



**UNIVERSIDADE TÉCNICA DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

## **SIMULADOR DE CENÁRIOS SÍSMICOS EM AMBIENTE WEBSIG**

**Nuno Filipe Neves Viegas da Silva Afonso**  
(Licenciado em Engenharia Geográfica)

Dissertação elaborada no Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
para a obtenção do Grau de Mestre em Sistemas de Informação Geográfica  
pela Universidade Técnica de Lisboa

Orientador: Doutora Maria Luísa Raposo de Magalhães do Nascimento  
e Sousa de Sotto-Mayor  
Co-orientador: Doutor João Luís Gustavo de Matos

### **Júri**

Presidente: Doutor João Luís Gustavo de Matos  
Vogais: Doutor Nuno Alexandre Gouveia de Sousa Neves  
Doutora Maria Luísa Raposo de Magalhães do Nascimento  
e Sousa de Sotto-Mayor  
Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira

Novembro de 2008



## RESUMO

O Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, é uma ferramenta computacional que permite avaliar perdas em consequência de um cenário sísmico especificado [LESSLOSS, 2007]. Esta ferramenta automática compreende vários módulos, como sejam, a modelação da acção sísmica no substrato rochoso e à superfície, a avaliação dos danos no edificado e a avaliação das perdas económicas e humanas. O Simulador foi integrado como aplicação externa num Sistema de Informação Geográfica (SIG) [Sousa, 2006].

Foram identificadas algumas necessidades de desenvolvimento no Simulador, que compreendem, por um lado, o alargamento do seu domínio geográfico para além do território de Portugal Continental, nomeadamente para o Arquipélago dos Açores, que possui uma taxa de ocorrência de sismos muito elevada e, por outro, a sua disponibilização através da Web, com um carácter autónomo, ou seja, que não necessite de alguma plataforma de informação geográfica tendo no entanto as suas capacidades no que respeita ao mapeamento e à síntese gráfica e tabular dos efeitos de um cenário sísmico.

De entre as características deste simulador WebSIG, saliente-se uma interface gráfica de fácil operação, permitindo a sua utilização por agentes da protecção civil, no que respeita ao planeamento e à gestão da emergência na eventualidade de ocorrência de um sismo.

### **PALAVRAS-CHAVE:**

Arquipélago dos Açores

Cenário Sísmico

Risco Sísmico

Simulador

Serviços Web

WebSIG

## **ABSTRACT**

LNECloss is a computer tool that evaluates losses as a consequence of pre-defined seismic scenarios [LESSLOSS, 2007]. This automatic tool comprises several modules like the modelling of seismic action at bedrock and surface level, the evaluation of earthquake damage to buildings and the evaluation of human and economic losses. The Simulator was incorporated as an external application in a Geographic Information Systems (GIS) [Sousa, 2006].

Several development requirements were considered, at a development level of LNECloss simulator, comprising, the extent of the geographic domain, of its application to regions different from Mainland Portugal, namely the Azores Islands, as this is the Portuguese region with higher seismic rate, and the development of a simulator to be available on the Web, as a stand alone tool, with no need of a geographic information platform, although with the GIS capabilities of mapping and synthesis of the seismic scenario effects.

One of the characteristics of this WebGIS simulator is a friendly graphic interface, with the goal of being used by agents of civil protection when planning and managing a seismic disaster emergency.

### **KEY WORDS:**

Azores Islands

Seismic Risk

Seismic Scenario

Simulator

WebGIS

Web Services

## AGRADECIMENTOS

A realização desta dissertação, resultou do trabalho do autor desenvolvido no Núcleo de Engenharia Sísmica e Dinâmica de Estruturas (NESDE) inserido no Departamento de Estruturas do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC).

Este trabalho contou com o apoio de várias pessoas e entidades, aos quais expresse os meus mais sinceros agradecimentos.

Desde já agradeço ao próprio Laboratório Nacional de Engenharia Civil, nas pessoas da actual Direcção, agradeço a oportunidade e a disponibilidade prestada para a realização deste trabalho.

Ao Director do Departamento de Estruturas, Engenheiro João Almeida Fernandes, agradeço de forma idêntica, a disponibilidade prestada para realizar este trabalho.

À Engenheira Ema Coelho, actual Chefe do NESDE, pela qual agradeço a oportunidade, o apoio e os meios concedidos para o desenvolvimento deste trabalho.

À Dra. Luísa Sousa, orientadora científica deste trabalho no LNEC, sem a qual esta dissertação não poderia ter sido realizada, a quem eu expresse o meu sincero reconhecimento pela sua importante colaboração, disponibilidade, amizade e pela forma pró-activa e dinâmica com que contribuiu para o desenvolvimento desta tese.

Ao Professor João Matos, co-orientador desta tese no Instituto Superior Técnico, a quem eu expresse os meus agradecimentos por me ter sugerido este tema, pelas suas sugestões ao longo do trabalho e pela sua colaboração para a minha formação académica, enquanto docente e coordenador do Mestrado em SIG no IST.

À Técnica Experimentadora Dra. Anabela Martins, pelo qual agradeço o apoio e interesse demonstrado por este trabalho e pelos valiosos contributos prestados no desenvolvimento desta tese.

Ao Eng. Paulo Candeias, pelo apoio e interesse demonstrado por este trabalho, e por várias sugestões sobre algumas rotinas desenvolvidas.

Ao Eng. Ricardo Tavares, pela sua enorme colaboração e indicação de inúmeras sugestões, de como concretizar o trabalho.

Ao Eng. Sandro Batista, amigo e colega de profissão, pelo seu enorme apoio, disponibilidade e pelos seus valiosos conselhos e indicações no desenvolvimento do trabalho.

Ao Eng. Bruno Lucas, o qual agradeço o apoio na elaboração de rotinas para o projecto, e pelo interesse e disponibilidade demonstradas.

Ao Eng. Nuno Charneca, o meu agradecimento pelas várias sugestões acerca do trabalho.

Ao Dr. Palha Fernandes, o meu agradecimento de forma idêntica.

À Dra. Ana Mendes, pela disponibilidade demonstrada.

Ao Instituto Nacional de Estatística (INE), pela disponibilização da informação dos Censos 2001 para o Arquipélago dos Açores.

Ao Dr. Vítor Vieira, do Serviço Municipal de Protecção Civil de Lisboa, pela disponibilidade demonstrada em discutir o tema desta dissertação.

À minha família pela força e compreensão que sempre me deram.

Em geral, a todos os colegas e amigos, que de forma directa ou indirecta, contribuíram para que este trabalho fosse uma realidade

# ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>1</b>
1.1. Âmbito.....	1
1.2. Justificação do Tema .....	2
1.3. Objectivos .....	2
1.4. Organização.....	3
<b>2. RISCO SÍSMICO E SIMULADORES DE CENÁRIOS</b> .....	<b>5</b>
2.1. Enquadramento .....	5
2.2. Terminologia da Gestão do Risco.....	6
2.3. Conceitos de Risco Sísmico .....	9
2.4. O Ciclo de Gestão da Emergência.....	11
2.5. Simuladores de Cenários Sísmicos .....	13
2.5.1. Âmbito Nacional.....	13
2.5.2. Âmbito Internacional.....	19
2.6. Simulador de Cenários Sísmicos na Web - Simulador da Ilha de Taiwan.....	22
2.7. Considerações Finais.....	24
<b>3. DISTRIBUIÇÃO E SERVIÇOS DE SIG NA WEB</b> .....	<b>27</b>
3.1. Introdução.....	27
3.2. Motivos para um SIG em Ambiente Web .....	28
3.3. Estratégias de Implementação de um Ambiente SIG na Web .....	31
3.3.1. Enquadramento .....	31
3.3.2. Estratégia baseada no Servidor Web.....	31
3.3.3. Estratégia baseada no Cliente .....	32
3.3.4. Estratégia baseada em Equilíbrio Cliente / Servidor Web .....	33
3.4. Arquitectura dos SIG na Web .....	35

3.4.1.	Arquitectura Cliente / Servidor.....	35
3.4.2.	Componentes Principais de um SIG na Web.....	37
3.5.	O Open Geospatial Consortium (OGC) e a Interoperabilidade .....	40
3.5.1.	<i>Open Geospatial Consortium</i> .....	40
3.5.2.	Interoperabilidade .....	44
3.6.	Serviços Web.....	45
3.6.1.	Enquadramento .....	45
3.6.2.	Arquitectura dos Serviços Web .....	46
3.6.3.	Serviços Web de Implementação do OGC .....	48
3.7.	Considerações Finais.....	54
<b>4.</b>	<b>SIMULADOR DE CENÁRIOS SÍSMICOS (LNECLOSS) NA WEB .....</b>	<b>55</b>
4.1.	Introdução .....	55
4.2.	Requisitos Funcionais de um Simulador de Cenários Sísmicos .....	56
4.3.	Arquitectura do Simulador LNECloss na Web .....	58
4.4.	Desenvolvimento e Implementação das Camadas de Apresentação do Simulador LNECloss em ambiente WebSIG.....	63
4.4.1.	Enquadramento .....	63
4.4.2.	Camada de Apresentação de Modelação.....	64
4.4.3.	Camada de Apresentação de Estatísticas Globais da Simulação.....	74
4.4.4.	Camada de Apresentação da Informação Geográfica.....	75
4.5.	Considerações Finais.....	77
<b>5.</b>	<b>APLICAÇÃO DO SIMULADOR WEBSIG AO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES .....</b>	<b>79</b>
5.1.	Introdução .....	79
5.2.	Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para o Arquipélago dos Açores.....	79
5.3.	Inventário dos Elementos em Risco para o Arquipélago dos Açores.....	81



5.3.1.	Apuramentos efectuados nos Censos 2001 .....	81
5.3.2.	Estatísticas dos elementos em risco .....	84
5.3.3.	Distribuição geográfica dos elementos em risco.....	98
5.3.4.	Análise das estatísticas dos elementos em risco.....	100
5.3.5.	Análise da distribuição geográfica dos elementos em risco .....	103
5.4.	Modelação de Cenários Sísmicos no Arquipélago dos Açores.....	104
5.4.1.	Enquadramento .....	104
5.4.2.	Danos e perdas observadas no sismo de 9 de Julho de 1998....	105
5.4.3.	Actualização do inventário dos elementos em risco considerando o sismo de 9 de Julho de 1998 .....	106
5.4.4.	Simulação de um cenário semelhante ao sismo do Faial em 1998 .....	107
5.5.	Considerações Finais.....	110
<b>6.</b>	<b>CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS.....</b>	<b>113</b>
6.1.	Trabalho Desenvolvido .....	113
6.2.	Conclusões Gerais.....	115
6.3.	Perspectivas e Desenvolvimentos Futuros .....	117
<b>7.</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>119</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>125</b>
	<b>A. DADOS DE CONTEXTO .....</b>	<b>129</b>
	<b>B. TECNOLOGIA UTILIZADA .....</b>	<b>133</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Processo de gestão do risco (Fonte: adaptado de AS/NZS, 2004)	9
Figura 2.2 – Ciclo de gestão da emergência .....	12
Figura 2.3 – Percentagem de Edifícios com Danos Severos por Quarteirão (Fonte: Pais, 2002).....	14
Figura 2.4 – Número de edifícios no estado de dano total para um sismo localizado na proximidade de Vila Franca de Xira (Fonte: Anderson et al., 2004) .....	16
Figura 2.5 – Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, integrado num SIG (Fonte: Sousa <i>et al.</i> , 2006).....	19
Figura 2.6 – Acção sísmica para um cenário que afecte o estado da Califórnia (Fonte: <a href="http://www.fema.gov">www.fema.gov</a> ) .....	20
Figura 2.7 – Número total de edifícios que sofreram colapso (Fonte: LESSLOSS, 2007) .....	22
Figura 2.8 - Arquitectura do Simulador TELES em ambiente WebSIG (Fonte: Lin <i>et al.</i> , 2003).....	23
Figura 2.9 - Interface da escolha do cenário sísmico (Fonte: Lin et al., 2004) .	24
Figura 2.10 - Interface dos danos no edificado (Fonte: Lin et al., 2004) .....	24
Figura 3.1 – Estratégia Servidor Web .....	32
Figura 3.2 – Estratégia Cliente .....	33
Figura 3.3 - Estratégia em Equilíbrio .....	34
Figura 3.4 – Arquitectura de duas camadas ( <i>two-tier</i> ).....	35
Figura 3.5 – Arquitectura de três camadas ( <i>three-tier</i> ).....	36
Figura 3.6 – Arquitectura três camadas ( <i>three-tier</i> ) aplicada aos SIG na Web	38
Figura 3.7 – Estrutura organizacional do <i>Open Geospatial Consortium</i> .....	43
Figura 3.8 – Arquitectura dos Serviços Web (Fonte: adaptado de Araújo, 2005) .....	47

Figura 3.9 – Arquitectura dos serviços de implementação do OGC (Fonte: Rocha, 2005).....	48
Figura 3.10 – Operações disponibilizadas pelo WMS (Fonte: Araújo, 2005) ...	50
Figura 3.11 – Operações disponibilizadas pelo WFS (Fonte: Araújo, 2005) ....	52
Figura 3.12 – Operações disponibilizadas pelo WCS (Fonte: adaptado de Araújo, 2005).....	54
Figura 4.1 – Arquitectura de três camadas adoptada para o Simulador LNECloss em ambiente WebSIG .....	60
Figura 4.2 - Arquitectura da aplicação LNECloss em WebSIG .....	62
Figura 4.3 - Arquitectura de implementação da camada de apresentação de modelação do Simulador LNECloss na Web.....	67
Figura 4.4 – Interface de apresentação do Simulador.....	70
Figura 4.5 – Interface de opções de modelação (região e acção sísmica) .....	71
Figura 4.6 – Topo: (esquerda) Interface do cenário sísmico em análise (sismo predefinido); (direita) Interface do cenário sísmico em análise (sismo definido pelo utilizador); Baixo: Interface de escolha de Intensidades Macrossísmicas.	72
Figura 4.7 – Esquerda: Interface de escolha do parque habitacional, optando-se pelo dos Censos 2001; Direita: Interface de escolha da Tipologia, optando-se por uma tipologia única .....	73
Figura 4.8 – Esquerda: Interface de opções de modelação do módulo de Avaliação de Danos ( <i>FEMA &amp; NIBS, 1999</i> ) e do Modelo de Perdas Humanas; Direita: Interface de opções de modelação Avaliação de Danos ( <i>Giovinazzi &amp; Lagomarsino, 2003 e 2004</i> ) e do Modelo de Perdas Humanas. ....	74
Figura 4.9 – Estatísticas globais da simulação do cenário sísmico exemplificado .....	75
Figura 4.10 – Interface de visualização dos dados geográficos baseado num visualizador Java.....	76
Figura 5.1 – Número de edifícios por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	85

Figura 5.2 – Número de alojamentos por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	85
Figura 5.3 – Número de ocupantes por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	86
Figura 5.4 – Razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios, por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	86
Figura 5.5 – Razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	87
Figura 5.6 – Número de edifícios por tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	90
Figura 5.7 – Número de edifícios por época de construção e tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	90
Figura 5.8 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	91
Figura 5.9 – Número de edifícios por número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	92
Figura 5.10 – Número de edifícios por época de construção e número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	92
Figura 5.11 – Percentagem de edifícios por número de pavimentos dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	93
Figura 5.12 – Número de edifícios por número de pavimentos e tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	93
Figura 5.13 – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dado o número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	94
Figura 5.14 – Número de edifícios por Necessidade de Reparações na estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	96
Figura 5.15 – Número de edifícios por <i>Necessidade de Reparações</i> na estrutura, dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	96
Figura 5.16 – Densidade de edifícios no grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	98

Figura 5.17 – Densidade de edifícios no grupo Central do Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	99
Figura 5.18 - Densidade de edifícios no grupo Oriental do Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	99
Figura 5.19 – Cartas de isossistas do sismo de 1998 nas ilhas do Faial e do Pico (Fonte: Senos <i>et al</i> , 2008) .....	104
Figura 5.20 - Topo: Interfaces de opções de modelação (região e acção sísmica); Baixo: Interface de opções de modelação do Modelo de Perdas Humanas e Avaliação de Danos (FEMA & NIBS, 1999) .....	108
Figura 5.21 - Topo: Distribuição geográfica de danos no edificado da ilha do Faial (colapso total e parcial); Baixo: Distribuição geográfica de danos no edificado da ilha do Pico (colapso total e parcial).....	110
Figura B.1 – Fluxo do servidor de mapas ArcIMS (Fonte: ESRI, 2006 .....	137

## ÍNDICE DE QUADROS

Quadro 3.1 - Resumo das estratégias de implementação de um ambiente WebSIG (Fonte: adaptado de Cabral, 2001) .....	34
Quadro 3.2 – Contextualização das preocupações do OGC (Fonte: Silva, 2001) .....	41
Quadro 5.1– Factores de vulnerabilidade e respectivas modalidades (Censos 2001) (Fonte: Sousa, 2006).....	83
Quadro 5.2 – Modalidades das variáveis <i>Necessidade de Reparações e Estado de conservação</i> dos edifícios (Fonte: Sousa, 2006).....	84
Quadro 5.3 – Valores totais das existências dos elementos em risco no Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	84
Quadro 5.4 – Percentagem de existências em edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sísmo-resistente (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	88
Quadro 5.5 – Existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sísmo-resistente (Fonte: Sousa & Afonso, 2007).....	89
Quadro 5.6 – Distribuição de elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	91
Quadro 5.7 – Tipos de estruturas predominantes em cada época de construção dos edifícios do Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	94
Quadro 5.8 - Quantitativos de edifícios por época de construção, tipo de estrutura e número de pavimentos (Censos 2001) (Fonte: Sousa & Afonso, 2007) .....	97
Quadro 5.9 - Levantamento de danos de Ferreira [2008] para as ilhas do Faial e Pico (Fonte: Sousa & Afonso, 2008) .....	105
Quadro 5.10 – Número de mortos por freguesia (ilha do Faial) no sismo de 1998 (Fonte: Gonçalves, 2008).....	106

Quadro 5.11 – Número de edifícios não habitáveis em consequência do sismo de 1998, com base no levantamento de Ferreira [2008] (Fonte: Sousa & Afonso, 2008) .....	107
Quadro 5.12 - Resultados globais da simulação para as ilhas do Faial e do Pico em termos de danos totais no edificado e perdas humanas.....	109
Quadro A.1 – Estrutura da informação disponibilizada .....	129
Quadro A.2 – Estrutura dos temas disponibilizados.....	130



## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1. Âmbito

Os sismos são dos mais temidos fenómenos naturais por dois motivos fundamentais, por um lado, o grau de destruição elevado que podem provocar, quer em termos de perdas humanas quer em danos materiais e por outro, devido à sua imprevisibilidade.

Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são instrumentos fundamentais que podem ser utilizados para apoiar a simulação dos efeitos de fenómenos naturais, em particular dos fenómenos sísmicos, devido, entre outras, às suas capacidades de agregar informação georeferenciada a bases de dados de informação alfanumérica e imagens, e à disponibilização de ferramentas de visualização e análise espacial.

Os estudos desses fenómenos e a análise dos seus efeitos, através da simulação de diferentes cenários sísmicos permitem definir e melhorar diferentes estratégias de intervenção, expondo as vulnerabilidades existentes, quer no sentido de minimizar os efeitos adversos de sismos, quer no que diz respeito ao planeamento e actuação dos meios de socorro. Por exemplo, na perspectiva da Protecção Civil, a importância de um simulador desta natureza, seja ou não em ambiente Web, recai tanto na fase do planeamento como na da gestão da emergência.

A simulação de um cenário para um determinado fenómeno natural, como por exemplo, um sismo, exige a recolha, a organização e o pré-processamento de um vasto conjunto de dados que deverão ser integrados num SIG. Estamos assim perante uma abordagem interdisciplinar que envolve diversos domínios do conhecimento, entre eles as ciências da terra (definição do movimento sísmico), da engenharia (avaliação da vulnerabilidade sísmica e danos), as ciências sociais e económicas (avaliação das perdas humanas e económicas).

## 1.2. Justificação do Tema

Os sistemas tradicionais de implementação de SIG denotam algumas dificuldades quando se pretende disponibilizar os seus serviços na Web e proporcionar soluções flexíveis e intuitivas aos utilizadores.

Actualmente a Web constitui um meio privilegiado e de extrema importância para a distribuição de grandes volumes de Informação Geográfica, tornando-se assim num importante veículo, que facilita a utilização da Informação Geográfica e de diversas aplicações, como seja, um Simulador de Cenários Sísmicos. A intenção de actualizar uma aplicação deste género para um ambiente WebSIG tem a finalidade de aliar as vastas potencialidades das ferramentas de Sistemas de Informação Geográfica ao fácil acesso e sem existir a necessidade de se dispor, para o efeito, de um ambiente SIG em *desktop*.

Com a elaboração deste trabalho, pretendeu-se apresentar a metodologia e os procedimentos adoptados no sentido de levar a cabo os principais objectivos delineados e que se descrevem de seguida.

## 1.3. Objectivos

O Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, é uma ferramenta computacional que permite modelar, numa qualquer parcela do Continente Português, a acção sísmica, os danos no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas em consequência de um cenário sísmico de ocorrência especificado. O programa de simulação de cenários sísmicos será designado de Simulador de Cenários Sísmicos ou simplesmente de Simulador.

O Simulador foi desenvolvido numa linguagem de programação científica, *FORTRAN 90*, e integrado como aplicação externa num SIG, mais concretamente, em ambiente *ArcView GIS 3.2*, incluindo várias rotinas codificadas em *Avenue* (linguagem de programação do *ArcView*) [Campos Costa *et al.*, 2004; Sousa *et al.*, 2004, Sousa *et al.*, 2006, Sousa, 2006].

Desta forma, os objectivos propostos para a presente tese de mestrado decorrem dos desafios que actualmente se colocam para o desenvolvimento do Simulador de Cenários Sísmicos (LNECloss), e que se traduzem num mesmo

objectivo comum, a sua actualização. Dentro deste objectivo, mais generalista, surgem dois objectivos mais concretos, sendo ambos elaborados em fases distintas.

