo. Assim, convencionou-se um índice de vulnerabilidade que é explicado através de um modelo de lógica difusa (*fuzzy set*) e, que descreve cada uma das categorias construtivas em termos da percentagem que ocupa nas classes A a F da escala EMS-98.

Os valores próximo de 1 representam as estruturas mais vulneráveis enquanto que valores próximos de 0 revelam os menos vulneráveis, ou seja, estruturas sísmo-resistentes. A tabela 2 apresenta uma aproximação do que podem ser os valores do índice de vulnerabilidade para as tipologias construtivas do edificado no Faial. Este exercício foi realizado para a amostra dos 315 casos na Ribeirinha, Salão e Cedros.

Tabela 2 - Valores do índice de vulnerabilidade (V_i) de acordo com a tipologia construtiva

Tipologia	V_i
CT	0,860
CTA	0,70
CM1	0,620
CM2	0,750
CM3	0,560
CC	0,510

Note-se que existe uma grande incerteza na classificação existente dos edifícios e consequentemente nos índices de vulnerabilidades associados a cada tipologia. Esta incerteza deve-se ao facto que o levantamento das tipologias construtivas ter sido realizado através da observação de fotografias tiradas após o sismo aos escombros. Por outro lado, os valores de vulnerabilidade atribuídos também estão rodeados de grande incerteza, visto que nem sempre os processos/práticas construtivas são bem aplicados induzindo-nos o erro, na medida em que podemos esperar um determinado comportamento de um dado material quando na realidade o verificado fica longe do esperado.

4. CARACTERIZAÇÃO DOS SOLOS

Baseado na classificação geotécnica proposta por Forjaz *et al* [4] para as formações geológicas dos Açores (tabela 3) os materiais vulcânicos presentes nas freguesias de Ribeirinha, Salão e Cedros integram-se quase exclusivamente nos subgrupos “Ib” (escoadas lávicas basálticas, i.e., formações “duras”), “IIa” (ignimbritos não soldados e *lahars*) e “IIIa” (pedra-pomes e materiais pomíticos indiferenciados, i.e., formações “brandas”). Esta classificação pode ser comparada com as classificações dos novos regulamentos para definição da acção sísmica, o Euro-Código 8 [5]. Desta forma os subgrupos “Ib” passam a pertencer à classe de solos B e o subgrupo “IIIb” à classe C.

Tabela 3 - Classificação geotécnica das formações geológicas dos Açores, Forjaz et al

Grupo	Subgrupo	Descrição
Duro (I)	I a	Escoadas lávicas traquíticas s.l. (incluindo <i>coulées</i> e domos)
	I b	Escoadas lávicas basálticas s.l.
	I c	Ignimbritos soldados
	I d	Tufos surtseianos (hialoclastitos)
Intermédio (II)	II a	Ignimbritos não soldados e <i>lahars</i>
	II b	Depósito de vertente, aluviões e areias de praia
Brandos (III)	III a	Pedra-pomes e materiais pomíticos indiferenciados
	III b	Escórias basálticas

5. RELAÇÕES DE ATENUAÇÃO

A atenuação é função da magnitude do sismo, da distância ao epicentro e das características geológicas através das quais atravessam as ondas sísmicas. As relações de atenuação são cruciais para avaliar o risco sísmico e para estabelecer normas para as estruturas.

As relações de atenuação expostas foram calculadas usando as bases de dados acelerométrica dos sismos dos Açores [6].

$$\ln(a_0) = -5.0 + 0.9M - \ln(\sqrt{Df^2 + M^2}) - 0.5 \cdot Df \cdot \frac{1}{(M + 7)^2} \quad M \leq 4.5 \quad (1)$$

$$\ln(a_0) = -4.5 + 0.9M - \ln(\sqrt{Df^2 + M^2}) - 0.5 \cdot Df \cdot \frac{1}{(M + 7)^2} \quad M > 4.5 \quad (2)$$

sendo a_0 a aceleração máxima (PGA) em terreno firme; M a magnitude local M_L e D_f a distância focal (km). A figura 3 mostra os dados registados na rede acelerométrica dos Açores.