Numa primeira fase, procedeu-se ao alargamento do domínio geográfico de aplicação do Simulador ao arquipélago dos Açores, uma vez que até então, o LNECloss operava exclusivamente em qualquer região de Portugal Continental, entendendo-se ser prioritário alargar a sua operacionalidade de forma a incluir a região do País com a taxa mais elevada de ocorrência de sismos.

Numa segunda fase actualizou-se o Simulador de Cenários Sísmicos de forma a poder ser utilizado via Web, desenvolvendo-se uma ferramenta com um carácter autónomo, ou seja, que não necessite de alguma plataforma de Informação Geográfica, tendo no entanto as capacidades de um SIG (WebSIG) no que respeita ao mapeamento e à síntese gráfica e tabular dos efeitos de um cenário sísmico.

Pretende-se igualmente que este simulador em ambiente WebSIG tenha uma interface gráfica de fácil operação, adequada às necessidades das entidades competentes, não podendo ser actualizado pelo operador.

### **1.4. Organização**

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos.

No primeiro capítulo, a que corresponde esta Introdução, faz-se um enquadramento de âmbito geral do tema abordado neste domínio científico, definem-se os objectivos que se pretendem atingir com este trabalho e salienta-se a importância subjacente à escolha de um tema desta natureza.

No segundo capítulo, aborda-se a temática do risco sísmico e os diversos conceitos afectos ao processo de gestão do risco; apresentam-se ainda alguns exemplos de simuladores de cenários sísmicos, de índole nacional e internacional.

No que se refere ao terceiro capítulo, é exposto o tema da distribuição de serviços SIG na Web e toda a informação e teoria subjacente.

O quarto capítulo centra-se na implementação do Simulador de Cenários Sísmicos na Web. Apresentam-se alguns requisitos funcionais que um simulador de cenários sísmicos deve possuir, a arquitectura adoptada para a implementação do Simulador e a sua capacidade de interacção com o utilizador, por intermédio das diferentes camadas de apresentação.

O quinto capítulo dedica-se à aplicação do Simulador ao Arquipélago dos Açores. Este capítulo engloba o inventário dos elementos em risco em termos de quantitativos habitacionais e populacionais, para o qual se adopta a freguesia do Arquipélago dos Açores como a unidade de análise. Apresentam-se ainda algumas simulações de cenários sísmicos para aquele Arquipélago.

Por último no sexto capítulo, são apresentadas as conclusões sobre o trabalho desenvolvido, envolvendo a apreciação dos resultados obtidos e as perspectivas de desenvolvimento futuro.

## 2. RISCO SÍSMICO E SIMULADORES DE CENÁRIOS

### 2.1. Enquadramento

O fenómeno sísmico, para além do interesse científico que desperta, é uma manifestação de processos geológicos com grandes repercussões sociais.

Os fenómenos naturais, e em particular os sismos, podem ser geradores de catástrofes nas quais é necessário lidar com situações de emergência. Os estudos desses fenómenos e a análise dos seus efeitos, através da simulação de diferentes cenários permitem delinear possíveis estratégias de intervenção que visam minimizar, ou mesmo prevenir, os potenciais efeitos adversos do evento.

A implementação de uma política efectiva de prevenção dos riscos naturais requer um bom conhecimento do risco, isto é, primeiro deve existir a avaliação da severidade do fenómeno, da sua probabilidade de ocorrência e dos seus efeitos adversos e depois o estabelecimento de prioridades de intervenção.

Os simuladores de cenários sísmicos constituem assim ferramentas fundamentais no apoio à decisão para o desenvolvimento de estratégias de mitigação do risco, nomeadamente na concepção de um plano de emergência, no dimensionamento dos recursos a disponibilizar para as operações de socorro, mas também na definição de planos para a redução da vulnerabilidade dos elementos expostos.

Neste capítulo começa por se definir os conceitos gerais de risco estabelecidos em normas internacionais afectas à temática da gestão do risco, particularizando, de seguida, as definições de risco específicas para o fenómeno sísmico e identificando as suas principais componentes. Posteriormente, aborda-se o tema do ciclo de gestão da emergência e o seu enquadramento no processo de gestão de risco mencionando-se a relevância da utilização de simuladores de cenários sísmicos nesse contexto. Termina-se com alguns exemplos de simuladores, de índole nacional e internacional, utilizados por diversas entidades ligadas ao planeamento e à gestão da emergência.

## 2.2. Terminologia da Gestão do Risco

Viseu [2006] afirma que o conceito de “risco” é «multifacetado e multidimensional», o que pode decorrer deste ser abordado de uma forma transversal, sendo objecto de estudo de uma gama alargada de disciplinas.

Assim, actualmente, existem inúmeras definições para o termo “risco” que reflectem as perspectivas de actividades e áreas específicas como sejam, por exemplo, a segurança, a engenharia, a economia, o ambiente e as ciências sociais [AS/NZS, 2004, Gonçalves, 2005, Hill, 2001, ISO/TMB/RMWG (N047), 2007, ISO/TMB/RMWG (N048), 2007, Rocha & Pinto, 2007, Samuels, 2005, Sousa, 2006, Correia, 2006].

Definições genéricas e abrangentes para a terminologia associada à temática do risco podem ser encontradas nas normas internacionais que uniformizam, estabelecem e enquadram os conceitos e as práticas mais recentes no domínio da gestão do risco.

Com o objectivo de se abordar o tema da terminologia da gestão de risco de uma forma sintética e coerente, recorreu-se maioritariamente às definições presentes nas seguintes referências, a norma Australiana e da Nova Zelândia sobre gestão de risco [AS/NZS, 2004] e [Rocha & Pinto, 2007], que a seguir se sintetizam:

*Perigo ou ameaça* – Um perigo pode ser interpretado como um fenómeno ou situação que tem o potencial para provocar danos ou perdas sobre os elementos expostos. A existência de um perigo é uma condição necessária, mas não suficiente para que os danos ou perdas ocorram. Por outras palavras, a existência do perigo não causará inevitavelmente a ocorrência de danos ou perdas, mas significa que existe a possibilidade de que estes ocorram [Rocha & Pinto, 2007].

*Risco* – O risco pode ser definido como o efeito da incerteza nos objectivos. O risco pode ser medido combinando duas componentes: a probabilidade (ou frequência) da ocorrência de um evento específico, com o impacto (ou consequência, a seguir definida) que esse evento poderia causar se de facto ocorresse [AS/NZS, 2004; Rocha & Pinto, 2007]. Esta formulação apresenta-se na equação 2.1.

$$\mathbf{Risco = Probabilidade \times Consequência} \quad (2.1)$$

*Consequência* – A consequência traduz-se como o impacto de um determinado evento (ocorrência de determinadas circunstâncias). Um evento pode gerar várias consequências, sendo que estas poderão ser negativas ou positivas. As consequências são também avaliadas em função dos objectivos que uma organização pretende atingir. [AS/NZS, 2004]

*Perda* – A perda pode ser entendida como o resultado de uma consequência negativa ou de um efeito adverso [AS/NZS, 2004].

A gestão do risco (figura 2.1), é um elemento fundamental na definição de estratégias de uma organização, em que se analisam e avaliam os riscos inerentes às diversas actividades, no sentido de procurar uma «vantagem sustentada» para o seu desenvolvimento [Rocha & Pinto, 2007]. Num processo de gestão do risco, são definidas cinco fases que a seguir se identificam e descrevem:

*Estabelecimento do contexto* – O estabelecimento do contexto procura contextualizar o âmbito da gestão do risco, isto é, o estabelecimento e desenvolvimento de critérios segundo os quais o risco deve ser avaliado e a definição da sua estrutura de análise, de acordo com os parceiros a envolver, os seus objectivos e a definição de tarefas a desenvolver. [AS/NZS, 2004].

*Identificação dos riscos* – A identificação dos riscos é o processo em que são identificados os perigos e os diversos elementos em risco, assim como as consequências da interacção entre ambos [Rocha & Pinto, 2007].

*Análise dos riscos* – Entende-se por análise dos riscos, como sendo um processo através da qual se tenta identificar a natureza e determinar o nível do risco em causa, ou seja, determinam-se as probabilidades (frequências) e os impactos (consequências) decorrentes dos riscos identificados previamente. Esta fase fornece os elementos necessários para a apreciação do risco e algumas linhas de orientação para o controlo dos riscos [AS/NZS, 2004].

*Apreciação dos riscos* – Na fase de apreciação dos riscos, os níveis de risco estabelecidos são comparados com valores especificados em critérios pré-estabelecidos para o risco identificado. Assim se estabelece se o risco é, por exemplo, aceitável ou tolerável. Na apreciação do risco são também

definidas algumas prioridades, para apoiar a decisão sobre o controlo dos riscos [AS/NZS, 2004; Rocha & Pinto, 2007].

*Avaliação dos riscos* – A avaliação dos riscos corresponde a todo o conjunto de processos inerentes às fases de identificação, de análise e de apreciação do risco [AS/NZS, 2004].

*Controlo dos riscos* – O controlo dos riscos corresponde à fase de selecção e implementação de medidas e recomendações para os controlar. Se na fase de apreciação dos riscos eles forem considerados inaceitáveis deverão ser elaborados planos de actuação para o seu controlo [Rocha & Pinto, 2007]. As medidas de controlo dos riscos poderão incluir, entre outras, a mitigação (tratamento), a transferência (e.g. fazer um seguro) ou a retenção (assumir o risco).

Em paralelo com as cinco fases atrás descritas dever-se-ão ter em conta duas tarefas adicionais que acompanham continuamente todo o processo de forma interactiva:

*Monitorizar e rever* – Toda a sequência do processo de gestão do risco deverá ser monitorizada e revista, tendo em consideração as alterações introduzidas ao longo do referido processo. Os riscos e o seu controle necessitam de ser monitorizados, de modo a assegurar que as prioridades se mantêm, mesmo que existam alterações das circunstâncias [AS/NZS, 2004].

*Comunicar e consultar* – As várias fases do processo da gestão do risco deverão ser comunicadas aos parceiros envolvidos, esperando-se que a sua contribuição seja incorporada no processo [Rocha & Pinto, 2007], de forma a promover, entre outras coisas, a cultura do risco ou a resiliência dos elementos expostos ao risco.



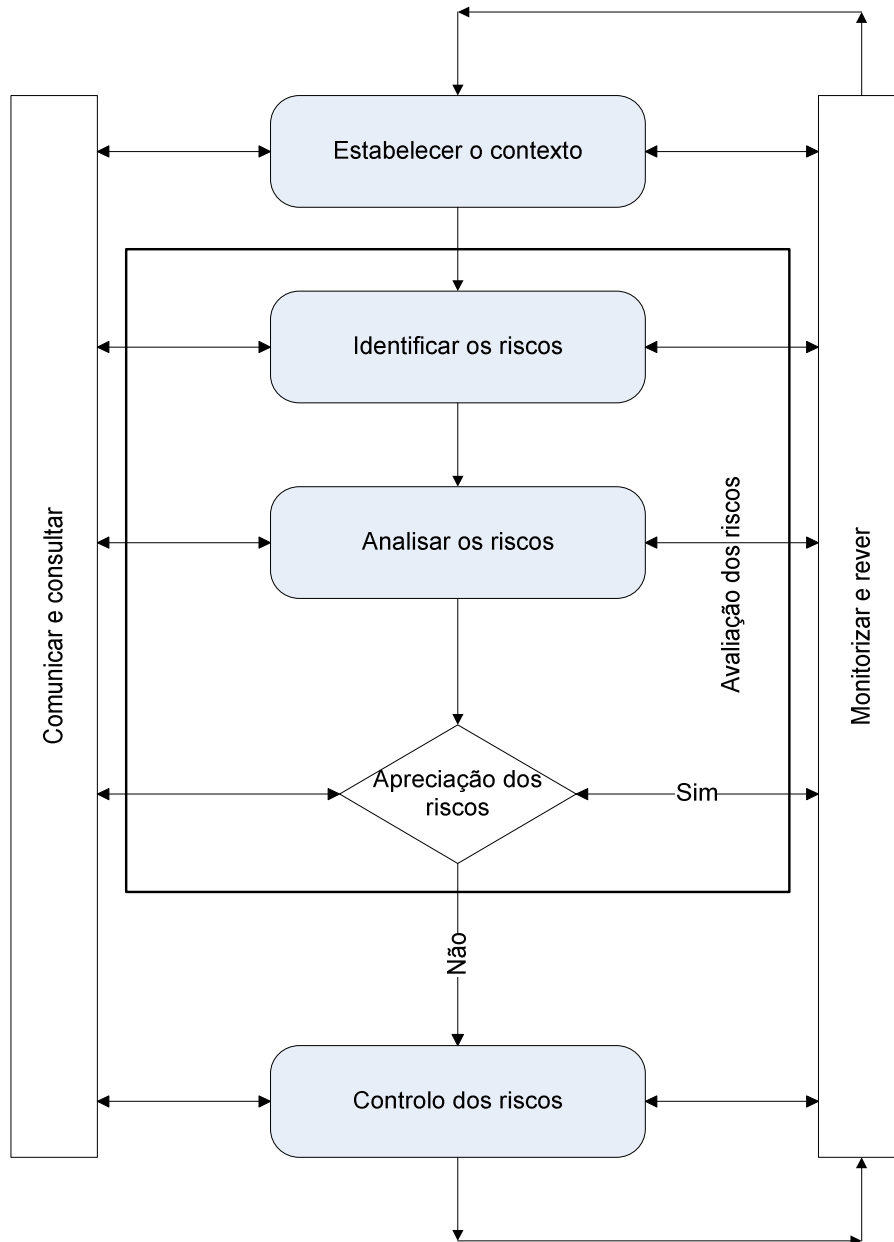


Figura 2.1 – Processo de gestão do risco (Fonte: adaptado de AS/NZS, 2004)

### 2.3. Conceitos de Risco Sísmico

Tendo como base alguma da terminologia exposta na última secção, apresentam-se algumas definições adequadas à temática do risco sísmico, maioritariamente presentes em Sousa [2006]:

1. A *Perigosidade Sísmica (H)*, traduz-se pela probabilidade de ocorrência, de um determinado nível da acção sísmica, que se pode traduzir geralmente por variáveis que medem o movimento do solo, como a

- intensidade macrossísmica, a aceleração máxima do movimento do solo, a velocidade máxima do movimento do solo, entre outras [McGuire, 2004 e adaptado de Sousa, 2006].
2. O *Ambiente ou sistema construído*, pode ser entendido como um elemento caracterizador dos diversos elementos em risco existentes numa determinada região urbana, sendo dessa forma, geralmente formado por estruturas individuais (edifícios e/ou alojamentos), ou estar englobado num sistema integrado de estruturas em que exista a inclusão de diferentes componentes como redes de água, comunicações, energia e transportes. Neste caso, será igualmente necessário localizar e identificar a sua função e inter-relações [Sandi, 1986 adaptado de Sousa, 2006].
  3. Os Elementos *em risco*, simplesmente denominados de *existências*, são definidos como os elementos que poderão vir a ser afectados em caso de ocorrência de um fenómeno sísmico. Os habitantes e o edificado de uma determinada região são exemplo de elementos em risco, pois enquanto que uns podem ser afectados pelo edificado construído, este pode-se confundir com o próprio sistema construído [Sousa, 2006]. Ainda de acordo com Sousa [2006] há que ter em conta que «a definição dos elementos em risco condicionará a forma como é avaliado o risco e terá implicações nas variáveis que o quantificam».
  4. A *Vulnerabilidade sísmica (V)*, reflecte a susceptibilidade dos elementos em risco sofrerem danos ou perdas produzidos pela acção de um fenómeno sísmico de determinada severidade [Sousa, 2006].
  5. A *Exposição (E)* traduz o valor do elementos em risco. Para caracterizar a exposição procede-se a um inventário das existências e à sua valorização, evidenciando-se factores capazes de caracterizar a sua vulnerabilidade face à acção sísmica [Sousa, 2006].
  6. As *Perdas (L)* traduzem a gravidade das consequências produzidas por um fenómeno sísmico, sobre os elementos em risco.
  7. O *Risco Sísmico (R)* pode ser expresso pela probabilidade de um determinado elemento em risco sofrer ou exceder um determinado valor

de perdas ou danos, como resultado de toda a sismicidade que afecta a região em análise [Sousa, 2006]. Assim, a análise do risco sísmico permite avaliar de forma integrada a perigosidade sísmica de uma região e as suas consequências sobre os elementos expostos ao fenómeno sísmico, num determinado período de tempo de observação. O risco sísmico é assim uma função da perigosidade sísmica, da vulnerabilidade sísmica e do valor dos elementos em risco (exposição) [Sousa *et al.*, 2007], como a seguir se exprime na expressão 2.2.:

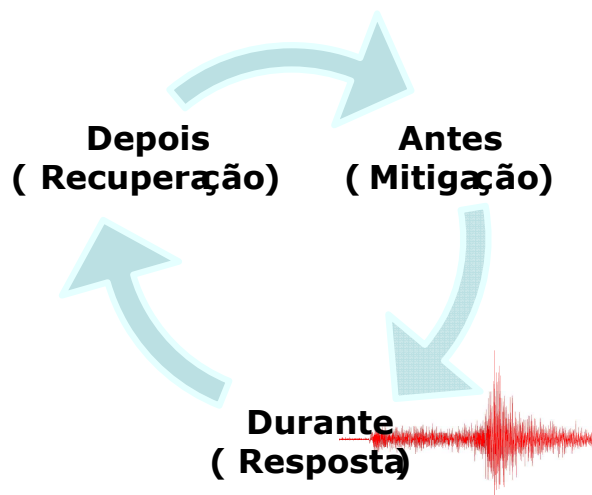
$$\mathbf{Risco} = f(H, V, E) \quad (2.2)$$

#### 2.4. O Ciclo de Gestão da Emergência

A fase de controle no processo de gestão do risco, referida na secção 2.2, inclui entre outras opções a da *mitigação do risco*, que se traduz pela redução da probabilidade das consequências negativas do sismo, ou da extensão das perdas [AS/NZS, 2004].

Os sismos, tais como outros os tipos de desastres naturais desenvolvem-se ao longo do tempo em fases semelhantes, ou seja, é possível identificar um ciclo de emergência à qual se associam uma série de fases de gestão. Estas fases deverão incluir estratégias para mitigar os riscos, (preparar e prevenir), responder face à ocorrência e recuperar após o desastre [Galanti *et al.*, 2006].

Conforme se ilustra na figura 2.2 no ciclo de gestão de emergência é usual identificar três fases, nomeadamente a fase que precede a emergência, «Antes», a fase de gestão da emergência, «Durante», e a fase posterior à emergência, «Depois», que se explicarão de seguida.



**Figura 2.2** – Ciclo de gestão da emergência

É na fase do ciclo de emergência, designada de «Antes» da emergência que desenvolvem actividades de mitigação do risco, nomeadamente a *prevenção* e a *preparação* para a emergência.

No que diz respeito à prevenção, esta refere-se a acções, que uma vez implementadas, permitam a atenuação e/ou eliminação dos efeitos dos desastres, sejam eles de origem natural ou não. Neste âmbito tem-se, por exemplo, a implementação de estratégia tendentes a reduzir a vulnerabilidade dos sistemas construídos, (e.g. parque habitacional, escolar, hospitalar, redes de infra-estruturas, etc.) [Viseu, 2006].

Ao nível da preparação, o objectivo é implementar medidas de planeamento de emergência, de modo a que seja possível responder em conformidade perante a ocorrência de um fenómeno natural. Esta acção implica um esforço contínuo no sentido de melhorar e aumentar os recursos disponíveis para uma resposta mais eficaz. Para além do desenvolvimento de políticas e planos de emergência, a preparação envolve actividades conducentes a aumentar a percepção de profissionais e dos indivíduos em geral para a existência da ameaça sísmica e risco associado [Galanti *et al.*, 2006 e Viseu, 2006].

Em relação à fase designada como «Durante», a mesma corresponde à resposta de emergência, que tem como objectivo principal, minimizar os danos e perdas provocados pelo desastre e facilitar o início da recuperação do

incidente, por intermédio de acções de aviso, evacuação e socorro da população. Desta forma, será nesta fase que se deve proceder à implementação e activação dos planos de emergência, visando a coordenação de esforços por parte das diversas entidades envolvidas no processo, nomeadamente Bombeiros e Serviços de Protecção Civil [Viseu, 2006].

Por fim a fase do ciclo da emergência designada como «Depois» da emergência corresponde à recuperação do desastre, a qual surge como uma fase associada ao apoio da população afectada, que envolve a remoção de destroços, a reconstrução e restabelecimento das infra-estruturas básicas, entre outras [Viseu, 2006]. O período de recuperação após um desastre varia, obviamente, com o grau de destruição provocada pela ocorrência do fenómeno.

No contexto do ciclo da emergência revela-se muitas vezes necessário efectuar uma estimativa das perdas decorrentes de um fenómeno sísmico de modo a apoiar a formulação de decisões, principalmente durante as fases da mitigação e da resposta de emergência.

Essa estimativa de perdas pode ser auxiliado por ferramentas computacionais, como sejam, os simuladores de cenários sísmicos que permitem, a partir das especificação da características de um cenário sísmico de ocorrência, modelar o impacto desse cenário numa determinada região e avaliar as suas consequências, embora com um grau elevado de incerteza.

Na secção seguinte, ilustram-se alguns dos simuladores de cenários sísmicos que existem em Portugal e noutros países.

## **2.5. Simuladores de Cenários Sísmicos**

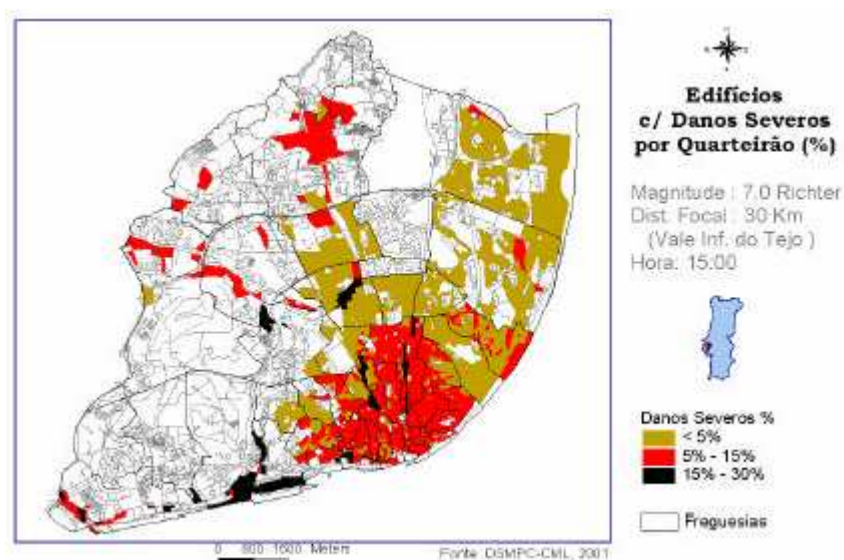
### **2.5.1. Âmbito Nacional**

#### **I. Simulador de Danos Sísmicos da Autoridade Municipal de Protecção Civil de Lisboa**

O Simulador de Danos Sísmicos (SDS) do Serviço Municipal de Protecção Civil e Câmara Municipal de Lisboa (AMPC / CML) foi desenvolvido para ser uma ferramenta de suporte ao planeamento e à gestão da emergência decorrente de um fenómeno sísmico que afecte a cidade de Lisboa. Este simulador

permite modelar os efeitos de diferentes cenários sísmicos nesta cidade [Pais, 2001, Pais, 2004, Pais *et al.*, 1996a e 1996b]. O SDS do AMPC / CML encontra-se integrado num ambiente de Sistema de Informação Geográfica, sob o *software* ArcView GIS comercializado pela ESRI, (utilizando as extensões: *Spatial Analyst* e *Network Analyst*). As funções de cálculo, assim como o mecanismo de funcionamento do sistema foram elaboradas, em *Avenue* (linguagem de programação nativa do ArcView), enquanto que para determinados processos e acções mais específicas, recorreu-se ao *software* ArcInfo.

Após introdução da informação que caracteriza o cenário sísmico, esta ferramenta disponibiliza os resultados da simulação referentes aos danos susceptíveis de ocorrerem perante esse cenário, num formato: alfanumérico (danos no edificado com a desagregação do quarteirão, danos nas redes de abastecimento, mortos, feridos e desalojados), bem como a cartografia da distribuição dos danos. A figura 2.3 ilustra a distribuição geográfica dos danos no edificado na cidade de Lisboa face a um cenário sísmico gerado no Vale Inferior do Tejo, a cerca de 30 km de Lisboa e com uma magnitude de 7,0 na escala de Richter.



**Figura 2.3** – Percentagem de Edifícios com Danos Severos por Quarteirão (Fonte: Pais, 2002)

## **II. Simulador de Risco Sísmico da Área Metropolitana de Lisboa da Autoridade Nacional de Protecção Civil**

A Área Metropolitana de Lisboa (AML), onde existe uma grande concentração de pessoas e bens, é considerada uma das regiões de Portugal Continental de risco sísmico mais elevado [Sousa, 2006]. A história da sismicidade que afectou esta região e o desenvolvimento de alguns estudos e projectos sobre a temática dos sismos, contribuíram para que as autoridades tivessem a percepção adequada para a relevância do problema e fomentassem um conjunto de actividades que visaram aprofundar o conhecimento do risco sísmico da AML e dos municípios de Benavente, Salvaterra de Magos, Cartaxo, Alenquer, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Torres Vedras.

Neste sentido o Serviço Nacional de Protecção Civil (SNPC), actual Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC) patrocinou a realização de um projecto que contou com a participação de diversas entidades, como o Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção do Instituto Superior Técnico (ICIST/IST), o Instituto das Ciências da Terra e do Espaço da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (ICTE/FCUL), o Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa (CEG/UL) e o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), tendo o apoio informático do projecto sido prestado pela Chiron, Sistemas de Informação Lda [Coelho *et al.*, 1999].

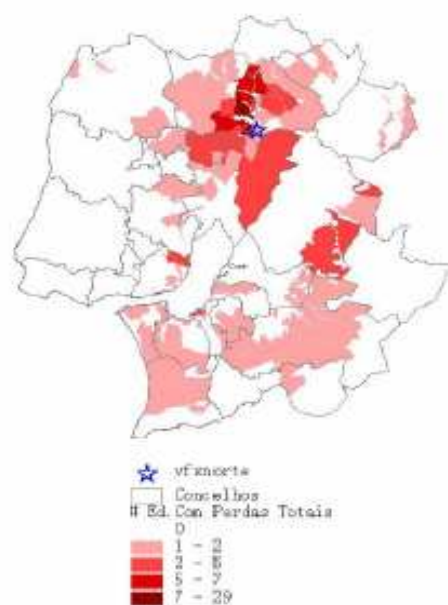
Este projecto tinha como principais objectivos caracterizar a vulnerabilidade e estabelecer os danos em consequência de sismos na AML e nos seus concelhos limítrofes, visando, em última análise, fundamentar cientificamente um Plano Especial de Emergência para o Risco Sísmico (PEERS) desta região [Campos Costa *et al.*, 2004; Carvalho *et al.*, 2002 e Sousa *et al.*, 2004].

No âmbito deste projecto foi desenvolvido um Simulador Sísmico que permite avaliar, na região referida, com alguma celeridade e face a um cenário de ocorrência pré-estabelecido, a severidade da acção sísmica, a liquefacção e deslizamento de terrenos, os efeitos do evento sobre o parque habitacional, redes de abastecimento (água, gás, electricidade e telecomunicações), redes de transportes (viárias e ferroviárias), pontos vitais e as perdas humanas

estabelecidas em termos de mortos, feridos e desalojados para diversos períodos do dia.

Deste modo a concepção do simulador de risco sísmico da Área Metropolitana de Lisboa (AML), é uma ferramenta que permite ilustrar com pormenor os principais aspectos da análise do risco sísmico para a região da AML, o que se torna essencial para a ANPC planear e gerir a emergência. Este simulador permite obter a visualização de diversos elementos, com interesse para a gestão de emergência, tais como, pontos de decisão afectados, vias interrompidas ou áreas que não tenham sido afectadas [Anderson *et al.*, 2004].

De seguida ilustra-se, na figura 2.4, um exemplo dos resultados produzidos pelo simulador sísmico da ANPC, que traduz os danos associados ao edificado habitacional da AML e concelhos limítrofes, para um cenário sísmico com magnitude superior a 6,7 e epicentro localizado na proximidade de Vila Franca de Xira.



**Figura 2.4** – Número de edifícios no estado de dano total para um sismo localizado na proximidade de Vila Franca de Xira (**Fonte: Anderson et al., 2004**)

### III. Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss

A existência de uma ameaça sísmica no território continental, conjugada com a necessidade de avaliar o risco sísmico de Portugal Continental, foram alguns dos motivos, que serviram de justificação para se desenvolver no Laboratório



Nacional de Engenharia Civil (LNEC) um Simulador de Cenários Sísmicos, denominado de LNECloss [Sousa *et al.*, 2006]. Este Simulador possui a capacidade de modelar, em tempo real, numa qualquer região do Continente e do Arquipélago dos Açores, (i) a acção sísmica no substrato rochoso, (ii) os danos estruturais no edificado e pontos vitais, (iii) as perdas humanas e as perdas económicas para um cenário sísmico plausível, seja ele pré-definido ou fornecido pelo utilizador. O Simulador LNECloss tem ainda a capacidade de modelar a acção sísmica à superfície, para a região da AML e concelhos limítrofes e para o distrito do Algarve, ou seja, tem em consideração o efeito dos solos sobre a acção sísmica nestas regiões.

O desenvolvimento do Simulador LNECloss teve a sua génese no projecto de investigação patrocinado pelo Serviço Nacional de Protecção Civil (SNPC), actual Autoridade Nacional de Protecção Civil (ANPC), já referido no ponto anterior desta secção. A participação do LNEC, neste projecto conduziu ao desenvolvimento de um pacote de rotinas, em linguagem de programação científica *FORTRAN 90* para serem integradas no Sistema de Informação Geográfica (SIG) do antigo SNPC. Paralelamente, foi desenvolvido, no LNEC, um SIG visando testar e operar as rotinas desenvolvidas e também beneficiar das vantagens de se encontrarem integradas num Sistema deste tipo, como sejam, as capacidades de armazenamento de informação, visualização e de análise espacial disponibilizadas pelo próprio SIG.

O pacote de rotinas de cálculo foi desenvolvido em *FORTRAN 90* devido à complexidade de algumas delas, à possibilidade de utilização de rotinas do compilador e à rapidez da sua execução. A rotina principal, que invoca cerca de 60 subrotinas, foi compilada como *Dynamic Link Library* (DLL) o que permite a sua invocação dinâmica por qualquer aplicação desenvolvida para plataformas *Windows*, no presente caso o *ArcView GIS 3.2* comercializado pela ESRI. A integração da aplicação externa (DLL) no SIG exigiu o desenvolvimento de rotinas adicionais codificadas em Avenue, que constitui a linguagem de programação orientada por objectos incluída no *ArcView 3.2*.

Nesta fase inicial, o Simulador apenas operava na região da AML e nos seus concelhos limítrofes, com base na informação apurada nos Censos 91 sobre o parque habitacional e os seus habitantes.

Posteriormente, no âmbito de diversos projectos de investigação [Sousa, 2006, Sousa *et al.*, 2006, LESSLOSS, 2007], o Simulador foi sendo actualizado em termos de (i) dados, (ii) âmbito geográfico, (iii) métodos de modelação, (iv) rotinas internas do SIG e (v) aferição dos resultados.

As actualizações mais recentes introduzidas no Simulador decorrem do trabalho desenvolvido na presente tese de mestrado em que se alargou o âmbito geográfico do Simulador do Continente para o Arquipélago dos Açores (capítulo 5) e se efectuou a sua actualização para um ambiente WebSIG, tema que será desenvolvido no capítulo 4.

O Simulador LNECloss encontra-se estruturado de uma forma modular, o que lhe permite uma grande versatilidade em termos de actualização de dados e modelos de simulação. Esta estrutura é então constituída por seis módulos principais: módulo da acção sísmica no substrato rochoso, módulo de acção sísmica à superfície, módulo de danos no edificado, módulo de danos nos pontos vitais, módulo das perdas humanas e o módulo das perdas económicas. Na sua versão mais recente o Simulador LNECloss permite analisar diferentes estratégias de reforço sísmico do parque habitacional, visando otimizar a mitigação do risco. Cada um dos módulos atrás referidos recorre a um conjunto de dados específicos armazenados no SIG. Por exemplo, os elementos em risco, que constituem dados de entrada para os módulos de danos e de perdas humanas, encontram-se armazenados em bases de dados que incluem a informação apurada nos Censos 91 e 2001 sobre o edificado residencial e seus ocupantes com a desagregação geográfica da freguesia. A informação está organizada em função das variáveis relevantes para a caracterização da vulnerabilidade dos elementos em risco e referenciada geograficamente.

Na figura 2.5, ilustra-se a aplicação de um cenário sísmico semelhante ao de 1 de Novembro de 1755, tendo em conta o parque habitacional actual de Portugal Continental e assumindo-se que toda a população se encontrava nas suas residências, isto é, que se está a simular um cenário sísmico que ocorre durante a noite. Os resultados ilustrados incluem os mapas que caracterizam a acção sísmica, os danos no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas.

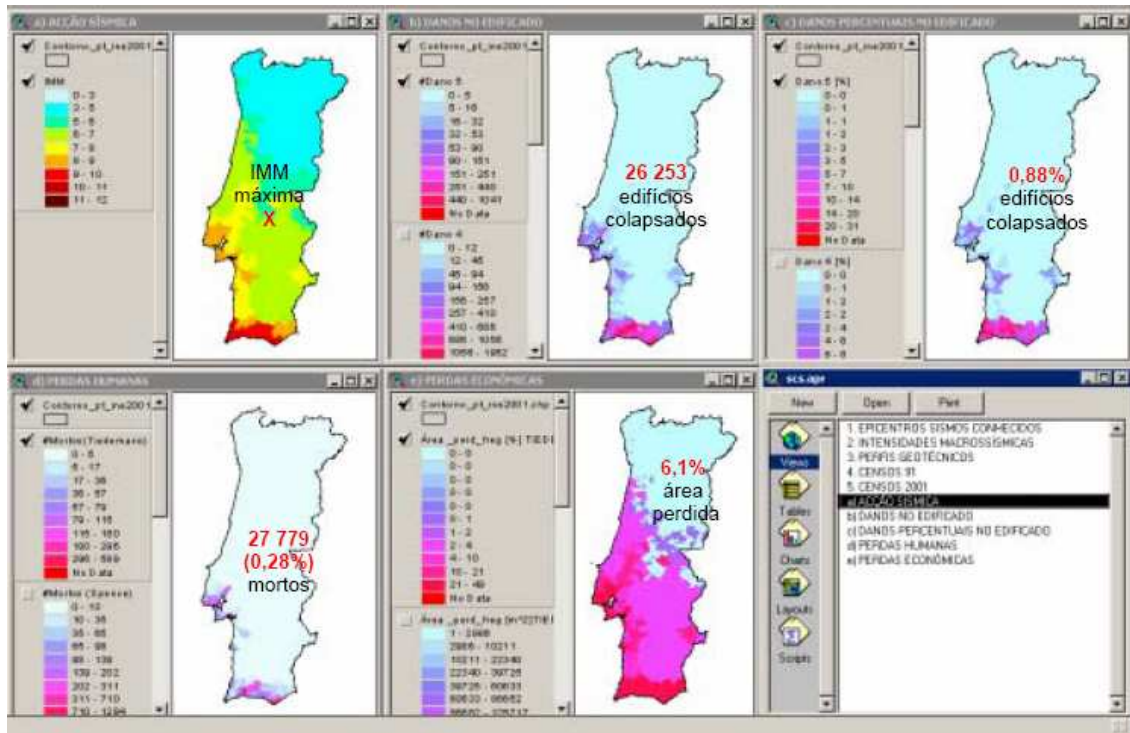


Figura 2.5 – Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, integrado num SIG (Fonte: Sousa et al., 2006)

## 2.5.2. Âmbito Internacional

### I. Simulador de Análise do Risco da *Federal Emergency Management Agency* (FEMA - USA)

A *Federal Emergency Management Agency* (FEMA) em colaboração com o *National Institute of Building Sciences* (NIBS) desenvolveram uma metodologia de avaliação e simulação de perdas e danos resultantes de um fenómeno sísmico que visa estabelecer procedimentos e orientações, a uma escala regional, para fundamentar estratégias de mitigação do risco sísmico e decisões no âmbito do planeamento e gestão de emergência.

Para implementar esta metodologia foi desenvolvida uma ferramenta computacional, devidamente integrada num ambiente SIG, denominada de *HAZards in the United States* (HAZUS) estando principalmente vocacionada para a utilização governamental, a diversos níveis, nos Estados Unidos da América.

Contudo a metodologia desenvolvida pela FEMA e pelo NIBS encontra-se divulgada internacionalmente sendo utilizada por diversas entidades e/ou organizações com responsabilidades ao nível do planeamento e gestão de emergência, por todo o mundo. A metodologia de estimativa de perdas associada, inclui: (1) um sistema de classificação do edificado baseado nas características da vulnerabilidade sísmica do mesmo, (2) a modelação de danos no edificado e nas principais infra-estruturas, (3) a modelação das perdas económicas (directas e indirectas), por exemplo os custos de reparação e reconstrução (4) a modelação das perdas sociais incluindo as estimativas de mortos, feridos e desalojados e dos apoios necessários à população exposta a cenários de catástrofe (abrigos temporários, hospitais de campanha, necessidades de realojamentos, entre outros).

A última versão do *software* HAZUS designa-se por HAZUS-MH (*HAZards in the United States – Multi Hazard*), possuindo módulos, não só para o planeamento e gestão da emergência de fenómenos sísmicos, mas também para outros fenómenos como tornados e inundações. Esta última versão encontra-se associada ao ambiente de SIG, ArcGIS comercializado pela ESRI, embora em versões anteriores, como o HAZUS99, opere em ambientes *ArcView* e *MapInfo*.

A figura 2.6 ilustra uma simulação do de um cenário sísmico produzida pelo HAZUS em que se evidenciam as principais regiões afectadas (*Los Angeles* e *Orange*) do estado da Califórnia, face a um sismo gerado na falha de *Newport-Inglewood* e com uma magnitude de 7,1 na escala de *Richter*.



**Figura 2.6** – Acção sísmica para um cenário que afecte o estado da Califórnia (Fonte: [www.fema.gov](http://www.fema.gov))

## II. Simulador de Cenários Sísmicos KOERLoss (Turquia)

No âmbito do projecto LESSLOSS [LESSLOSS, 2007] e à semelhança do Simulador LNECloss, foram desenvolvidos ou actualizados simuladores de cenários sísmicos por outros parceiros deste projecto. Assim refira-se a existência do simulador KOERLoss, desenvolvido respectivamente pelo *Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute (KOERI)*, da Universidade de Bogaziçi em Istambul, na Turquia.

O principal objectivo do simulador KOERLoss, é avaliar os danos do edificado em zonas urbanas, mais concretamente, na Área Metropolitana de Istambul.

Todos os procedimentos do simulador estão incluídos em *software* de fácil interacção com o utilizador, e que operam através de um Sistema de Informação Geográfica.

Ao longo dos anos, este simulador tem sofrido algumas alterações ao nível das suas versões. A primeira versão deste simulador foi desenvolvida, com recurso ao *software* de SIG, *MapInfo*, posteriormente como resultado do trabalho desenvolvido no âmbito dos projectos Europeus LESSLOSS e NERIES, o simulador foi actualizado para algumas plataformas como o *Excel*, na sua segunda versão e *Matlab*, na terceira versão, mantendo estas uma compatibilidade com o *software* de SIG *MapInfo*. Actualmente está já em desenvolvimento a sua compatibilidade com outro *software* de SIG, como seja o *ArclInfo*.

O simulador KOERLoss, utiliza uma metodologia de estimativa de perdas desenvolvida pelo próprio Instituto que recorre a modelos probabilísticos e determinísticos. [Erdik *et al.* 2003]. Os cálculos da vulnerabilidade poderão ser baseados em modelos estatísticos que têm por base a escala macrossísmica Europeia (EMS-98) ou num método baseado na análise espectral da resposta semelhante ao HAZUS.

Os resultados do simulador incluem as perdas económicas associadas ao parque habitacional que são estimadas com base nos danos no edificado e os custos para os diferentes danos contabilizados ao nível do aglomerado urbano. Na figura 2.7 ilustram-se os resultados de uma simulação mostrando-se a distribuição geográfica do edificado que sofreu danos severos (colapso).

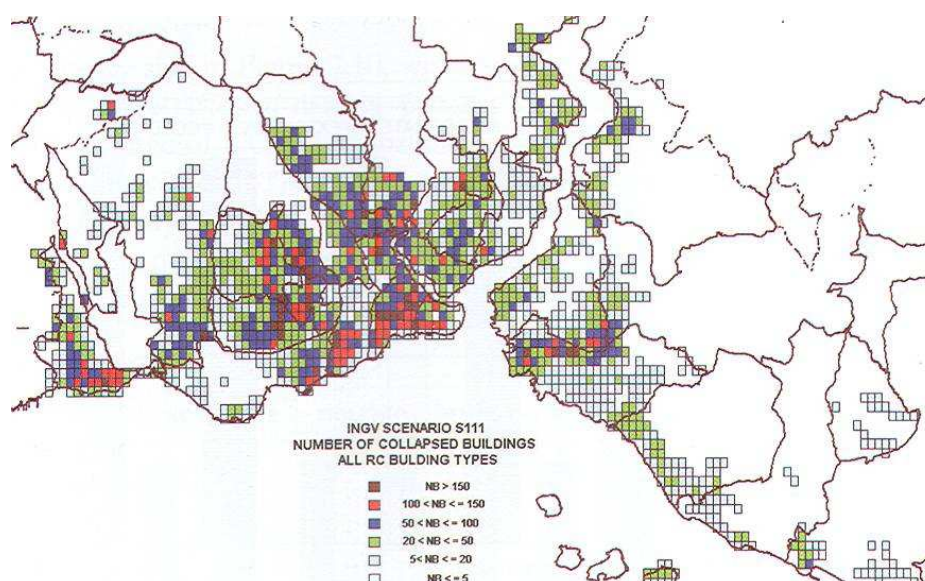


Figura 2.7 – Número total de edifícios que sofreram colapso (Fonte: LESSLOSS, 2007)

## 2.6. Simulador de Cenários Sísmicos na Web - Simulador da Ilha de Taiwan

A título de exemplo, é aqui apresentado um simulador em ambiente WebSIG da ilha de Taiwan, semelhante ao que se pretende desenvolver com base no Simulador LNECloss e que será exposto no capítulo 4.

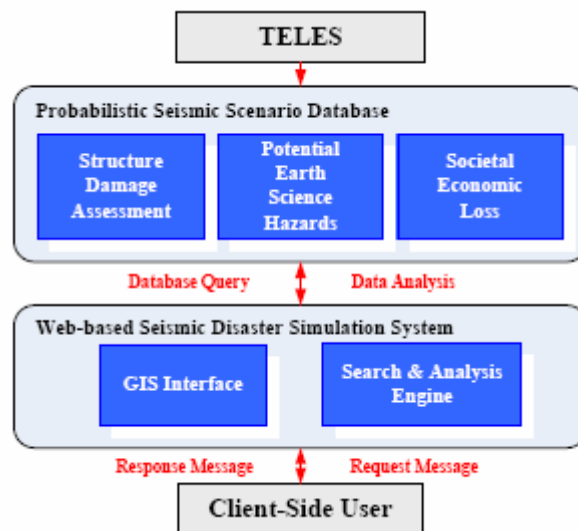
A ilha de Taiwan é caracterizada por se situar numa zona de grande actividade sísmica. Com o objectivo de analisar e gerir o risco sísmico, o Centro Nacional para a Investigação em Engenharia Sísmica (NCREE) desenvolveu esforços no sentido de levar a cabo a construção de um simulador de cenários sísmicos para esta região integrado num Sistema de Informação Geográfica, designado por TELES (*Taiwan Earthquake Loss Estimation System*). O simulador TELES tem por objectivo avaliar a acção sísmica ao nível do substrato rochoso e à superfície, a rotura de falhas à superfície, os danos no edificado e infraestruturas, os impactos sócio-económicos e humanos, entre outros [Lin *et al.*, 2004].