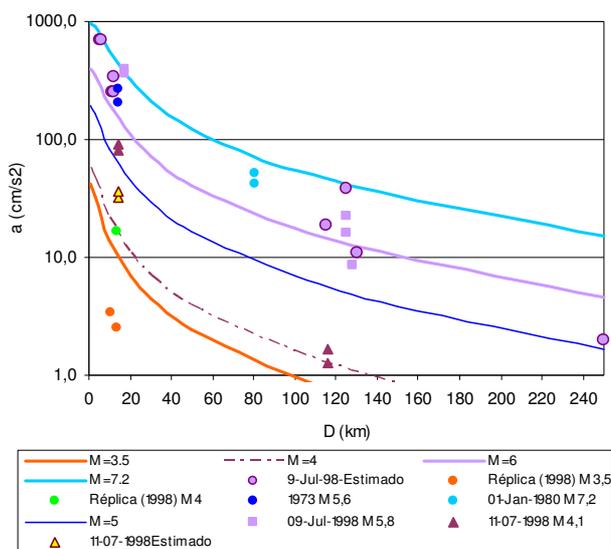


Figura 3: Atenuação das acelerações máximas registradas (PGA -a) na rede acelerométrica dos Açores (dados da rede ESD, Imperial College, 2005). Os pontos correspondem a registos efectuados e as curvas às equações anteriores para diferentes magnitudes.

A partir do conhecimento da geologia superficial (camadas até uma profundidade de cerca de 30 m), das sequências estratigráficas, da estimativa das frequências predominantes dessas camadas, f_{solo} e com base na frequência predominante da acção sísmica, f_{sismo} , utilizou-se o conceito de “amplificação de um sistema de um grau liberdade sujeito a uma acção sinusoidal”, para determinar a aceleração máxima à superfície, a_{solo} :

$$a_{solo} = a_0 \cdot \beta \cdot \beta_0 \quad (3)$$

$$\beta = 1 / \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_{sismo}}{f_{solo}}\right)^2\right)^2 + \left(2 \cdot \xi \cdot \frac{f_{sismo}}{f_{solo}}\right)^2} \quad (4)$$

e,

$$\beta_0 = \sqrt{1 + \left(2 \cdot \xi \cdot \frac{f_{sismo}}{f_{solo}}\right)^2} \quad (5)$$

sendo, β e β_0 as amplificações da aceleração absoluta, ξ a função de amortecimento igual a 0.30.

Este conceito apresenta amplificações acentuadas (função do amortecimento do solo) quando se dá o fenómeno de ressonância, isto é, quando há proximidade entre as frequências de excitação e a frequência do solo. Embora se tenham verificado amplificações em registos efectuados com estações acelerométricas dos Açores e de outros locais, estas amplificações poderão ser demasiado gravosas para o cálculo da vulnerabilidade dos edifícios. Deste modo deverão ser tomadas algumas precauções relativamente ao uso indiscriminado desta formulação. O cálculo de intensidades I (EMS-98) foi obtido a partir das acelerações máximas, utilizando a seguinte fórmula:

$$I = 0.4254 \log\left(a_{solo}\right)^3 - 1.4932 \log\left(a_{solo}\right)^2 + 4.1869 \log\left(a_{solo}\right) + 0.1495 \quad (6)$$

Esta fórmula representa o andamento médio de uma série de propostas de diversos autores [7,8] e reproduz alguns dos valores obtidos nos Açores quando da existência de dados em simultâneo de PGA e Intensidades.

Com vista a obter resultados mais próximos da realidade consideraram-se as frequências predominantes dos edifícios, dadas em função da tipologia e do número de pisos.

$$\beta_1 = 1 / \sqrt{\left(1 - \left(\frac{f_{sismo}}{f_{edif}}\right)^2\right)^2 + \left(2 \cdot \xi_{edif} \cdot \frac{f_{sismo}}{f_{edif}}\right)^2} \quad (7)$$

sendo, β_1 a amplificação de aceleração absoluta e ξ_{edif} a função de amortecimento do edifício igual a 0.10.

A frequência dos edifícios (f_{edif}) adoptada é a seguinte:

- edifícios de 1 piso corresponde uma frequência de 7 Hz (alvenaria) e 9 Hz (betão);
- edifícios de 2 pisos corresponde uma frequência de 5 Hz (alvenaria) e 7 Hz (betão);
- edifícios de 3 pisos corresponde uma frequência de 4 Hz (alvenaria) e 5 Hz (betão).