Deste modo, a simulação de cenários sísmicos implementada no TELES, tem por objectivo servir como um complemento para a preparação de planos de mitigação de danos e no estabelecimento de planos de emergência. Este é

capaz de fornecer informação importante para a gestão da resposta de emergência após a ocorrência de fenómenos sísmicos.

No NCREE o simulador foi enquadrado em projectos de investigação o que conduziu a um grande desenvolvimento das tecnologias de simulação de cenários sísmicos e a um investimento em ferramentas de apoio à decisão [Lin *et al.*, 2004].

No contexto da sua actualização para um ambiente WebSIG foram utilizadas ferramentas de desenvolvimento tais como linguagem C# e a tecnologia ASP (*Active Server Pages*) para Web. No que diz respeito ao desenvolvimento da interface utilizaram-se linguagens comuns, como o HTML e o *Javascript* [Lin *et al.*, 2004]. Na figura 2.8 ilustra-se a respectiva arquitectura do Simulador de Cenários Sísmicos TELES em ambiente Web.



**Figura 2.8** - Arquitectura do Simulador TELES em ambiente WebSIG (Fonte: Lin *et al.*, 2003)

Os utilizadores podem aceder a este simulador em ambiente Web de uma forma eficiente e sem instalar qualquer tipo de *software*. Para além da visualização e manipulação dos mapas, disponibilizam-se funções básicas de SIG, como ferramentas de *zoom* e *pan*, a introdução das coordenadas (latitude e longitude) de um epicentro, profundidade do foco e magnitude.

Entre os vários módulos que compõem este simulador, destaca-se o módulo ESLE (*Early Seismic Loss Estimation*) que pode ser imediatamente activado após ter sido recebido um alerta de um sismo. Desta forma, os danos



estimados, são disponibilizados sob a forma de mapas e tabelas, com vista a reduzir os recursos humanos necessários para efectuar essas operações [Lin *et al.*, 2004]. Nas duas figuras 2.9 e 2.10 ilustram-se algumas das interfaces deste simulador.



Figura 2.9 - Interface da escolha do cenário sísmico (Fonte: Lin *et al.*, 2004)

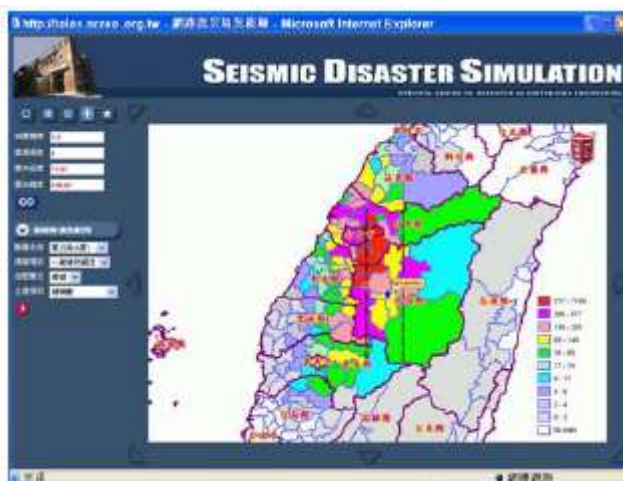


Figura 2.10 - Interface dos danos no edificado (Fonte: Lin *et al.*, 2004)

## 2.7. Considerações Finais

Com este capítulo pretendeu-se abordar a temática afecta ao risco sísmico, expondo alguns dos seus conceitos e terminologias. Neste contexto fica patente que, apesar de já existirem algumas normas e propostas no sentido de



universalizar o conceito de risco, este é um tema que continua a gerar algumas divergências entre diversas entidades. Apresentou-se ainda o processo de gestão do risco e descrevendo-se as respectivas fases.

De seguida abordou-se o ciclo de gestão da emergência, não só na sua ligação a uma das fases do processo de gestão risco (fase de mitigação), como também a utilidade dos simuladores de cenários sísmicos no sentido apoiar o desenvolvimento de estratégias de mitigação do risco (redução da vulnerabilidade ou prevenção) e as decisões relativas ao dimensionamento de recursos para as operações de emergência (preparação).

Neste contexto, foi feita uma alusão a alguns simuladores, de âmbito nacional e internacional, destacando-se o Simulador LNECloss.

Com o objectivo de estabelecer um paralelo com trabalho desenvolvido na presente tese de Mestrado, apresentou-se um exemplo, de nível internacional, de um simulador de cenários sísmicos em ambiente WebSIG.



### 3. DISTRIBUIÇÃO E SERVIÇOS DE SIG NA WEB

#### 3.1. Introdução

Os desenvolvimentos tecnológicos recentes associados à temática da Web, nomeadamente, a existência de recursos mais sofisticados e de uma maior capacidade de processamento e transporte de informação, permitem que a distribuição da informação seja mais interactiva e dinâmica do que no passado recente. Desta forma, existem cada vez mais possibilidades de se criarem condições para que se assista ao desenvolvimento de novos ambientes para a publicação, acesso, exploração e distribuição de Informação Geográfica.

A distribuição de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) na Web, é um processo que permite disponibilizar a Informação Geográfica para inúmeros utilizadores, familiarizados ou não com SIG, acompanhado por um conjunto de funcionalidades e mecanismos de manipulação da informação, de forma a obter resultados similares aos ambientes tradicionais de SIG [Plewe (1997), adaptado de Peng & Tsou (2003); Machado *et al.*, 2002].

Este processo facilita a partilha de dados entre organizações, tais como, entidades administrativas ou agências nacionais e internacionais. Por exemplo, os municípios podem reduzir custos com a obtenção de dados de diferentes entidades públicas e/ou privadas, dado que esta aquisição se processa via sítios da Web (*websites*).

O uso conjunto de dados de SIG por entidades era certamente exequível antes do advento do sistema da Internet, mas a nova tecnologia oferece duas vantagens significativas. Primeiro, os sítios (*sites*) da Internet facilitam a pesquisa de fontes de dados apropriadas. Segundo, os dados partilhados via Web podem ser actualizados mais facilmente do que por qualquer outro meio. Nos casos em que os dados são enviados directamente através da Web para clientes de SIG's, a sua actualização é efectuada de uma forma quase instantânea. Mesmo que os dados sejam provenientes de *sites* que utilizem um ambiente SIG *desktop*, eles podem ser actualizados através de importações (*downloads*) directas por diversos utilizadores.

Dada a especificidade da Informação Geográfica, e as características únicas de um sistema de distribuição e de disponibilização de serviços SIG via Web, este necessita de soluções específicas diferentes daquelas que são utilizadas para outros serviços. Hoje em dia, o utilizador pode ter acesso a estes dados em tempo real sem que exista a necessidade de adquirir programas específicos para esse fim. As ligações são dinâmicas, o que permite utilizar sempre a informação mais recente que se encontra disponível no Servidor.

Neste contexto, identifica-se o interesse e oportunidade de actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para uma plataforma WebSIG pois permitirá a disponibilização deste tipo de informação à sociedade civil e às autoridades e serviços públicos competentes para os quais este tipo de aplicação demonstre relevância e utilidade.

Nas secções que se seguem menciona-se a importância e justifica-se a existência de aplicações SIG na Web. Posteriormente, identificam-se os componentes principais das referidas aplicações, evidenciando-se os principais tipos de arquitectura a este nível. Em seguida elabora-se uma exposição sucinta sobre o *Open Geospatial Consortium* (OGC) e a sua relação com Interoperabilidade em Informação Geográfica. Termina-se este capítulo com breves considerações, sobre alguns serviços SIG que permitem a distribuição da Informação Geográfica na Web de acordo com as especificações do OGC.

### **3.2. Motivos para um SIG em Ambiente Web**

Nas últimas décadas tem se verificado um avanço progressivo ao nível de *software* de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), mas, em contrapartida, também se tem verificado um aumento considerável de informação espacial disponível, donde decorre que ainda existam algumas limitações, principalmente, para disponibilizar e gerir grandes volumes de informação e permitir um acesso mais facilitado a esta.

De acordo com Peng & Tsou [2003], a arquitectura e/ou a concepção da maioria dos SIG tradicionais baseiam-se em sistemas informáticos centralizados e fechados, possuindo algumas restrições devidas principalmente à falta de interoperabilidade e flexibilidade.

Desta forma, uma maioria dos SIG tradicionais tende a ser substituído por ambientes que permitam a distribuição da Informação Geográfica e das funcionalidades que lhe estão associadas, bem como por Sistemas que permitam um acesso mais simplificado e célere dos diversos utilizadores a essa Informação.

Actualmente, a Internet constitui um meio privilegiado para a publicação, manipulação e partilha de um grande volume de Informação Geográfica, tornando-se assim num canal alternativo para a sua disponibilização, divulgação e transmissão, com as vantagens de ser independente da plataforma utilizada e de ser de fácil acesso e utilização [Machado *et al.*, 2002].

A Informação Geográfica e as funcionalidades disponibilizadas pelos SIG passam a estar disponíveis para um mercado de utilizadores tão vasto quanto o número de cidadãos que estiver ligado à Internet. Hoje em dia os utilizadores procuram arquitecturas de SIG mais flexíveis e dinâmicas, o que poderá ser proporcionado por ambientes WebSIG. O objectivo principal de uma aplicação deste tipo é o de poder oferecer aos utilizadores um acesso facilitado e que permita a partilha da informação.

Os motivos para se adoptar uma arquitectura baseada na disponibilização via Web dos conteúdos e serviços de SIG, assim como os maiores desafios e/ou dificuldades que podem advir na sua implementação, estão organizadas em três perspectivas fundamentais: a da Gestão, a do Utilizador e a da Implementação [Peng & Tsou, 2003].

De seguida, focar-se-ão alguns motivos (razões) para a adopção deste tipo de ambientes, segundo as perspectivas da Gestão e do Utilizador, contrapondo com alguns dos problemas que podem existir no seu desenvolvimento, segundo a perspectiva da Implementação.

#### ➤ **Gestão**

Do ponto de vista da gestão existem duas razões principais para a adopção de plataformas WebSIG, que são:

1. A globalização no acesso e na distribuição da Informação Geográfica;
2. A descentralização da Informação Geográfica no que se refere à sua gestão e actualização, pois, devido aos progressos ao nível das técnicas de aquisição de informação, cada vez mais, as aplicações SIG tradicionais se debatem com problemas de sobrecarga no armazenamento dessa mesma informação.

#### ➤ **Utilizador**

Na perspectiva do utilizador a tecnologia WebSIG permite, através de um motor de busca (*browser*) e sem que se possuam conhecimentos exaustivos de SIG, disponibilizar, aceder e manipular a Informação Geográfica na Web usando funcionalidades que normalmente se encontram associadas aos SIG tradicionais, tais como, funções de navegação e pesquisa gráfica e alfanumérica. Deste modo, do ponto de vista do utilizador, existem duas razões principais, que podem evidenciar as vantagens de uma plataforma WebSIG, são elas:

1. O processamento da informação em ambientes WebSIG, pois estes possuem uma maior flexibilidade em lidar com um maior volume e diversidade da informação espacial que vai sendo disponibilizada;
2. A possibilidade de toda a informação que é disponibilizada pelo SIG, poder ser acedida por diversos utilizadores através da Web, vantagem aliás já mencionada na perspectiva da gestão dos WebSIG.

#### ➤ **Implementação**

Da perspectiva da implementação existem três problemas principais na adopção de plataformas WebSIG, são eles:

1. A falta de arquitecturas de alto nível que possam suportar métodos de construção lógicos, isto é, de arquitecturas dinâmicas que facilitem a sua

constante actualização e adaptação, permitindo assim um desenvolvimento sustentável deste tipo de ambientes.

2. O facto dos desenvolvimentos deste tipo de arquitecturas se concentrar maioritariamente em questões de interoperabilidade entre os diversos Conjuntos de Dados Geográficos (CDG), quando a comunidade SIG necessitaria de se concentrar no processamento e nas interacções entre os diversos serviços de Informação Geográfica.
3. Em terceiro, existe o problema da sobrecarga, dimensão e heterogeneidade de informação, que pode afectar e/ou tornar complexa a implementação dos ambientes em rede, como é o caso do ambiente WebSIG.

### **3.3. Estratégias de Implementação de um Ambiente SIG na Web**

#### **3.3.1. Enquadramento**

No contexto da implementação dos SIG na Web, existem fundamentalmente três estratégias principais [Cabral, 2001]:

- Estratégia baseada no Servidor Web (*Server-Side*)
- Estratégia baseada no Cliente (*Client-Side*)
- Estratégia Servidor / Cliente em equilíbrio (*Hybrid*)

Qualquer que seja a estratégia adoptada, o Cliente (interface da aplicação com os utilizadores) elabora os seus pedidos de análise ou de dados a um Servidor Web e recebe os resultados de eventuais processamentos.

#### **3.3.2. Estratégia baseada no Servidor Web**

Neste tipo de estratégia, os pedidos de análise ou de dados elaborados pelo Cliente, são processados pelo Servidor Web que devolve os resultados ao Cliente, onde são visualizados num motor de busca (*browser*) Web (figura 3.1).



**Figura 3.1 – Estratégia Servidor Web**

As vantagens de uma abordagem a este nível são, por exemplo:

- Proporcionar uma grande concentração de dados e programas no Servidor, permitindo assim uma gestão global mais fácil;
- Caso se esteja perante um Servidor “robusto”, o seu tempo de resposta a um pedido efectuado por um Cliente pode ser bastante curto.

No que diz respeito às desvantagens, tem-se:

- Neste tipo de estratégia, existe a necessidade de que todos os pedidos sejam dirigidos ao Servidor, processados e novamente devolvidos ao Cliente, o que pode gerar um aumento de trocas de informação;
- O desempenho da aplicação pode ser afectada pela largura de banda nas comunicações via Web.

### **3.3.3. Estratégia baseada no Cliente**

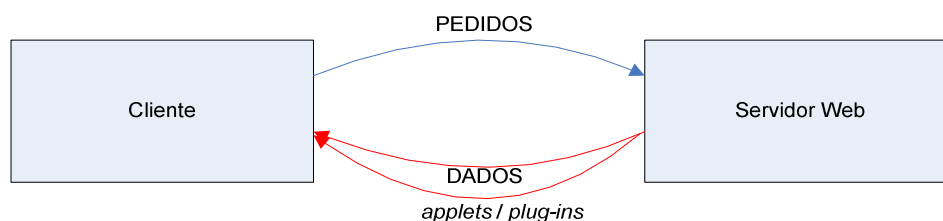
A filosofia desta estratégia é a de permitir que os Clientes possam processar parte da informação constante de um pedido, de análise ou dados, a um Servidor Web. Nesta estratégia, ao invés do Servidor Web processar o pedido de uma forma global, este encapsula alguma informação (por exemplo, algumas componentes do SIG), que é então apresentada no Cliente, por meio de *plug-ins*<sup>1</sup> ou *applets*<sup>2</sup>, e processada no computador deste (figura 3.2).

---

<sup>1</sup> *Plug-ins* consistem em programas desenvolvidos em diversas linguagens de programação, e que permitem embeber no motor de busca (*browser*), para além de novas funcionalidades, o suporte para novos formatos de dados.

<sup>2</sup> *Applets* consistem em aplicações, concebidas em diversas linguagens (por exemplo, *Java applets*), e que podem ser incluídos em páginas HTML de forma a conferir algum grau de interactividade a aplicações Web que não podem ser geradas pelo HTML. São geralmente





**Figura 3.2 – Estratégia Cliente**

As vantagens de uma abordagem a este nível são, por exemplo:

- Controlo dos dados por parte do utilizador;
- Redução dos pedidos ao Servidor via Web.

No que diz respeito às desvantagens, tem-se:

- O envio através da Web de grandes quantidades de dados;
- A possível falta de capacidade de processamento dos computadores, por parte do Cliente;

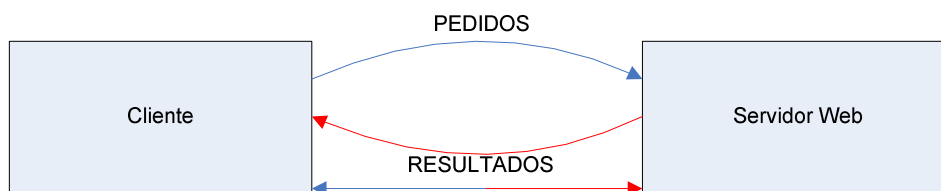
#### **3.3.4. Estratégia baseada em Equilíbrio Cliente / Servidor Web**

Esta última estratégia combina as características das estratégias anteriores, baseadas no Cliente e no Servidor Web, otimizando o desempenho e respondendo às necessidades específicas dos utilizadores.

Uma vez que o Cliente tenha efectuado os seus pedidos de análise ou de dados a um Servidor Web, este processa o pedido e devolve a informação, embora se mantenha a interacção entre Servidor Web e o Cliente durante a transferência de dados (figura 3.3).

---

executados, em motores de busca (*browsers*), podendo ou não possuir uma interface própria [SDN, 2007].



**Figura 3.3 - Estratégia em Equilíbrio**

Como exemplo, as operações mais complexas de análise espacial podem ser executadas no Servidor Web e as operações que envolvem controlo dos dados podem ser executadas pelo Cliente.

Todas estas estratégias implicam diferentes situações de equilíbrio entre o Servidor Web e o Cliente. O quadro 3.1 expõe um resumo das estratégias de implementação apresentadas anteriormente.

**Quadro 3.1 - Resumo das estratégias de implementação de um ambiente WebSIG (Fonte: adaptado de Cabral, 2001)**

	<b>Servidor Web</b>	<b>Cliente</b>	<b>Equilíbrio</b>
<b>Operações do Servidor</b>	Navegação Pesquisa Análise Desenho de Mapas	Pesquisa Análise Desenho de Mapas	Análise Desenho de Mapas
<b>Formato de transferência de dados</b>	Mapa <i>raster</i>	Mapa vectorial	Mapa <i>raster</i> / vectorial
<b>Operações do Cliente</b>	Visualização	Visualização Navegação Pesquisa	Visualização Navegação Pesquisas

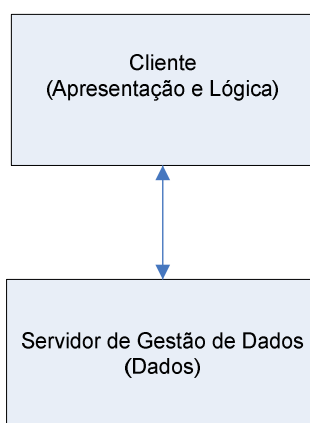
### 3.4. Arquitectura dos SIG na Web

#### 3.4.1. Arquitectura Cliente / Servidor

A arquitectura de um sistema consiste basicamente num modelo descritivo das suas diferentes componentes e da forma como as mesmas se organizam e comunicam entre si [Charneca & Silva, 2003].

A arquitectura Cliente/Servidor é a arquitectura clássica da generalidade dos sistemas de informação (Web ou *desktop*), consistindo fundamentalmente num modelo simples que, na prática, é uma descrição de uma realidade mais complexa. Originalmente a arquitectura Cliente/Servidor é denominada de arquitectura duas camadas (*two-tier*), em que os termos Cliente (apresentação e lógica) e Servidor (acesso aos dados) representam as duas camadas ou níveis existentes. Entende-se por camada (*tier*), como algo que se traduz num determinado componente que desempenha uma determinada função e que é geralmente definida por uma interface ou, de uma forma mais genérica, por uma especificação (funções, dados e protocolos de acesso às funcionalidades) [Charneca & Silva, 2003].

Na figura 3.4 é ilustrado este tipo de arquitectura.

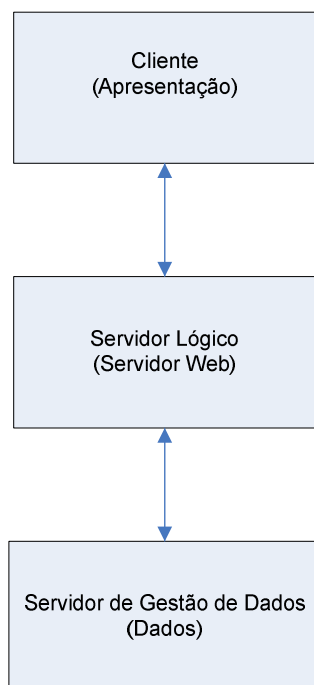


**Figura 3.4** – Arquitectura de duas camadas (*two-tier*)

Uma das vantagens da arquitectura de duas camadas é a de permitir que vários utilizadores acedam aos mesmos dados simultaneamente. No entanto, este tipo de arquitectura pode ter alguns problemas devidos, principalmente, à

hipótese de existir um número de Clientes excessivo a aceder ao Servidor, o que causará um deficiente desempenho da aplicação.

Estes factores levaram para que se evoluísse para uma arquitectura de três ou mais camadas (*three-tier* ou *n-tier*). Neste modelo (figura 3.5) acrescenta-se uma camada intermédia entre o Cliente e o Servidor de Dados, que fica residente num ou em mais Servidores e que se encarrega de executar as tarefas de comunicação entre o Servidor de Dados e o Cliente da aplicação. As componentes deste tipo de arquitectura serão detalhadas na secção seguinte, na perspectiva de integração dos SIG na Web.



**Figura 3.5** – Arquitectura de três camadas (*three-tier*)

Este tipo de arquitectura apresenta algumas vantagens, tais como:

1. O Cliente acede à informação sem ter necessidade de saber quantos Servidores de dados existem, ou seja, em relação ao modelo anterior a componente lógica deixa de estar ao nível do Cliente, o que permite uma maior flexibilidade e melhor gestão dos fluxos de dados;

2. O tráfego entre o Cliente o Servidor Lógico, pode ser minimizado, uma vez que se transmite para a camada Cliente apenas o necessário, ou seja, a resposta a um pedido;
3. As ligações com o Servidor de dados podem ser partilhadas.