Consequentemente, obtém-se a aceleração do edifício a partir da seguinte equação:

$$a_{edif} = a_{solo} \cdot \beta_1 \quad (8)$$

Assim, resulta a nova fórmula de intensidade que irá ser utilizada no cálculo do grau médio de dano (μ):

$$I = 0.4254 \log(a_{edif})^3 - 1.4932 \log(a_{edif})^2 + 4.1869 \log(a_{edif}) + 0.1495 \quad (9)$$

A Intensidade em terreno firme (bedrock), I_{BR} , foi calculada como:

$$I_{BR} = 10,3 + 0,95 \cdot M - 2,6 \cdot \ln(Df + 7) - 0,7 \cdot Df^{-1/2} \quad (10)$$

5.1. Resultados obtidos

As figuras 4 e 5 apresentam a localização epicentral do sismo de 9 de Julho de 1998 e os valores de intensidade obtidos no simulador sísmico. Os resultados de intensidade obtidos não apresentam grandes diferenças do verificado na realidade, porém é necessário calibrar as intensidades de forma a melhorar o modelo. A calibração de intensidades será feita, em trabalhos futuros, a partir dos danos obtidos e registados nas bases de dados. Dado o elevado grau de danos registados, seguramente a intensidade tomará novos valores em certas zonas das ilhas.



Figura 4: Localização epicentral – sismo 09/07/1998



Figura 5: Intensidades no *bedrock*

6. DANOS ESPERADOS NO EDIFICADO E POPULAÇÃO AFECTADA

Com base no índice de vulnerabilidade, V_i , é possível calcular as probabilidades de ocorrerem ou de serem excedidos cada um dos diversos graus de danos propostos na EMS-98: *negligenciáveis, moderados, substanciais a graves, muito graves e colapso*.

Com efeito, a distribuição de danos pode ser reproduzida por uma função de densidade de probabilidade, β , como indicado na figura 6.

Variável	Descrição	unidades
V_i^*	Vulnerabilidade Esperada para Edifícios de Tipologia 1	{ 0, ..., 1 }
μ_d	Grau médio de Dano Esperado, segundo as definições EMS-98	{ 0, ..., 5 }
μ_x	Valor Médio da Distribuição Beta	[]
p, q	Parâmetros de forma da função Beta	[]
k	Grau de Dano	{ 0, ..., 5 }
I	Intensidade do sismo	[EMS-98]
$P(k I, V_i^*)$	Probabilidade de se obter um Grau de Dano k, em Edifícios de Vulnerabilidade V_i^* , dada uma Intensidade I	{ 0, ..., 1 }
$P(k I, V_i^*) \times 100$	Porcentagem de Edifícios com Vulnerabilidade V_i^* , que sofrem Danos de grau k, dado um sismo de Intensidade I	{ 0, ..., 100 }

$$\mu_d = 2,5 \cdot (1 + \tanh(1 + 6,25 \cdot V_i^* - 13,1))/2,3$$

$$\mu_x = 0,042 \cdot \mu_d^3 - 0,315 \cdot \mu_d^2 + 1,725 \cdot \mu_d$$

$$p = 8 \cdot \mu_x / 6$$

$$q = 8 - p$$

$$P(k | I, V_i^*) = [\text{Beta}(k+1; p; q; 0; 6) - \text{Beta}(k; p; q; 0; 6)] \times 100$$

Graus de Danos no Edificado, k [Classificação EMS-98]	
k	Descrição
1	Danos negligenciáveis a leves
2	Danos Moderados
3	Danos Substanciais a Graves (Danos Severos)
4	Danos Muito Graves
5	Destruição (Colapsos)

Figura 6: Graus de danos no edificado

Os valores calibrados para μ_d , μ_x , podem sofrer pequenas alterações conforme o método de calibração utilizado. No presente caso foram utilizados valores para estes parâmetros ligeiramente diferentes dos originais por se ter verificado que estes últimos conduzem a um erro do modelo inferior ao obtido por Giovinazzi e Lagomarsino.

$$\mu_d = -2.504 + 2.507 \cdot \tanh(0.552 \cdot I + 2.488 \cdot V_i - 6.61) \quad (11)$$

$$\mu_x = 0.0213 \cdot \mu_d^3 - 0.1656 \cdot \mu_d^2 + 1.3825 \cdot \mu_d + 0.2505 \quad (12)$$

6.1. Comparação de resultados

6.1.1. Edificado

A tabela 4 compara os resultados obtidos no simulador sísmico com os que se encontram na base de dados desenvolvida no processo de reconstrução e construída a partir dos documentos processuais de cada sinistrado. Segundo essa base de dados, se considerarmos que “reconstrução/construção nova” diz respeito a todos os edifícios que colapsaram, então verifica-se que o número de edifícios colapsados a 9 de Julho de 1998 é superior aos calculados pelo simulador sísmico. No entanto, após uma análise à mesma base de dados encontram-se certas incongruências na classificação dos danos e no tipo de construção proposta no auto de vistoria [9]. Por exemplo, certas habitações apresentavam danos moderados no auto de vistoria e foi-lhes proposta uma construção nova ou reconstrução enquanto que certos edifícios deveriam ser sujeitos a pequenas reparações (proposto no auto de vistoria), mas os danos que apresentam (observando as fotografias) são do tipo severos. Desta forma é difícil saber realmente como o edifício deve ser caracterizado e qual o dado que devemos considerar como certo para atribuir uma vulnerabilidade à estrutura e por conseguinte obter um valor justo de grau de dano. A figura 7 mostra a distribuição geográfica dos edifícios colapsados nas três freguesias em estudo, tomando como unidade o “quarteirão”.

Tabela 4 - Resultados obtidos pelo simulador sísmico vs base de dados (valores reais)

	M=6.2	M=6.0	Base de dados
Edif. Colapsados	50	39	145 (reconstrução/const. nova)
Edif. Danos Severos	88	92	
Vítimas	43	34	6
Desalojados	488	452	Cerca de 500

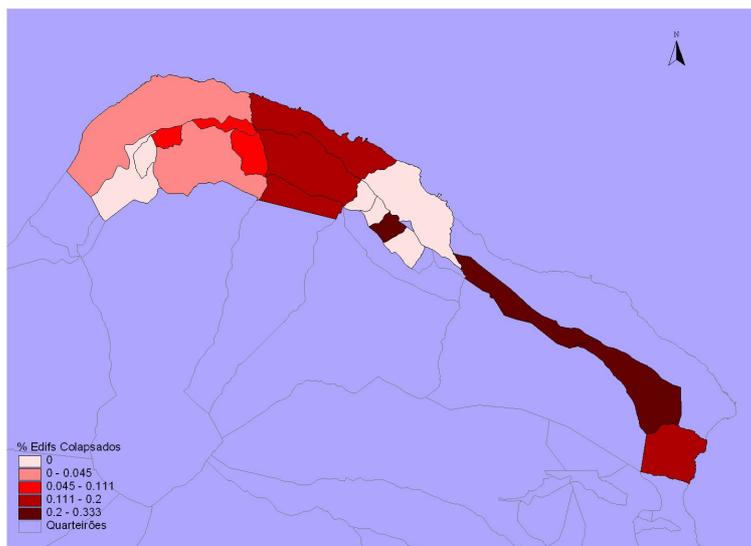


Figura 7: Percentagem de edifícios colapsados por bairro

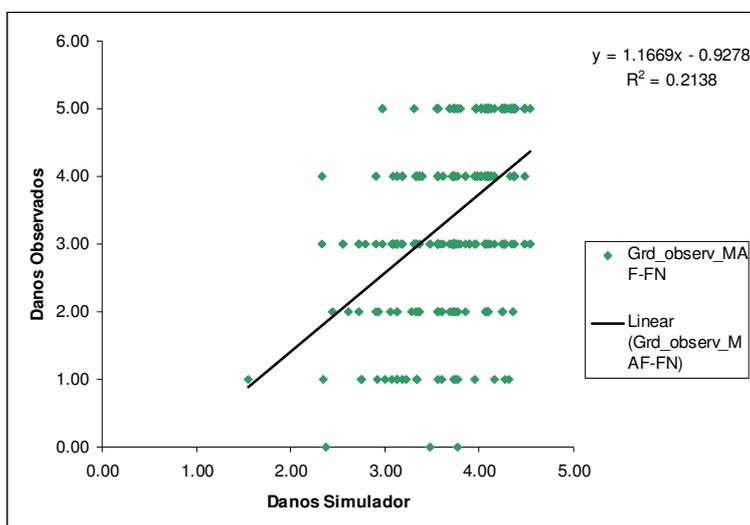


Figura 8: Graus de danos: observados vs simulador sísmico

A figura 8 ilustra a baixa correlação entre os dados obtidos no simulador e os dados observados na base de dados. O simulador em muitos casos apresenta um grau de dano inferior ao observado. Contudo, como se referiu atrás, existem algumas incongruências que é necessário analisar e que possivelmente irão diminuir a dispersão da figura 8.