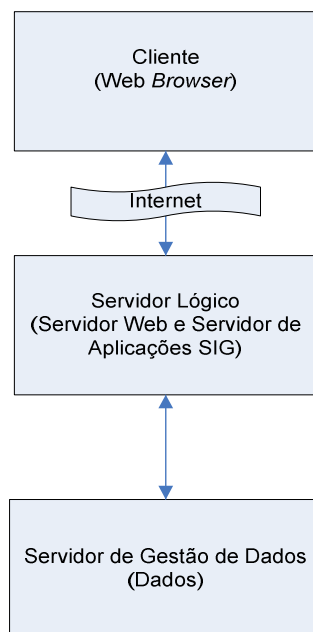
#### **3.4.2. Componentes Principais de um SIG na Web**

A disponibilização dos SIG através da Web possui uma arquitectura muito própria. Quando se trata de SIG em ambiente Web, segue-se geralmente o modelo de arquitectura Cliente/Servidor de três ou mais camadas (*three-tier* ou *n-tier*) [Peng & Tsou, 2003].

Este modelo é então composto por três componentes principais: Cliente, Servidor Lógico (Servidor Web, Servidor de Aplicações SIG) e Servidor de Gestão de Dados, tal como já foi ilustrado na figura 3.5.

Neste tipo de estrutura, a aplicação Cliente recebe as solicitações do utilizador por intermédio de uma interface e efectua um pedido ao Servidor. O Servidor Web recebe o pedido do Cliente e encaminha esse pedido ao Servidor de Aplicações SIG. Este mesmo Servidor interpreta o pedido e solicita o conjunto de dados geográficos necessários e gera um mapa como resposta. O Servidor Web acede ao mapa gerado e devolve-o como resposta ao Cliente.

A sequência das componentes SIG em Web é ilustrada na figura 3.6, sendo as mesmas descritas posteriormente com maior detalhe.



**Figura 3.6** – Arquitectura três camadas (*three-tier*) aplicada aos SIG na Web

## I. Cliente

O Cliente é a componente que funciona como uma interface entre a aplicação e os diversos utilizadores, possibilitando a sua interacção com o conjunto de dados geográficos e as respectivas funções de análise. Esta componente recebe os pedidos dos utilizadores e permite visualizar os resultados das operações efectuadas em aplicações WebSIG. A grande maioria das interfaces de aplicações SIG na Web, baseiam-se em HTML (*Hyper Text Markup Language*) e em formulários, e designando-se de Cliente simples (*Thin Web Client*) em aplicações Web [Peng & Tsou, 2003].

As dificuldades que surgem com este tipo de Clientes decorrem das interfaces serem estáticas, ou então de possuírem uma interactividade muito limitada, tornando-se inadequadas para utilizadores que pretendam interagir com a informação disponibilizada.

De modo a aumentar as possibilidades de interacção entre os utilizadores e a informação, foram desenvolvidos os Clientes interactivos (*Thick Web Clients*). Estes Clientes incluem a linguagem HTML de uma forma dinâmica e outras aplicações baseadas no Cliente (*Client-side*), como por exemplo, *plug-ins*, *applets*, entre outros. O HTML dinâmico é normalmente gerado com recurso a

linguagens, denominadas de *scripting*, como o *Javascript* ou *VBScript* [Peng & Tsou, 2003].

## **II. Servidor Lógico (Servidor Web e Servidor de Aplicações SIG)**

A segunda componente dos SIG na Internet abrange o Servidor Web e o Servidor de Aplicações SIG.

O Servidor Web é também designado Servidor HTTP (*Hyper Text Transfer Protocol*) e a sua principal função é dar resposta aos pedidos efectuados pelo Cliente. Existem várias formas do Servidor Web responder aos pedidos que recebe, como por exemplo:

1. Através do envio para o Cliente de um documento HTML existente ou de imagens de mapas já elaboradas;
2. Através do envio para o Cliente de *applets* ou outro tipo de controladores;
3. Enviando os pedidos efectuados pelo Cliente para outros programas que os possam processar.

Quando o Servidor Web envia pedidos para outros programas, está a encaminhar serviços para o Servidor de Aplicações SIG. Este consiste fundamentalmente num programa que conecta com o Servidor Web e com o Servidor de mapas, ou seja, comporta-se como um tradutor entre o Servidor Web e o Servidor de Mapas.

As suas principais funções incluem:

1. Estabelecimento, manutenção e finalização da ligação entre o Servidor Web e o Servidor de Mapas;
2. Interpretação dos pedidos do Cliente e o seu envio ao Servidor de Mapas;
3. Gestão da confluência de vários pedidos e das transferências entre o Servidor de mapas e de dados;
4. Gestão do estado das transferências, das transacções e da segurança;

5. Disponibilização de funções SIG tradicionais ou serviços incluindo consultas e extracção de dados, análise espacial, geocodificação, construção e devolução dos mapas baseado no pedido do Cliente, entre outros.

### **III. Servidor de Gestão de Dados**

O Servidor de Gestão de Dados, encarrega-se de gerir os acessos ao Servidor Lógico, permitindo receber, processar e devolver os pedidos efectuados por este.

#### **3.5. O *Open Geospatial Consortium* (OGC) e a Interoperabilidade**

##### **3.5.1. *Open Geospatial Consortium***

Os progressos dos SIG na Web têm revelado na sua maioria uma concepção muito orientada pela tecnologia, com uma estrutura específica de base de dados, arquitectura e formatos, o que dificulta o seu subsequente desenvolvimento. Desta forma, com visando o desenvolvimento de especificações para a integração e posterior processamento da informação, e para permitir a sua utilização de uma forma mais aberta e sem obstáculos em relação ao tipo de suporte utilizado, foi criado o *Open Geospatial Consortium* (OGC).

Na perspectiva do OGC, os produtos e serviços que se adaptarem às suas especificações irão permitir aos utilizadores uma troca livre de informação independentemente do seu formato [OGC, 2007].

O *Open Geospatial Consortium* (OGC), criado em 1994 e inicialmente denominado, de *OpenGIS Consortium*, é um organismo internacional sem fins lucrativos e que conta com a participação de mais de 330 membros que representam as principais organizações ligadas à indústria da Informação Geográfica, como sejam, universidades, instituições governamentais e privadas, produtores de informação e *software*). Os membros deste consórcio colaboram na promoção, desenvolvimento e implementação de especificações, visando a normalização e interoperabilidade dos conteúdos e serviços na área da Informação Geográfica [OGC, 2007].



Este organismo tem como principal missão, «conduzir ao desenvolvimento global, à disseminação e à compatibilização de padrões abertos e arquitecturas que viabilizem a integração de dados geográficos e serviços com as mais diversas aplicações» [OpenGEO, 2007].

Actualmente, o termo **OpenGIS®** é uma marca registada que faz referência às diversas especificações do consórcio.

Nesse mesmo ano (1994), a Organização Internacional para a Normalização (ISO - *International Organization for Standardization*) criou o Comité Técnico 211 (ISO/TC211) para tratar da interoperabilidade dos dados geográficos. A ISO/TC 211 é assim o comité técnico da *International Organization for Standardization* (ISO), responsável pelo conjunto de padrões ISO relacionados com a Informação Geográfica e que tem, de uma maneira geral, os mesmos objectivos do OGC [Matos, 2002].

Através do quadro 3.2 percebe-se que o foco do consórcio OGC está centrado na infra-estrutura computacional e de engenharia de suporte à interoperabilidade desejada da Informação Geográfica e serviços relacionados, sobre as mais diversas redes, computadores, sistemas operativos e linguagens de programação. Este quadro ilustra que o OGC é desenvolvido em articulação com o trabalho do comité ISO/TC 211.

**Quadro 3.2 – Contextualização das preocupações do OGC (Fonte: Silva, 2001)**

Preocupações	ISO/TC 211	OGC
Informação		
Computacional		
Engenharia		

De acordo com *Buehler e Mckee* (1998) [adaptado de Furtado (2006); OGC (2007)], os objectivos estratégicos do consórcio OGC centram-se:

- a. Numa assimilação rápida do mercado relativamente à interoperabilidade entre as aplicações de processamento de Informação Geográfica, envolvendo a colaboração de produtores e utilizadores;
- b. No envolvimento da comunidade de Informação Geográfica no desenvolvimento de especificações para a interoperabilidade e na produção de oferta de produtos interoperacionais certificados;
- c. Na criação e estabelecimento de *normas*, ao nível global, que permitam a sincronização do conteúdo e serviços relacionados com Informação Geográfica com as normas das tecnologias de informação, processamento distribuído e arquitectura de componentes;
- d. Na promoção de um espaço que incentive o desenvolvimento de arquitecturas relacionadas com o processamento distribuído.

A grande maioria das especificações do OGC são baseadas numa arquitectura generalizada recolhida num conjunto de documentos colectivamente denominados de, *especificações abstractas*, que descrevem um modelo básico de dados para representar as diferentes entidades geográficas. Dado que o consórcio OGC efectuou um grande investimento na resolução de problemas de interoperabilidade dos Sistemas de Informação Geográfica, existe um grande número de especificações, que foram desenvolvidas nesse sentido [OGC, 2007].

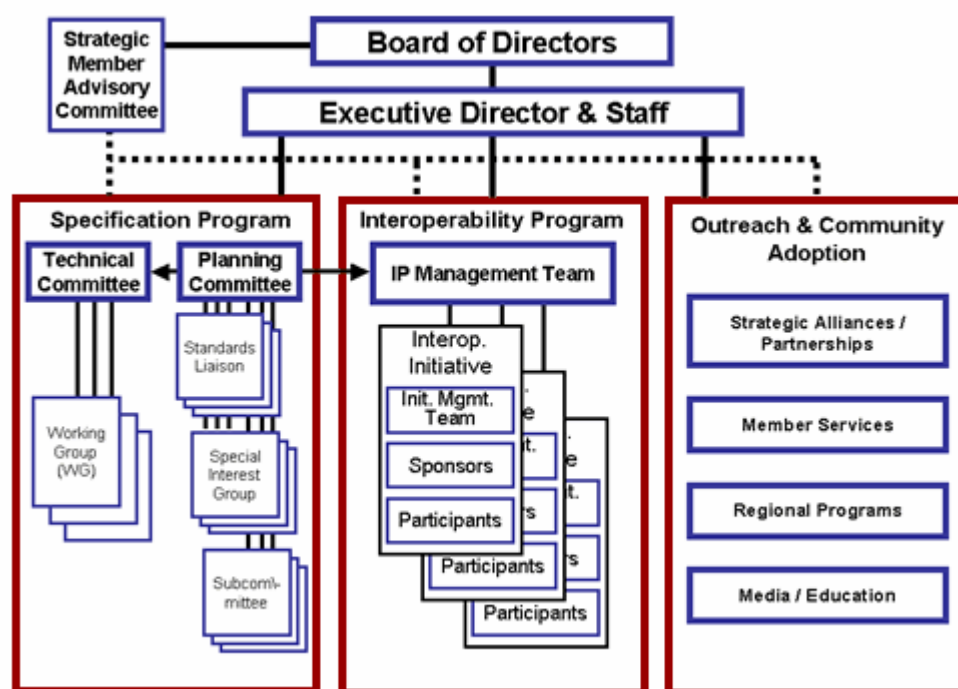
Dentro das várias especificações do OGC existentes, destacam-se as seguintes:

- **WMS** - *Web Map Service*
- **WFS** - *Web Feature Service*
- **WCS** - *Web Coverage Service*
- **WPS** - *Web Processing Service*
- **CAT** - *Web Catalog Service*
- **SFS** - *Simple Features - SQL*
- **GML** - *Geography Markup Language*

O OGC possui um documento denominado de Modelo de Referência *OpenGIS®* (ORM). Este documento possui uma descrição detalhada de uma arquitectura para o desenvolvimento de trabalhos para o OGC, seguindo os seus princípios de normalização e focando as relações entre as diversas especificações [Percivall, 2003].

O OGC estabelece as suas actividades em três programas principais (figura 3.7):

1. Programa de Especificações;
2. Programa de Interoperabilidade;
3. Programa de Divulgação e Adopção de Especificações.



**Figura 3.7** – Estrutura organizacional do *Open Geospatial Consortium*  
(Fonte: <http://www.opengeospatial.org>)

O programa de Especificações é composto pelos comités técnico e de planeamento, onde se produzem vários documentos, numa base consensual. Estes comités têm por objectivo produzir Ao nível global, especificações para serem aprovadas pelo consórcio.

O programa de Interoperabilidade está ligado ao anterior através do comité de planeamento e concentra a sua actividade em componentes informáticas de

modo a acelerar a adopção das especificações produzidas. A especificação **WMS** é uma das quais que se destaca neste programa.

Por último, o programa de Divulgação e Adopção de Especificações, tem por objectivo a criação e partilha de diversas iniciativas ligadas à adopção de especificações, através de publicações, *workshops*, seminários e conferências.

### **3.5.2. Interoperabilidade**

A interoperabilidade, pode ser entendida como uma propriedade que se refere à capacidade de diversos sistemas e organizações trabalharem em conjunto (interoperar).

De acordo com Rocha [2005], a interoperabilidade corresponde à capacidade de comunicar, executar programas em diferentes unidades funcionais sem existir a preocupação, por parte do utilizador, com as características específicas de cada uma dessas unidades.

A interoperabilidade pode também ser definida como uma partilha eficiente de troca de informação e de processos entre vários sistemas, em ambientes computacionais heterogéneos, distribuídos e autónomos, aliada a uma possibilidade de comunicação entre os diferentes Sistemas de Informação [Medeiros, 2001].

A interoperabilidade em Sistemas de Informação Geográfica é cada vez mais importante, devido ao aumento do número e do volume das fontes de dados disponíveis e ao grande crescimento de novos sistemas e aplicações.

Rocha [2005] evidencia o desempenho que o *Open Geospatial Consortium* tem tido no sentido de criar e congregar esforços entre os vários parceiros para promover a interoperabilidade na área dos SIG.

No entanto, existem alguns problemas que reflectem a ausência de interoperabilidade na Informação Geográfica, dos quais se destacam:

1. A falta de integração entre partes do mesmo Conjunto de Dados Geográficos (CDG);
2. A falta de interligação entre CDG desenvolvidos para diferentes aplicações sectoriais;

3. A falta de interligação entre CDG associados a modelos de dados distintos (*raster* vs *vectorial*);
4. A impossibilidade de conciliar ou sobrepor CDG provenientes de diferentes fontes ou de diferentes processos.

A ênfase da interoperabilidade em SIG, faz com que exista uma maior preocupação nas áreas que envolvem integração de dados ou normalização dos mesmos, do que em aspectos relacionados com a tecnologia que é utilizada. Desta forma, podem identificar-se três tipos de abordagem principais:

1. Modelação dos dados;
2. Integração;
3. Padrões e Metadados.

A Modelação dos dados permite e facilita a partilha de informação a um nível semântico.

A Integração tenta conciliar aspectos de modelos e de processamento.

Os Padrões (*standards*) visam estabelecer formatos e regras de armazenamento que permitam que os dados possam ser partilhados. Do mesmo modo, os Metadados fornecem uma descrição dos dados armazenados ao mesmo tempo que facilitam a criação de consultas e permitem estabelecer correlações de dados a um nível mais abstracto.

### **3.6. Serviços Web**

#### **3.6.1. Enquadramento**

Quando a Internet se globalizou, em meados dos anos 90, as tecnologias presentes na altura permitiam a conexão a um sítio (*site*) e a realização de importações (*downloads*) do respectivo conteúdo, sendo o HTML (*Hyper Text Markup Language*) a linguagem que permitia a apresentação da informação presente na rede.

Porém, nos últimos anos, surgiram novas tecnologias e arquitecturas de desenvolvimento, permitindo uma maior integração entre os diversos serviços disponíveis na Web. Este novo modelo cuida de tarefas complexas, como a gestão de transacções, através da disponibilização de serviços que utilizem interfaces de acesso simples e bem definidas. Esses serviços distribuídos são denominados como Serviços Web. Esta tecnologia permite que uma aplicação aceda a um ou mais Serviços Web, enviando perguntas e recebendo de volta as respostas ou os resultados de cálculos.

Os Serviços Web são identificados por um URI<sup>3</sup> (*Unique Resource Identifier*) e são utilizados para disponibilizar serviços interactivos na Web, que podem ser acedidos por outras aplicações. Desta forma, e de modo a facilitar a partilha e disponibilização da Informação Geográfica, os Serviços Web descrevem uma forma normalizada de integrar as aplicações Web utilizando para o efeito, linguagens padrão, como, XML<sup>4</sup>, GML<sup>5</sup>, SOAP<sup>6</sup>, WSDL<sup>7</sup> e UDDI<sup>8</sup>.

### 3.6.2. Arquitectura dos Serviços Web

Os Serviços Web envolvem vários protocolos e várias linguagens, processadas por várias camadas de *software*. Por esta razão, ao invés de uma especificação, os Serviços Web são definidos através da sua arquitectura. A

---

<sup>3</sup> URIs são endereços utilizados para identificar recursos na web, como páginas, serviços, documentos, imagens, arquivos, caixas de e-mail, entre muitos outros [W3C, 2003].

<sup>4</sup> O XML é uma linguagem padronizada pelo *World Wide Web Consortium* (W3C). Esta linguagem é constituída, por um formato de texto muito simples e flexível para a manipulação e transmissão de dados na Web. A mesma foi criada para descrever e caracterizar dados, podendo ser encarado como um formato universal para partilha de dados entre aplicações [W3C, 2003].

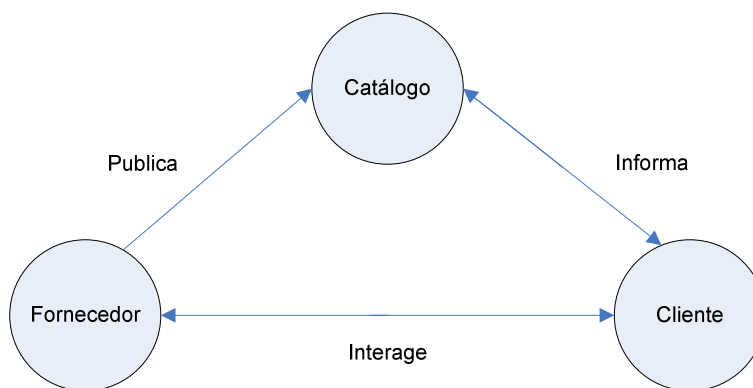
<sup>5</sup> O GML é uma linguagem baseada em XML, mas vocacionada para a descrição e modelação da Informação Geográfica e que foi desenvolvida pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC). O GML é um formato independente, que permite transferir e armazenar informação vectorial e os respectivos atributos através da Web [GIS Lounge, 2005].

<sup>6</sup> O SOAP é uma norma baseada em XML, para troca de informações num ambiente distribuído e que permite a comunicação entre dois programas [Gunzer, 2002].

<sup>7</sup> O WSDL (*Web Service Definition Language*) descreve os Serviços Web por intermédio da linguagem XML, disponibilizando informações sobre o serviço, para que possam ser utilizadas de uma forma automatizada [Gunzer, 2002].

<sup>8</sup> A UDDI (*Universal Description, Discover and Integration*) está definida em XML e corresponde a um serviço para publicar e localizar Serviços Web [Gunzer, 2002].

arquitectura que aqui é apresentada (figura 3.8) constitui uma visão simplificada dos Serviços Web e esquematiza a interacção entre os seus três elementos principais: Fornecedor, Cliente e Catálogo.



**Figura 3.8 – Arquitectura dos Serviços Web (Fonte: adaptado de Araújo, 2005)**

Cada um dos três elementos possui as seguintes funções [Araújo, 2005; Furtado, 2006]:

- O Fornecedor cria e disponibiliza o serviço no formato normalizado e informa o Catálogo acerca da existência desse novo serviço;
- O Cliente é a aplicação que usufrui do serviço. Consulta o Catálogo à procura do serviço pretendido e, depois de o encontrar, pode requerê-lo directamente ao Fornecedor;
- No Catálogo regista-se a descrição e classificação dos serviços tendo a capacidade de fornecer ao Cliente essa descrição e a localização dos mesmos.

Esta arquitectura descreve um conjunto de operações na utilização dos Serviços Web: Publicação, Informação e Interacção; cada operação necessita de normas para que o serviço possa ser utilizado por uma outra qualquer aplicação independentemente da plataforma sobre a qual está a ser executado [Kreger, 2001 adaptado de Furtado, 2006].

A Publicação consiste no processo através do qual o Fornecedor do Serviço Web indica a existência do serviço, o qual efectua o registo no Catálogo.

A Informação diz respeito ao processo, através da qual o Cliente, ao efectuar uma determinada pesquisa no Catálogo, toma conhecimento da existência serviço que pretende.

A Interação é o processo no qual o Cliente e o Fornecedor interagem utilizando os detalhes obtidos na descrição do serviço.

Os Serviços Web suportam as especificações de implementação *Web Map Service (WMS)*, *Web Feature Service (WFS)* e *Web Coverage Service (WCS)* do *Open Geospatial Consortium (OGC)*, conforme se descreve de forma mais detalhada na secção seguinte.

### 3.6.3. Serviços Web de Implementação do OGC

Os Serviços Web preconizados pelo *Open Geospatial Consortium (OGC)*, pretendem uniformizar interfaces relativas a todo o género de serviços, aplicações e dados, para que os mesmos possam ser utilizados em ambiente Web. A figura 3.9 ilustra esta visão e apresenta a discriminação de alguns destes serviços.

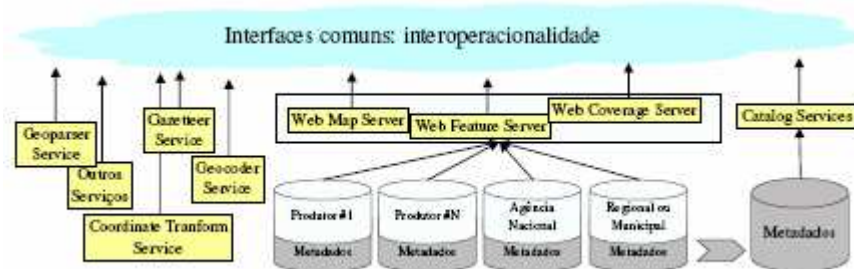


Figura 3.9 – Arquitectura dos serviços de implementação do OGC (Fonte: Rocha, 2005)

O estado de desenvolvimento de cada um deles depende bastante do interesse demonstrado pelos membros no seu desenvolvimento, que, por sua vez, irá reflectir os interesses comerciais subjacentes. Estes serviços possuem duas



perspectivas: a do Cliente que requer o serviço e a do Fornecedor do serviço, que tem de criar toda uma infra-estrutura necessária à sua disponibilização.

Este conjunto de serviços de implementação é composto por três tipos de serviços principais: *Web Map Service* (WMS), *Web Feature Service* (WFS) e o *Web Coverage Service* (WCS).

#### **I. *Web Map Service* (WMS)**

A especificação de implementação WMS, do *Open Geospatial Consortium*, define a forma e produção de mapas georeferenciados a partir de diversas fontes de dados distribuídas e heterogéneas na Web, ou seja, define um vocabulário comum para a inquirição e o transporte de ficheiros gráficos contínuos (*raster*) através do serviço Web.

Com esta especificação pretende normalizar-se a forma como os utilizadores devem requisitar mapas a Servidores de mapas e o modo como estes devem descrever e devolver mapas.

A especificação WMS define o mapa não como a informação propriamente dita, mas como sendo uma representação visual da Informação Geográfica em formato *raster* (PNG, GIF, JPEG, ...), ou em formatos vectoriais como o *Scalable Vector Graphics* (SVG) ou *Web Computer Graphics Metafile* (WebCGM).

A última versão do WMS data de 15 de Março de 2006 (v.1.3.0), e contempla a integração com outras especificações do OGC, tais como o WFS (*Web Feature Service*) e o WCS (*Web Coverage Service*).

Como suporte para a criação e visualização de mapas, e/ou sobreposição dos mesmos, em várias camadas de informação a especificação WMS do *Open Geospatial Consortium* define três operações principais:

- *GetCapabilities*
- *GetMap*

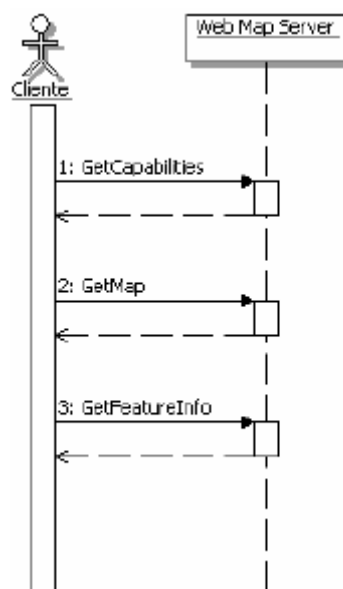
- *GetFeatureInfo*

A operação *GetCapabilities* é responsável por adquirir e fornecer informação para a aplicação Cliente sobre o tipo de serviços que um Servidor permite disponibilizar.

A operação *GetMap* é responsável por fornecer os serviços de acordo com os parâmetros especificados.

A operação *GetFeatureInfo* é responsável por adquirir e disponibilizar informação sobre as entidades geográficas apresentadas pelos mapas.

Estas operações são esquematizadas na figura 3.10.



**Figura 3.10** – Operações disponibilizadas pelo WMS (Fonte: Araújo, 2005)

Quando existe uma implementação da especificação WMS ao nível do *software* do Servidor de Mapas, qualquer utilizador pode aceder aos serviços, através da aplicação Cliente, combiná-los (sobrepô-los) e efectuar consultas (*queries*) sobre informação disponibilizada por um qualquer Servidor.

A aplicação Cliente, como já referido anteriormente, consiste no interface que permite processar os pedidos dos utilizadores e visualizar os diversos serviços. A mesma baseia-se em páginas HTML (podendo implementar aplicações Java

ou outras), geradas dinamicamente num browser Web, que comunicam com o Servidor de mapas através do protocolo HTTP.

Na comunicação entre a aplicação Cliente e o Servidor de Mapas são utilizadas as três operações referidas anteriormente: *GetCapabilities*, *GetMap* e *GetFeatureInfo*.

## II. *Web Feature Service (WFS)*

A especificação de implementação WFS, do *Open Geospatial Consortium*, permite ao Cliente, através de um ambiente Web, inquirir e obter como resposta informação vectorial. O WFS fornece operações de manipulação, inserção, actualização, remoção e consulta de Informação Geográfica, que na sua grande maioria é disponibilizada aos utilizadores utilizando a codificação em *Geography Markup Language (GML)*. O formato *Shapefile (.shp)* também é utilizado na disponibilização de informação ao Cliente.

A última versão do WFS data de 03 de Maio de 2005 (v.1.1.0).

O processamento das operações de manipulação dos dados, e consulta num WFS são efectuados pelas seguintes operações:

- *GetCapabilities*
- *Describe Feature Type*
- *GetFeature*
- *Transation*
- *LockFeature*

A operação *GetCapabilities* é responsável por adquirir e fornecer informação para a aplicação Cliente sobre o tipo de serviços que um dado Servidor pode disponibilizar.

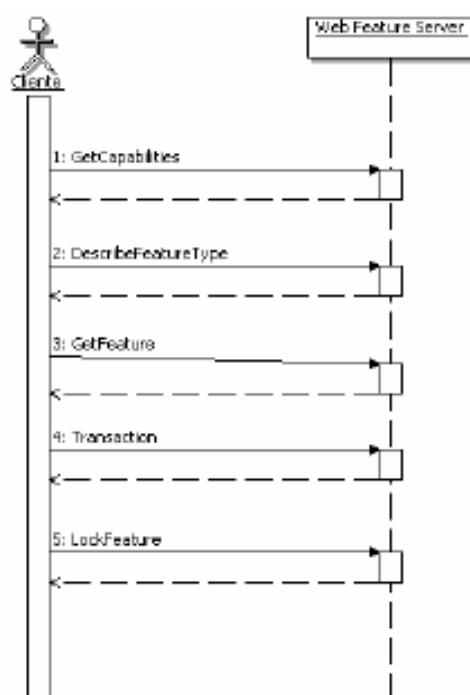
A operação *Describe Feature Type* permite descrever a estrutura de cada entidade disponibilizada.

*GetFeature* é a operação que fornece a Informação Geográfica pretendida em GML, podendo indicar o tipo de informação e a zona geográfica.

*Transation* é a operação que permite modificar a informação através das operações de inserção, remoção e actualização.

A operação *LockFeature* permite bloquear uma ou várias entidades durante uma transacção.

Estas operações são esquematizadas na figura 3.11.



**Figura 3.11** – Operações disponibilizadas pelo WFS (Fonte: Araújo, 2005)

Através das operações referidas anteriormente, a especificação WFS, pode ser implementada de duas formas:

- *Basic WFS* implementa apenas as operações *GetCapabilities*, *Describe Feature Type* e *GetFeature*, às quais correspondem as operações de consulta da informação;
- *Transactional WFS* implementa as operações da versão Basic WFS, e acrescenta as operações de *LockFeature* e *Transaction*, que

correspondem às operações de inserção, remoção e modificação da Informação Geográfica.

### III. *Web Coverage Service (WCS)*

A especificação de implementação WCS, do *Open Geospatial Consortium*, tem por objectivo principal a obtenção e troca de informações sob a forma de *coverages*, isto é, Informação Geográfica representada por fenómenos de variação contínua (*raster*).

O WCS devolve informação espacial contínua (*raster*), o que possibilita o acesso a descrição de informação detalhada, permitindo assim a sua utilização em modelos científicos complexos, dado que as informações podem ser interpretadas, e não só retratadas, como no WMS.

A última versão do WCS (v. 1.1.0) data de 17 de Outubro de 2006 (v.1.1.0).

Nesta especificação são implementadas três operações:

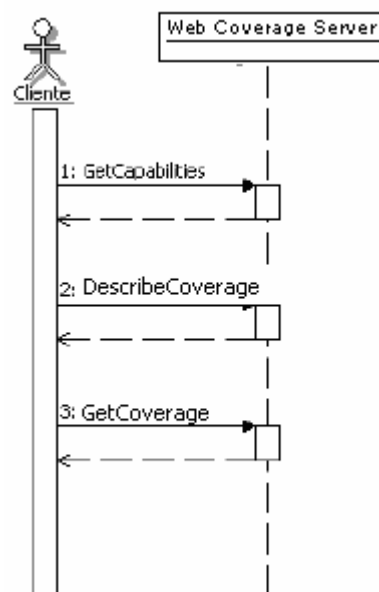
- *GetCapabilities*
- *DescribeCoverage*
- *GetCoverage*

A operação *GetCapabilities* é responsável por adquirir e fornecer informação para a aplicação Cliente sobre o tipo de serviços que um Servidor permite disponibilizar.

A operação *DescribeCoverage* devolve uma descrição de uma ou mais *coverages*. A operação responde através de uma descrição detalhada, na forma de um documento XML, sobre todas as *coverages* existentes. Esta operação mostra-se bastante relevante, pois permite ao utilizador aperceber-se da informação contida numa *coverage* antes de se proceder à sua importação.

A operação *GetCoverage*, apresenta o resultado da *coverage* especificada.

Estas operações são esquematizadas na figura 3.12.



**Figura 3.12** – Operações disponibilizadas pelo WCS (Fonte: adaptado de Araújo, 2005)

### 3.7. Considerações Finais

Com este capítulo pretendeu tecer-se algumas considerações sobre os SIG em ambiente Web, nomeadamente alguns motivos e estratégias para a sua implementação e arquitecturas utilizadas. Pretendeu-se ainda reter algumas das limitações da implementação deste tipo de tecnologia, principalmente ao nível da sobrecarga de informação que estas aplicações podem provocar em ambientes de rede.

No que diz respeito à interoperabilidade em Informação Geográfica a adopção de normas, protocolos e formatos normalizados contribui decisivamente para a sua divulgação a uma escala global, levando à adopção dos mesmos. Além disso, a interoperabilidade promove a partilha de Informação Geográfica com total liberdade, sem que esta esteja necessariamente indexada a uma determinada tecnologia dos SIG.

O grande desafio das aplicações SIG na Web, está na criação de aplicações que sejam independentes dos ambientes em que operam, e que funcionem em qualquer computador que esteja ligado em rede.

## **4. SIMULADOR DE CENÁRIOS SÍSMICOS (LNECLOSS) NA WEB**

### **4.1. Introdução**

A adaptação do Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss a um ambiente WebSIG, tem como objectivo principal proporcionar a diversos utilizadores, uma aplicação Web que simule os efeitos de um cenário sísmico que ocorra em qualquer freguesia de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores e que, tal como foi referido na Introdução, seja de fácil utilização possuindo um carácter autónomo, ou seja, que não necessite de alguma plataforma de Informação Geográfica, tendo no entanto as capacidades de um SIG no que respeita ao mapeamento e à síntese gráfica e tabular dos efeitos de um cenário sísmico.

Neste contexto, pretende-se que a disponibilização ao nível Web do Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss, possua uma capacidade interactiva para a visualização dos resultados de modelação de cenários sísmicos, em que o utilizador apenas necessita de especificar as características do cenário de ocorrência pretendido e as opções de modelação, tendo como retorno o conhecimento do seu impacto desse cenário numa determinada região e a avaliação das suas consequências.

Deste modo as entidades competentes, através de um acesso célere, poderão consultar este tipo de informação utilizando operações genéricas de interacção e visualização sem incorrerem nos custos inerentes à utilização de uma plataforma de ambiente SIG.

Neste capítulo pretende-se, fundamentalmente, descrever os diversos procedimentos que foram levados a cabo para o desenvolvimento e implementação do serviço Web de visualização do Simulador de Cenários Sísmicos (LNECloss). Na próxima secção abordam-se os principais requisitos que uma aplicação deste género deve ser capaz de cumprir. De seguida, aborda-se a arquitectura de implementação do Simulador. Finalmente expõem-se as diversas camadas de apresentação de modelação e visualização do Simulador na Web.

#### **4.2. Requisitos Funcionais de um Simulador de Cenários Sísmicos**

O desenvolvimento de um simulador cenários sísmicos deverá ter em conta os requisitos funcionais que permitam satisfazer as necessidades e objectivos das entidades potencialmente interessadas nesta ferramenta.

Um simulador de cenários é um instrumento importante para auxiliar a criação de comunidades mais seguras e menos vulneráveis a desastres naturais, ajudando a promover uma percepção abrangente das perdas potenciais em consequência de sismos e fomentando a prevenção e mitigação das consequências destes desastres [FEMA & NIBS, 1999].

Como já foi referido na secção 2.1 um simulador de cenários sísmicos pode apoiar o desenvolvimento de estratégias de mitigação do risco (redução da vulnerabilidade ou prevenção) e as decisões relativas ao dimensionamento de recursos para as operações de emergência (preparação), mas também pode ser utilizado na gestão da emergência, pois conhecida a magnitude e a localização do sismo, tem a capacidade de simular, em tempo real, os efeitos do fenómeno, permitindo identificar a dimensão aproximada do desastre e optimizar as operações de socorro.

A Protecção Civil é a entidade sobre a qual recai a responsabilidade de planear e gerir a emergência, ou seja, sempre que possível, prevenir os efeitos adversos de desastres naturais de onde possam advir riscos colectivos. Assim deverá ter a capacidade de preparar uma resposta rápida e adequada de forma a minimizar esses efeitos e socorrer pessoas e bens que se encontrem em perigo, sempre que ocorram tais fenómenos [Galanti *et al*, 2006].

No sentido de adequar os requisitos funcionais de um simulador às necessidades da Protecção Civil foi solicitada uma entrevista com representantes do Serviço Municipal de Protecção Civil de Lisboa, ocorrida no dia 10 de Agosto de 2007, que sustentaram a importância de um simulador desta natureza, seja ou não em ambiente Web, para o planeamento e gestão da emergência. Segundo o SMPCL, após a ocorrência do evento sísmico o simulador não deve ser acessível ao cidadão comum, nomeadamente no que



diz respeito aos níveis de alerta, mas deverá apenas ser acedido pelas entidades competentes e com autoridade para o efeito.

Como resultado dos contactos estabelecidos e após pesquisa da bibliografia internacional conclui-se que os requisitos funcionais que um simulador de cenários sísmicos deverá conter são:

1. Rapidez na produção de cenários que incluam a informação necessária para o planeamento e gestão da emergência (dimensão aproximada do desastre no que toca aos efeitos do sismo sobre a natureza, avaliação dos danos no edificado e infra-estruturas, mortos, feridos e desalojados, entre outros).
2. Estar integrado num Sistema de Informação Geográfica, possibilitando o reconhecimento das regiões que sofreram maior ou menor impacto do evento, através de ferramentas de análise espacial desse Sistema.
3. Ser facilmente actualizado em termos de modelos de simulação e dados, e no limite, incorporar a actualização em tempo real dos efeitos do fenómeno sísmico.
4. Possuir uma interface intuitiva, de fácil utilização, provida de informação de suporte e auxílio e com mecanismos de protecção face a opções inverosímeis (por exemplo à introdução de cenários sísmicos irrealistas). No caso dos simuladores em ambiente WebSIG este requisito é ainda mais relevante.

Para além dos requisitos referidos anteriormente, válidos para um simulador de fenómenos naturais, existem requisitos gerais que devem ser tidos em conta na construção de interfaces em aplicações Web. Note-se que alguns destes requisitos gerais já enquadram os atrás mencionados; são eles, a Acessibilidade, a Simplicidade, a Interactividade e a Flexibilidade [Cabral, 2001]:

1. Ao nível da Acessibilidade as interfaces deverão permitir que qualquer utilizador, estando ou não afecto à temática em causa, as possam utilizar intuitivamente.
2. No que concerne à Simplicidade, esta permite reduzir o número de operações que um utilizador deve efectuar.

3. Quanto à Interactividade, possibilita que a comunicação entre o utilizador e a aplicação se efectue de uma forma eficiente.

4. No que diz respeito, à Flexibilidade, possibilita que o utilizador recupere de situações não intencionais.

#### **4.3. Arquitectura do Simulador LNECloss na Web**

A especificação de uma aplicação Web tem influência na sua implementação, nomeadamente no que respeita à sua arquitectura. A arquitectura global da aplicação LNECloss na Web obedece, de um modo geral, ao modelo de arquitectura em três camadas (*three-tier*) baseado em Cliente/Servidor, tendo-se adoptado uma estratégia de implementação do ambiente WebSIG baseada num Servidor Web (*Server-Side*). Como já foi referido no capítulo 3, o modelo de três camadas (*three-tier*), permite distribuir a complexidade de um modelo de duas camadas (*two-tier*) em três níveis. Em virtude da adopção desta arquitectura, destacam-se as seguintes componentes da aplicação LNECloss: Cliente, Servidor Lógico (Servidor Web e Servidor de Aplicações SIG) e Repositório de Dados. De seguida, descrevem-se estas componentes, particularizando-as para a implementação do Simulador na Web.

Em relação à componente Cliente, pressupõem-se a criação de diversas interfaces, que possibilitem a interacção do utilizador com o conjunto de dados geográficos, a partir das quais irão comunicar com o Servidor Web. As interfaces têm por objectivo a introdução das características do cenário de ocorrência e as opções de modelação dos seus efeitos, que são necessários à execução do Simulador (implementado em *FORTRAN 90*) e que condicionam a posterior visualização dos resultados dessa execução. As mesmas são estruturadas a partir de um conjunto de formulários adaptados a cada um dos módulos do Simulador e disponibilizadas através de um conjunto de hiperligações com diferentes funcionalidades. As interfaces foram implementadas utilizando as tecnologias, HTML (*Hyper Text Markup Language*), JSP (*Java Server Pages*) [ver Anexo B.2.1.], *Javascript* [ver Anexo B.2.2.].

Relativamente ao Servidor Lógico, recorreu-se a um servidor Web, o Apache Tomcat, que é um servidor de código aberto que utiliza tecnologia *Java*. A sua

principal função é estabelecer uma comunicação (relação de pedido e resposta) com o Cliente, processando os pedidos que são efectuados pelo mesmo. Em relação ao Servidor de Aplicações SIG, recorreu-se à tecnologia ArcIMS™ (desenvolvida e comercializada pela ESRI®), que constitui uma plataforma de serviço de informação espacial que interpreta dados geográficos, permitindo a sua disponibilização na Web. Desta forma, este servidor compreende fundamentalmente o ArcIMS *Application Connector* e o ArcIMS *Spatial Server*. O *Application Connector*, permite a conexão com o Servidor Web assim como com o *Spatial Server*, comportando-se como um meio de comunicação entre ambos, traduzindo os pedidos dos clientes e as respectivas respostas originárias do servidor de mapas, através da linguagem ArcXML<sup>9</sup>. No caso concreto da aplicação LNECloss foi utilizado o *Java Connector* para garantir as necessárias trocas de informação espacial.

Finalmente, no que à componente de Repositório de Dados diz respeito, optou-se por um Sistema de Ficheiros (SF) em detrimento de um Sistema Gestor de Base de Dados. A ligação entre o SF e o Servidor é efectuada a partir de um protocolo JDBC<sup>10</sup> que permite consultas SQL e outro tipo de operações, tendo-se desta forma criado uma “base de dados” de ficheiros de texto.

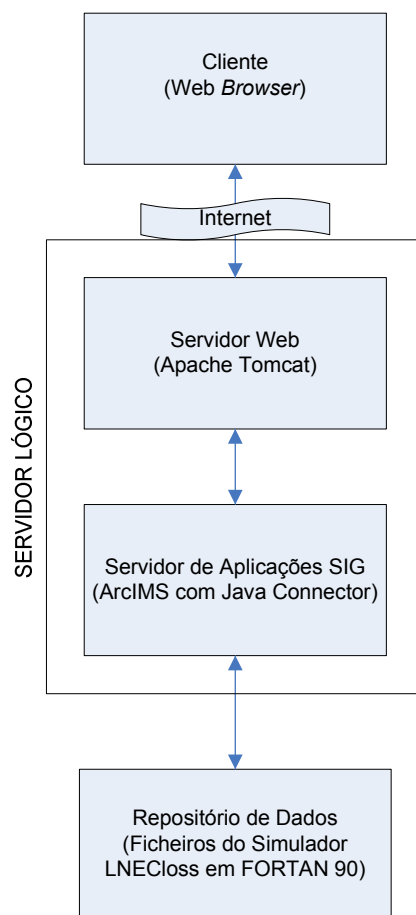
A razão pela qual se possui um SF em detrimento de um SGBD, decorre de, no presente caso, os dados alfanuméricos não serem conhecidos à priori, resultando estes da execução do Simulador (implementado em *FORTTRAN 90*) após o Cliente ter efectuado um pedido ao Servidor Web. Por outro lado, dado que não existe necessidade de que os dados gerados sejam armazenados num SGBD, manteve-se um SF, em que o Servidor efectua as operações sobre as tabelas e as reencaminha para o Servidor de Aplicações SIG, que disponibilizará os mapas respectivos.

---

<sup>9</sup> O ArcXML é a linguagem utilizada para a comunicação entre a camada cliente e a camada servidor do ArcIMS. O ArcXML é uma especificação de XML que possibilita a criação de mensagens estruturadas. Todos os pedidos efectuados pelos clientes, bem como as respostas enviadas pelos servidores, são codificadas em ArcXML [ESRI, 2006].

<sup>10</sup> *Java Database Connectivity* (JDBC) é um conjunto de classes e interfaces escritas em Java que efectua o envio de instruções SQL para uma determinada base de dados relacional [SDN, 2007].

De seguida ilustra-se, na figura 4.1, o modelo de arquitectura em três camadas adoptada para o Simulador LNECloss em ambiente WebSIG.