6.1.2. População

No que respeita ao número de vítimas os valores obtidos pelo simulador superam os valores observados. Perante o número elevado de casas colapsadas que se observaram no momento do sismo é de estranhar o tão reduzido número de vítimas (8 no total). Porém, após um inquérito efectuado no âmbito do projecto USuET, em Março de 2007 na ilha do Faial, conclui-se que o reduzido número de vítimas deveu-se a:

- paredes exteriores de pedra caírem para fora das casas, tendo ficado quase intactas as paredes interiores em tabique que suportaram a estrutura das coberturas;
- nos quartos as camas localizavam-se junto a roupeiros que ampararam as coberturas quando estas colapsaram, fazendo um “efeito de triângulo” e assim as pessoas que se encontravam a dormir (sismo ocorreu às 05:19h) não sofreram grandes ferimentos nem morreram;
- a hora do sismo (05:19h – hora local) foi de certa forma benéfica para a população na medida em que as pessoas não se encontravam na rua e consequentemente não sofreram qualquer dano com a queda das paredes exteriores para a rua e também ainda não estavam nas “atafonas” (edifício anexo à casa principal onde se moíam e guardavam os cereais), geralmente de pedra e mais vulneráveis que as habitações.

Todos estes “parâmetros” que pouparam muitas vidas não foram até agora considerados na formulação da avaliação de vítimas no simulador sísmico, mas deverão ser considerados em próximas modelações, embora se antecipe alguma dificuldade na modelação de fenómeno tão complexo.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A construção do simulador sísmico bem como a análise de alguns campos da extensa base de dados pretendem dar um contributo para a modelação e caracterização do parque edificado do Faial e Pico bem como das suas vulnerabilidades por forma a criar uma ferramenta útil na mitigação dos riscos.

Para uma melhor caracterização e compreensão do parque existente pretende-se alargar a amostra dos 315 edifícios para todo o parque ou grande parte dele na ilha do Faial, de acordo com a informação disponível e compatível para ser objecto de comparação. Esta será uma forma de reduzir a actual variabilidade.

8. AGRADECIMENTOS

Os autores expressam o seu agradecimento ao Arqtº. Pedro Porteiro pelo apoio concedido e por todos os meios postos à disposição e sem os quais este trabalho não poderia ser desenvolvido, ao Governo Regional dos Açores, à SPRHI, s.a. e à Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT-Programa Pluri-Anual). O trabalho enquadra-se no Projecto da FCT - POCI/CTE-GIN/58095/2004 intitulado “*USuET – Urban System under Earthquake Threat. Análise Sistémica do Risco Sísmico: Uma Versão Integrada. Aplicação a Centros Urbanos nos Açores*”. A primeira autora é Bolseira de Doutoramento da FCT.

9. REFERÊNCIAS

- [1] Porteiro, P. (2000) Relatório da 1ª Fase do Processo de Reconstrução das Freguesias da Ribeirinha, Salão e Cedros. Gabinete de Reconstrução da Área Norte.
- [2] Costa, A., Oliveira, C. S., Neves, F. (2007) Caracterização do Parque Habitacional da Ilha do Faial e Pico. Elementos de Estudo do Comportamento Relativo à Crise Sísmica de 9 de Julho de 1998 nos Açores. SÍSMICA 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP, Porto.
- [3] Giovinazzi, S., Lagomarsino, S. (2003) Seismic Risk Analysis: a Method for the Vulnerability Assessment of Built-up areas, Proceedings, European Safety & Reliability Conference, Maastricht.
- [4] Forjaz, V.H., J.C. Nunes, J.H.C. Guedes e Oliveira, C.S. (2001) Classificação geotécnica dos solos vulcânicos dos Açores: uma proposta. In: Associação Portuguesa de Meteorologia e Geofísica (Ed.), Proceedings “II Simpósio de Meteorologia e Geofísica – Comunicações de Geofísica”. Évora. Portugal; 76-81.
- [5] Grunthal, G. (1998) European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Séismologie, Vol 15, Luxembourg.
- [6] Oliveira, C.S., Ferreira, M.A., Mota de Sá, F., Nunes, J. C., Proença, J., Sousa, M. L. (2006) Urban System under Earthquake Threat Application to the Azores. Proceedings, First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology (a joint event of the 13th ECEE & 30th General Assembly of the ESC). Geneva, Switzerland, 3-8 September 2006.
- [7] Paula, A. (2001) Caracterização da Sismicidade Histórica e Macrosísmica dos Açores: Aplicação em Estudos de Atenuação e na Determinação de Magnitude. I Jornadas Projecto PPERCAS, Angra do Heroísmo, 24-25 Maio.
- [8] Richter, C. F. (1958) Elementary Seismology, W. H. Freeman, San Francisco.
- [9] Costa, A., Oliveira, C. S., Neves, F. (2007) Análise de Alguns Dados da Reconstrução da Ilha do Faial e Pico relativo à Crise Sísmica de 9 de Julho de 1998. SÍSMICA 2007 – 7º Congresso de Sismologia e Engenharia Sísmica, FEUP, Porto.