**Figura 4.1** – Arquitectura de três camadas adoptada para o Simulador LNECloss em ambiente WebSIG

Deste modo, pode afirmar-se que a arquitectura *three-tier* aqui implementada não corresponde à forma mais natural e comum de utilização deste modelo de três camadas, dado que os dados não se encontram armazenados nem são acedidos a partir de um Sistema Gestor de Base de Dados (SGBD) propriamente dito.

Em função das diferentes componentes, que servem de suporte, a esta arquitectura e ao desenvolvimento do Simulador em ambiente WebSIG é necessário ter conhecimento dos principais utilizadores que nela participam. Desta forma, procedeu-se à identificação dos diversos utilizadores do

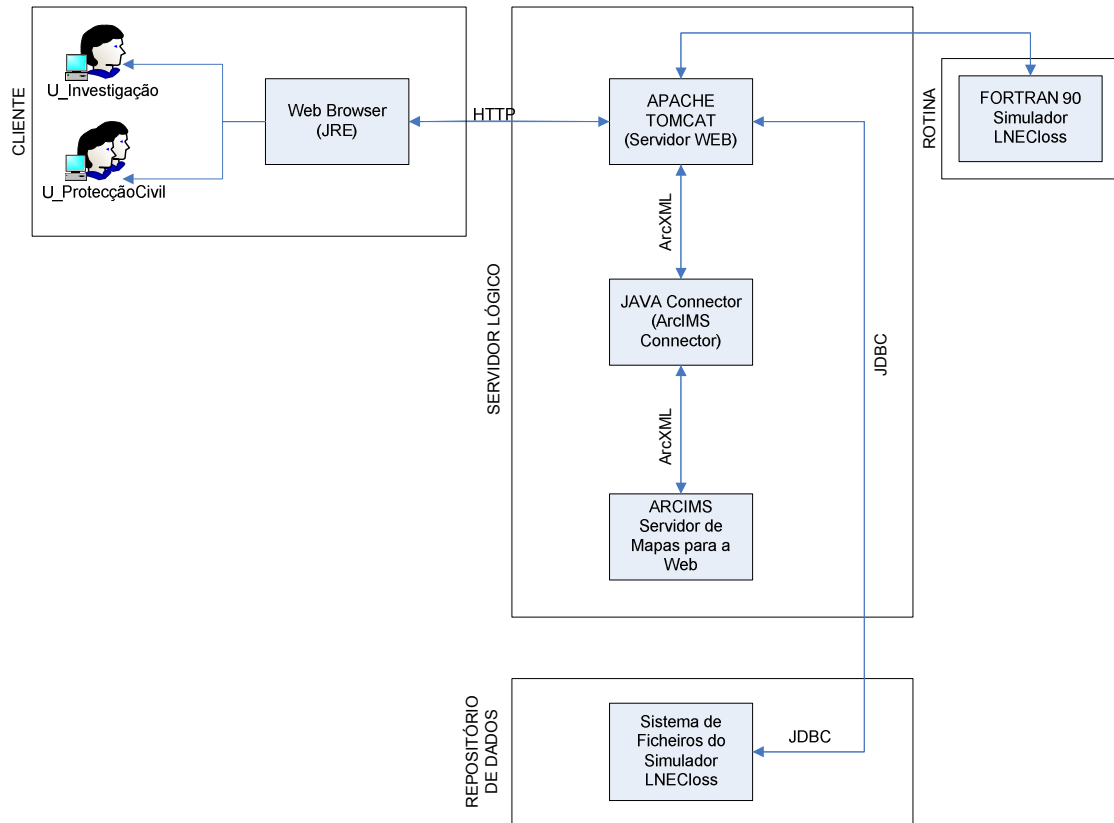
Simulador LNECloss na Web, os quais foram classificados em dois grupos relevantes:

1. O grupo correspondente aos Utilizadores dos Serviços de Protecção Civil, ao nível municipal e nacional (U\_ProtecçãoCivil);
2. O grupo correspondente aos Utilizadores de Investigação (U\_Investigação);

Os U\_ProtecçãoCivil, correspondem ao grupo de utilizadores do Simulador que podem utilizá-lo para o planeamento e gestão de emergência correspondendo aos serviços de Protecção Civil, quer ao nível nacional quer municipal. São utilizadores que recorrem ao Simulador para conhecer os efeitos de cenários sísmicos numa determinada região. Deste modo, estes utilizadores têm acesso à execução da aplicação para obtenção de resultados e sua visualização, podendo sugerir eventuais alterações.

Os U\_Investigação, integram os utilizadores que para além de utilizarem o Simulador na produção de cenários sísmicos, também intervêm ao nível do desenvolvimento da aplicação que poderão não só executá-la, como também intervir ao nível dos seus parâmetros internos, dados, modelos, interfaces, entre outros. Neste grupo de actores poder-se-ão integrar outros utilizadores que recorram ao Simulador para apoiar o desenvolvimento de estratégias de mitigação do risco (redução da vulnerabilidade ou prevenção) e que por isso intervenham ao nível de especificação de cenários sísmicos para diferentes vulnerabilidades do parque habitacional.

A figura 4.2 ilustra, de uma forma mais detalhada, a arquitectura global da aplicação, que obedece ao modelo das três camadas (*three-tier*).



**Figura 4.2 -** Arquitectura da aplicação LNECloss em WebSIG

Em resumo a arquitectura da aplicação está organizada da seguinte forma:

O Cliente, recorrendo a um *browser* Web, acede à aplicação através das diversas interfaces (JSP e HTML), escolhendo de entre as diversas opções de modelação do cenário sísmico, a que correspondem os serviços de apresentação. Desta forma, é efectuado um pedido ao Servidor Lógico. A este nível existem o Servidor de Aplicações Web e SIG, correspondentes à camada de serviços de aplicações. O Servidor Web (*Apache Tomcat*) recebe o pedido do Cliente, executa as rotinas do Simulador (implementadas em *FORTRAN 90*), que originam resultados em função das opções de modelação escolhidas e efectua as manipulações sobre os resultados obtidos e encaminha esse pedido ao Servidor de Aplicações SIG (ArcIMS – servidor de mapas da ESRI). O mesmo interpreta o pedido (através do ArcXML), solicita o conjunto de dados geográficos necessários e gera um mapa como resposta. O Servidor Web acede ao mapa gerado e devolve-o como resposta ao Cliente.

#### **4.4. Desenvolvimento e Implementação das Camadas de Apresentação do Simulador LNECloss em ambiente WebSIG**

##### **4.4.1. Enquadramento**

O Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss, como já foi referido no capítulo 2, é constituído por um conjunto de rotinas desenvolvidas na linguagem de programação *FORTRAN 90*, e encontra-se integrado num Sistema de Informação Geográfica, o que faz com que se constitua como uma ferramenta privilegiada para modelar a acção sísmica (no substracto rochoso e à superfície), os danos no edificado, as perdas humanas e as perdas económicas para um determinado cenário sísmico de ocorrência especificado [Sousa, 2006]. A unidade elementar de análise do Simulador é a freguesia, podendo operar em qualquer região de Portugal Continental. Mais recentemente, no âmbito do projecto USuET [Sousa e Afonso, 2008], o domínio geográfico de aplicação foi alargado ao Arquipélago dos Açores.

Com esta actualização e tendo em conta os requisitos funcionais referidos na secção 4.2, pretendeu desenvolver-se o acesso remoto ao Simulador LNECloss, utilizando, para tal, tecnologias que possibilitem o desenvolvimento deste serviço via Web.

A actualização do Simulador LNECloss, para um ambiente WebSIG foi concebida e desenvolvida, sobre uma plataforma Linux (*Red Hat Enterprise v. 5.0*) e desenvolvida através da tecnologia, *Java™* (linguagem de programação disponível em regime de código aberto). Como foi referido na secção 4.3 que abordou a arquitectura do Simulador LNECloss, a implementação da arquitectura pressupõe alguns componentes de *software*, com sejam, o *ArcIMS™* (servidor de mapas da ESRI) ao nível do Servidor de Aplicações SIG e o *Apache Tomcat* (desenvolvido sob o *Jakarta Project* na *Apache Software Foundation*) ao nível de Servidor Web.

A opção por um sistema operativo Linux deveu-se ao facto de este ser um sistema operativo estável e por se terem reunido as melhores condições para a sua concretização. No que diz respeito à linguagem de programação, a opção de utilização da tecnologia *Java™* resultou desta ser uma linguagem independente do sistema operativo, o que permite alguma portabilidade para a

aplicação. A utilização desta tecnologia possui um grande interesse pelas funcionalidades que possui ao nível da implementação de uma aplicação na Web, como por exemplo, a autenticação de utilizadores, o acesso a bases de dados, entre outros.

Desta forma, nas secções seguintes (4.4.2 a 4.4.4) expõe-se o modo de implementação, desenvolvimento e as funcionalidades das camadas de apresentação.

#### **4.4.2. Camada de Apresentação de Modelação**

O Simulador LNECloss, em virtude da sua estrutura modular, possui uma grande versatilidade em termos de actualização de dados e modelos de simulação. Essa estrutura é então constituída por seis módulos principais: módulo da acção sísmica no substrato rochoso, módulo de acção sísmica à superfície, módulo de danos no edificado, módulo de danos nos pontos vitais, módulo das perdas humanas e o módulo das perdas económicas. Cada um destes módulos recorre a um conjunto de dados específicos.

Ao nível dos dados de entrada do Simulador, existem duas categorias:

1. os dados internos ao Simulador incluídos em cada módulo;
2. os dados fornecidos pelo utilizador, através de diversas interfaces desenvolvidas para o efeito.

De seguida discriminar-se-ão os dados internos ao Simulador LNECloss incluídos em cada módulo, cujos detalhes podem ser encontrados em Sousa (2006).

Em relação ao módulo da acção sísmica no substrato rochoso, os dados englobam as características de cenários sísmicos predefinidos (cenário de 1531, 1755, 1858, 1909 e 1969 do Continente e 1980 e 1998 do Arquipélago dos Açores), como a magnitude, o hipocentro e o instante de ocorrência.

No que diz respeito ao módulo de acção sísmica à superfície, este é composto por duas bases de dados. Uma base de dados de intensidades macrossísmicas relativa a diversos fenómenos sísmicos, em que se armazena



a respectiva acção sísmica estimada para cada uma das freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores e uma outra base de dados que armazena um conjunto de parâmetros de índole geotécnica, necessários para a caracterização de perfis geotécnicos. Estes perfis são utilizados para simular as alterações na acção sísmica à superfície induzidas pela existência de formações superficiais [Carvalho *et al.*, 2002].

Uma base de dados com os quantitativos habitacionais (edifícios e alojamentos) constitui os dados internos do módulo de danos no edificado. Estes dados incluem a informação apurada nos Censos 91 e 2001 para todas as freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores sobre o edificado residencial, discriminados pelos factores de vulnerabilidade identificados nos Censos.

À semelhança do módulo anterior, o módulo de perdas humanas, dispõe de uma base de dados com os quantitativos populacionais, apurados igualmente nos Censos 91 e 2001 para todas as freguesias de Portugal Continental e do Arquipélago dos Açores, discriminados pelos factores de vulnerabilidade dos edifícios em que a população reside.

O módulo dos pontos vitais<sup>11</sup> dispõe de uma base de dados georeferenciada com a classificação da vulnerabilidade destas entidades. Nesta base de dados o ponto vital é classificado numa determinada tipologia construtiva o que permite avaliar, em primeira aproximação, o seu comportamento expectável face aos vários cenários de ocorrência sísmica.

Por último, o módulo das perdas económicas inclui internamente os parâmetros necessários para a execução da avaliação das perdas ao nível económico,

---

<sup>11</sup> Por pontos vitais, entendem-se os locais onde as entidades com papel relevante para a gestão de uma situação de emergência, desempenham as respectivas actividades, seja pelo papel operacional que desempenhem (Agentes de Protecção Civil, Forças Armadas, INEM, Cruz Vermelha, telecomunicações, etc.), seja pela importância do papel político que desenvolvem na cadeia de decisão durante a emergência (Autoridades políticas e administrativas), quer pelo seu papel na difusão de informação e avisos à população (serviços de rádio e de televisão) [Carvalho *et al.*, 2002].

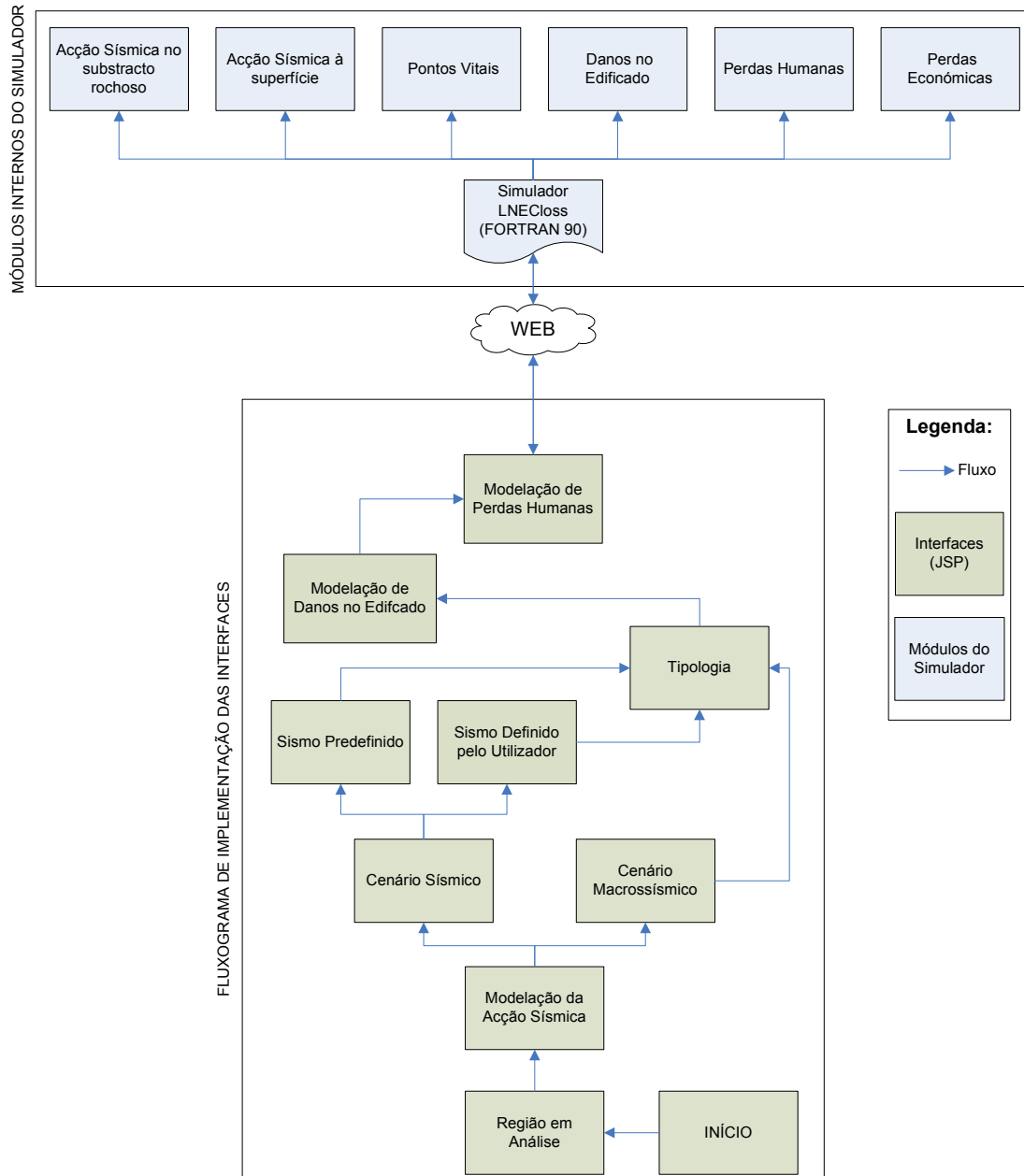
nomeadamente a superfície média dos alojamentos e o seu valor de reposição para efeitos de quantificação monetária das perdas sofridas.

Em termos dos dados fornecidos pelo utilizador, este deverá especificar a magnitude e as coordenadas do epicentro do cenário sísmico que se pretende modelar, ou em alternativa, no caso de pretender obviar a simulação da atenuação do movimento sísmico deverá não só fornecer a magnitude e as coordenadas do epicentro do cenário de ocorrência, mas também os valores das intensidades macrossísmicas nas freguesias da região em análise. O utilizador deverá ainda responder a questões sobre os dados e as opções de modelação a utilizar nos diferentes módulos do Simulador. Para tal, e de forma a permitir o acesso do utilizador ao serviço de visualização do Simulador de Cenários Sísmicos (LNECloss) na Web, foram implementadas diversas interfaces, que representam o *front-end* da aplicação.

As interfaces foram desenvolvidas para permitir fornecer ao Simulador os dados e opções de simulação referidos e para permitir a posterior visualização dos resultados das simulações. As interfaces foram estruturadas a partir de um conjunto de formulários adaptados, específicos para os diferentes módulos de do Simulador, e disponibilizadas aos utilizadores através de um conjunto de hiperligações com funcionalidades correspondentes.

De seguida, ilustra-se na figura 4.3 um diagrama de fluxo que representa a arquitectura de implementação da camada de apresentação de modelação.

#### 4. Simulador de Cenários Sísmicos (LNECloss) na Web



**Figura 4.3** - Arquitectura de implementação da camada de apresentação de modelação do Simulador LNECloss na Web

Expõem-se de seguida algumas das diferentes opções de modelação do Simulador, restritas àquelas em que o utilizador possui capacidade de decisão nas diferentes interfaces.

Quanto ao módulo da acção sísmica, é possível escolher entre quatro opções de modelação: (i) *Sousa (1996)*, (ii) *Bommer et al (1998)*, (iii) *Trifunac & Lee (1989)* e *Sousa (1996)* e (iv) *Intensidades Macrossísmicas*.

A opção (i), recorre a modelos de atenuação de intensidade a construídos a partir da informação macrossísmica de sismos históricos severos e de sismos instrumentais que afectaram o Continente Português. As opções (ii) e (iii), recorrem a modelos de atenuação empíricos, que procedem à avaliação da acção sísmica sob a forma espectral. A opção (ii), baseia-se em dados instrumentais Europeus de movimentos sísmicos intensos, considerados representativos dos processos de atenuação no nosso território, enquanto que na opção (iii), a acção sísmica é modelada em intensidades macrossísmicas, *Sousa (1996)*, convertidas em espectros de resposta pelo modelo de *Trifunac & Lee (1989)*. A opção (vi) permite avaliar a acção sísmica directamente à superfície, considerando as intensidades macrossísmicas observadas em sismos do passado, não sendo por isso necessário modelar o efeito dos solos.

Em contraste com a quarta opção, as três primeiras opções de modelação, permitem avaliar a acção sísmica no substrato rochoso. A segunda e a terceira opção de modelação constituem as alternativas necessárias para o caso do utilizador pretender modelar o efeito dinâmico dos solos sobre a acção sísmica, ou seja, no caso de pretender modelar a acção sísmica à superfície. Na interface respeitante à *Tipologia do Edificado*, poder-se-ão considerar duas opções: (i) parque habitacional apurado nos Censos 2001 ou (ii) o mesmo parque habitacional, mas assumindo que todos os edifícios pertencem a uma tipologia única seleccionada para se efectuar eventuais estudos de vulnerabilidade sísmica. Caso se escolha esta última opção, será automaticamente disponibilizada ao utilizador uma caixa de texto para este poder optar pela tipologia para a qual pretende simular os danos.

Em relação ao módulo de avaliação de danos no edificado, existem quatro<sup>12</sup> opções de modelação disponíveis: (i) *Di Pasquale & Orsini (1997)*, (ii) *Zuccaro & Papa (2002)*, (iii) *Giovinazzi & Lagomarsino (2003 e 2004)* e (iv) *FEMA & NIBS (1999)*. As opções de modelação deste módulo podem ser classificadas em duas categorias, uma baseada em modelos estatísticos, originários de levantamentos de danos de sismos Europeus e mundiais, como é acontece nas

---

<sup>12</sup> Existe mais uma opção de modelação dos danos no edificado denominado de, *Tiedemann (1992)*, que por constituir um modelo simplificado é sempre executada automaticamente ao nível interno do Simulador.

opções de modelação (i), (ii) e (iii), e a segunda baseada num modelo mecanicista, como é o caso da opção de modelação (iv). No caso da opção *Giovinazzi & Lagomarsino (2003 e 2004)*, o estado de conservação do parque habitacional recenseado em 2001 é automaticamente considerado e disponibilizado ao utilizador, podendo este optar por uma simulação que considere: (a) o parque habitacional no seu estado de conservação real apurado no recenseamento à habitação (Bom + Mau), (b) a hipótese de todo o parque habitacional se encontrar num estado de conservação Bom, (c) a hipótese de todo o parque habitacional se encontrar num estado de conservação. mau. Os modelos de danos têm como resultados a estimativa do número e percentagem de edifícios, nos diferentes estados de dano, por unidade geográfica e tipologia. Os estados ou grau de dano variam consoante o modelo de dano adoptado, nomeadamente se é um modelo de dano estatístico ou mecanicista.

Na interface associada ao módulo das perdas humanas<sup>13</sup> o utilizador, é apenas confrontado com a opção relativa à *Eficácia da Resposta de Emergência*. Esta opção surge quando se simulam as perdas humanas com o modelo *Coburn & Spence [2002]*, sendo então possível classificar a resposta de emergência como sendo semelhante à da: (i) *Protecção Civil Actual* ou à que ocorreria em (ii) *Sismos Históricos*.

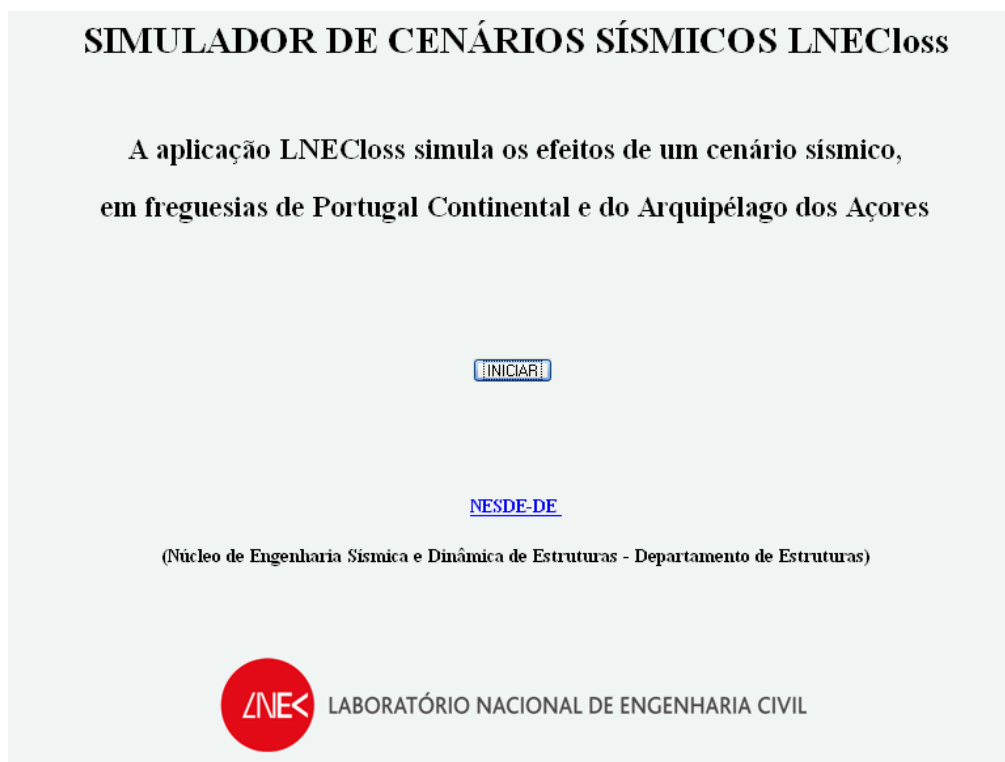
Nas figuras 4.4 a 4.8, ilustram-se as diferentes interfaces, ao mesmo tempo que se exemplifica uma simulação de um cenário sísmico do Simulador LNECloss na Web. A simulação escolhida considerou como região de análise o Concelho da cidade da Horta, os elementos em risco apurados nos Censos 2001 e um cenário de ocorrência predefinido e semelhante em termos de acção sísmica ao evento de 1998.

A invocação do Simulador LNECloss, a partir de um motor de busca (*browser*), permite aceder a um sítio (*site*) onde se pode visualizar a primeira interface da

---

<sup>13</sup> No módulo das perdas humanas são contempladas três opções de modelação: (i) *Tiedemann (1990 e 1992)*, (ii) *Coburn & Spence (2002)* e (iii) *FEMA & NIBS (1999)*. Qualquer uma das três opções de modelação é sempre executada automaticamente pelo Simulador, exceptuando a opção *FEMA & NIBS (1999)*, que apenas é executada caso se opte pela opção de modelação de danos mecanicista (*FEMA & NIBS, 1999*).

aplicação LNECloss (figura 4.4). Para a disponibilização das opções de modelação bastará iniciar a aplicação.



**Figura 4.4** – Interface de apresentação do Simulador

Após o utilizador entrar na aplicação surge a primeira interface de modelação, que agrupa a opção relativa à região a analisar e ao módulo da acção sísmica, permitindo que o utilizador escolha as respectivas opções de modelação. Ao nível da região o utilizador pode optar por algumas regiões predefinidas situadas em Portugal Continental (Lisboa, Algarve, Área Metropolitana de Lisboa (AML), entre outras) e no Arquipélago dos Açores (Grupos Central, Ocidental, Oriental, Concelho da Horta, entre outras). Em relação à modelação da acção sísmica à superfície note-se que o Simulador só dispõe da informação necessária para modelar o efeito dos solos na região da Área Metropolitana de Lisboa e concelhos limítrofes.

Na presente interface, e conforme se ilustra na figura 4.5, optou-se então por se seleccionar o *Concelho da Horta* (Ilha do Faial) para região em análise e

escolheu-se o modelo de atenuação espectral *Boomer et al, 1998* para simular a acção sísmica nesta região.

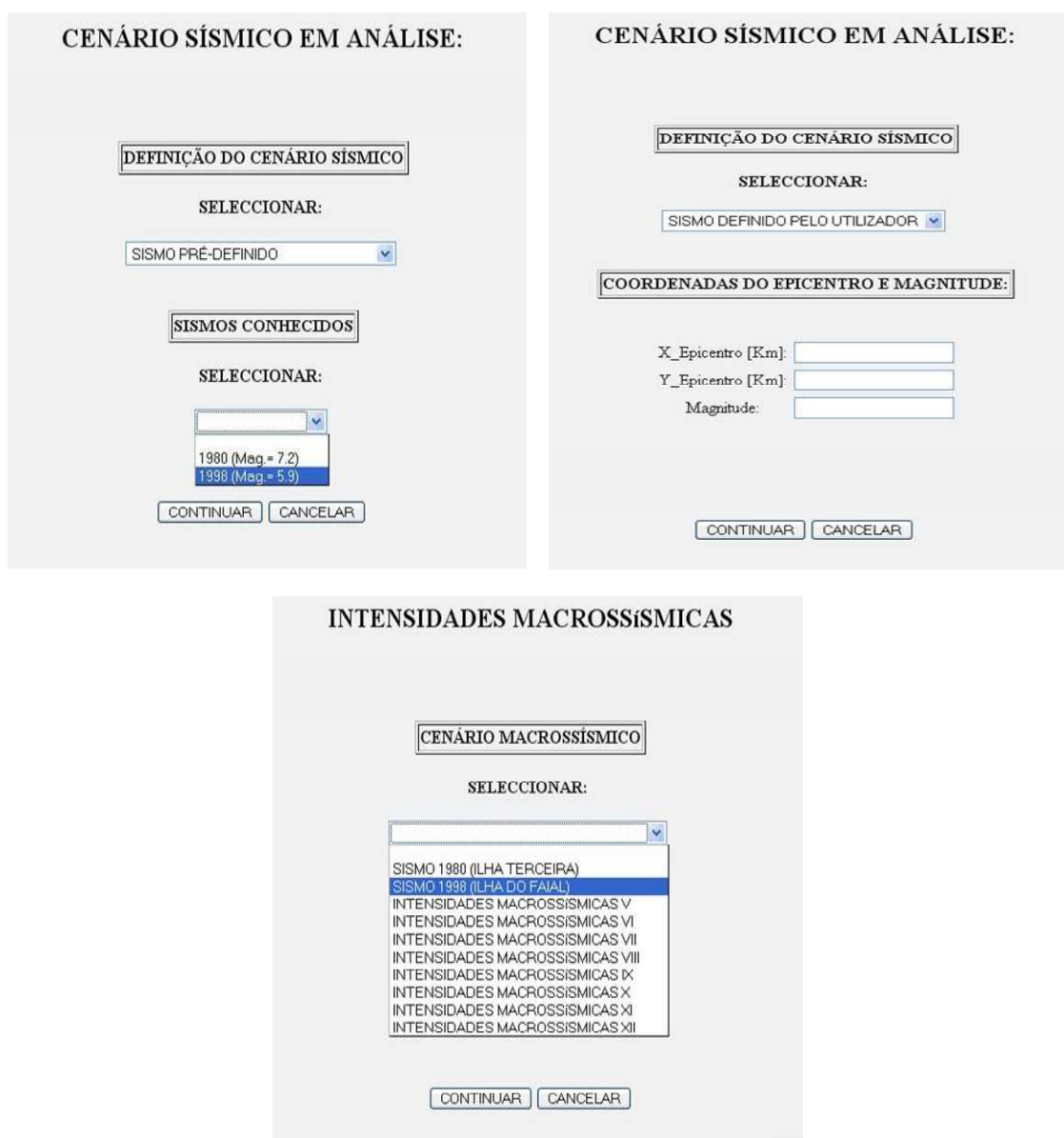
The screenshot displays a web interface titled "REGIÃO A ANALISAR E MODELAÇÃO DA ACÇÃO SÍSMICA". It is divided into two main sections:

- REGIÃO EM ANÁLISE:** A section with a "SELECCIONAR:" label and a dropdown menu currently showing "CONCELHO DA HORTA".
- MODELO DE ACÇÃO SÍSMICA:** A section with a "SELECCIONAR:" label and a dropdown menu. The menu is open, showing the following options:
  - INTENSIDADES MACROSSÍSMICAS
  - BOOMER ET AL, 1998 (highlighted)
  - SOUSA, 1996 + TRIFUNAC AND LEE, 1989
  - SOUSA, 1996

Below the second dropdown menu, there is a "CONSIDERAR SOLOS?" label and a dropdown menu currently set to "NÃO". At the bottom of the interface are two buttons: "CONTINUAR" and "CANCELAR".

**Figura 4.5** – Interface de opções de modelação (região e acção sísmica)

Na sequência de simulação que agora se ilustra, e como foi atrás referido, escolheu-se um cenário sísmico de ocorrência semelhante ao evento de 1998 que afectou as Ilhas do Faial e Pico no Arquipélago dos Açores, que se encontra predefinido no Simulador. Caso o utilizador optasse por definir o cenário sísmico, introduzindo as coordenadas do epicentro e especificando a sua uma magnitude, a interface de modelação do cenário sísmico teria um aspecto diferente. Também no módulo relativo à acção sísmica a opção pela modelação de um cenário macrossísmico (*Intensidades Macrossísmicas*), conduziria igualmente a uma interface diferente. A figura 4.6 ilustra as três interfaces possíveis.

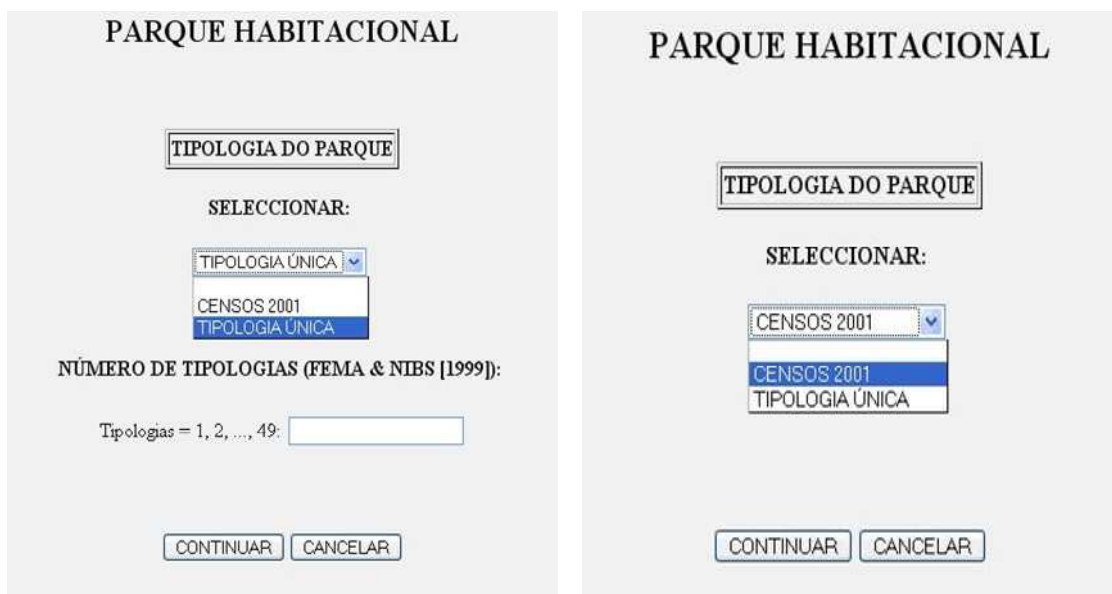


**Figura 4.6** – Topo: (esquerda) Interface do cenário sísmico em análise (sismo predefinido); (direita) Interface do cenário sísmico em análise (sismo definido pelo utilizador); Baixo: Interface de escolha de Intensidades Macrossísmicas.

Previamente à modelação de danos no edificado dever-se-á escolher qual o inventário do parque habitacional que se quer utilizar. No exemplo de simulação que decorre foi seleccionado o parque habitacional apurado nos Censos 2001.

Caso se pretendesse simular a hipótese de todos os edifícios pertencerem a uma tipologia única, surgirá uma caixa de texto onde o utilizador indicará o número da tipologia para a qual pretende avaliar os danos. Ilustram-se de seguida (figura 4.7) duas interfaces, que exemplificam os dois casos.



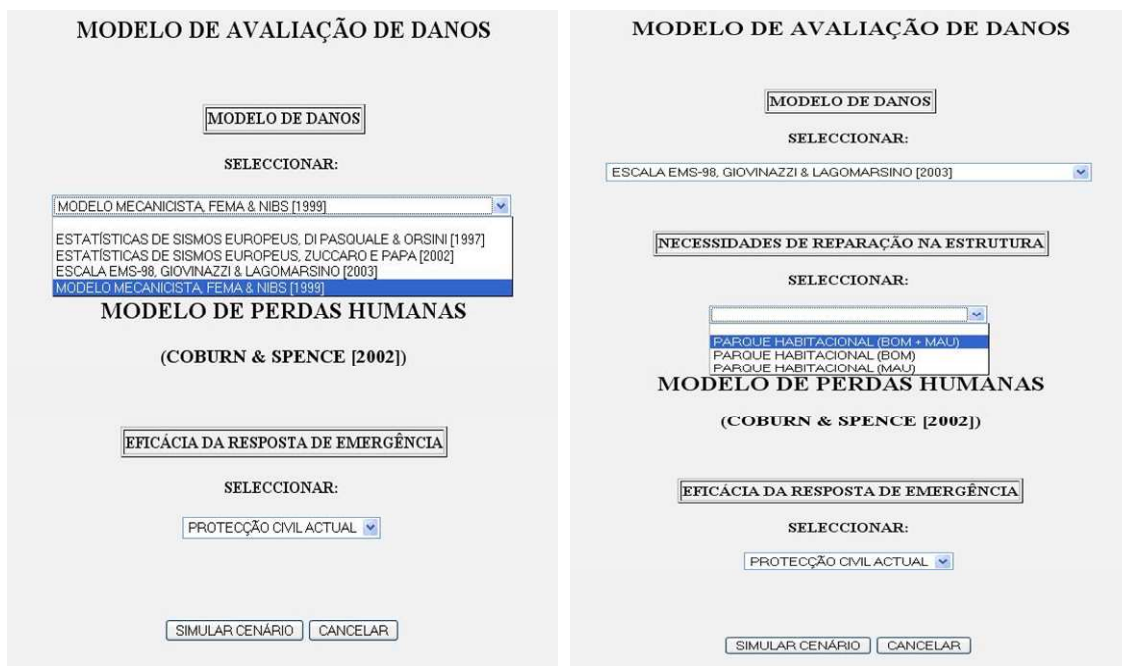


**Figura 4.7** – Esquerda: Interface de escolha do parque habitacional, optando-se pelo dos Censos 2001; Direita: Interface de escolha da Tipologia, optando-se por uma tipologia única

Em seguida o utilizador é directamente encaminhado para a interface dos módulos de avaliação de danos e de perdas humanas. Para efeitos exemplificativos optou-se pelo modelo mecanicista, *FEMA & NIBS [1999]* para modelar os danos, enquanto que ao nível da *Eficácia da Resposta de Emergência*, do modelo de perdas humanas, *Coburn & Spence [2002]*, se decidiu optar pela opção, *Protecção Civil Actual*, conforme se ilustra na figura 4.7.

Em relação ao módulo de avaliação de danos, se se tivesse optado pela opção de modelação estatística *Giovinazzi & Lagomarsino (2003 e 2004)*, seriam automaticamente disponibilizadas, ao utilizador, as diferentes opções sobre o estado de conservação do parque habitacional recenseado em 2001.

As duas interfaces são ilustradas na figura 4.8.



**Figura 4.8** – Esquerda: Interface de opções de modelação do módulo de Avaliação de Danos (*FEMA & NIBS, 1999*) e do Modelo de Perdas Humanas; Direita: Interface de opções de modelação Avaliação de Danos (*Giovinazzi & Lagomarsino, 2003 e 2004*) e do Modelo de Perdas Humanas.

#### 4.4.3. Camada de Apresentação de Estatísticas Globais da Simulação

Após se terem finalizado as opções que permitem definir as características de um determinado cenário sísmico, é possível visualizar as estatísticas globais desse cenário, conforme se ilustra na figura 4.9

ELEMENTOS EM RISCO [TOTAIS]			
Edifícios [#] = 1999			
Alojamentos [#] = 2309			
População [#] = 6435			
Superfície total dos pavimentos [m <sup>2</sup> ] = 383515.5			
ACÇÃO SÍSMICA			
IM máxima = 6.1			
DANOS NO EDIFICADO [Modelo Mecanicista, FEMA & NIBS 1999]	PERDAS HUMANAS [Coburn & Spence, 2002]	PERDAS HUMANAS [HAZUS, 1999]	PERDAS ECONÓMICAS [SSN, 1998]
Sem Danos = 1709 (85.49 %)	S/ ferimentos = 6435 (100.00 %)	S/ ferimentos = 6431 (99.94 %)	Area media perdida por freguesia [m <sup>2</sup> ] = 1420
Danos Ligeiros = 210 (10.50 %)	Feridos ligeiros = 0 (0.00 %)	Feridos ligeiros = 3 (0.05 %)	Area total perdida [m <sup>2</sup> ] = 4259.5796
Danos Moderados = 59 (2.93 %)	Cuidados hospitalares = 0 (0.00 %)	Cuidados hospitalares = 0 (0.01 %)	Area total perdida [%] = 1.1106669
Danos Severos = 19 (0.94 %)	Feridos graves = 0 (0.00 %)	Feridos graves = 0 (0.00 %)	Perda Total[Eurox10 <sup>6</sup> ](500Euros/m2) = 2481613.8
Danos Totais = 3 (0.14 %)	Mortos = 0 (0.00 %)	Mortos = 0 (0.00 %)	Perdas PIB [%] = 0.00202
DANOS NO EDIFICADO [Tiedemann, 1992]	PERDAS HUMANAS [Tiedemann, 1992]	PERDAS ECONÓMICAS [Tiedemann, 1992]	
E_MDR [%] = 0.418	Mortos [#] = 0	Area media perdida por freguesia [m <sup>2</sup> ] = 535	
Max. MDR [%] = 0.608759	Mortos [%] = 0.0	Area total perdida [m <sup>2</sup> ] = 1604.0	
Min. MDR [%] = 0.42213		Area total perdida [%] = 0.42	
Edifícios afectados [#] = 8		Perda Total[Eurox10 <sup>6</sup> ](500Euros/m2) = 934236.9	
		Perdas PIB [%] = 0.0008	

FECHAR

Figura 4.9 – Estatísticas globais da simulação do cenário sísmico exemplificado

#### 4.4.4. Camada de Apresentação da Informação Geográfica

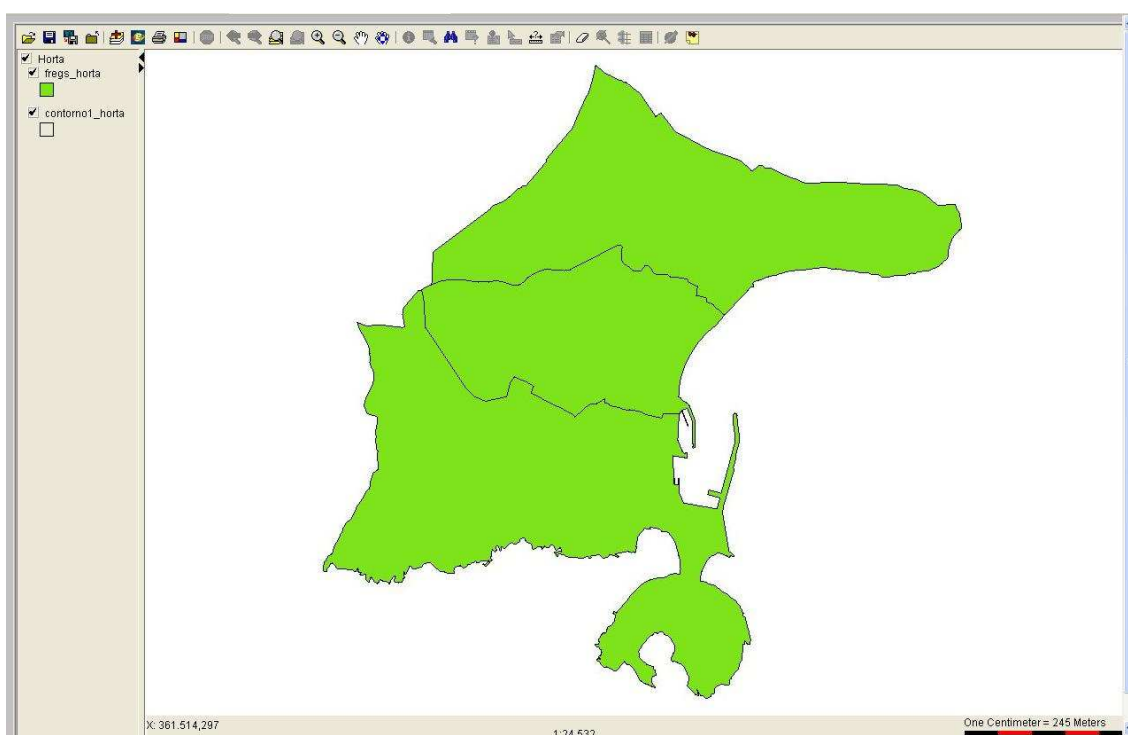
No âmbito do desenvolvimento e implementação do simulador LNECloss num ambiente WebSIG, apresenta-se aqui o serviço de visualização, utilizado para a apresentação da informação geográfica resultante da introdução prévia das diversas opções de modelação, através das quais se condiciona a simulação do cenário sísmico a simular.

Este serviço é efectuado através do Servidor de Aplicações SIG, que se encontra relacionado com a componente lógica do sistema. No presente caso a componente de informação geográfica para Web é disponibilizada com recurso à tecnologia ArcIMS (desenvolvida pela ESRI).

O ArcIMS disponibiliza três tipos de interfaces de visualização da informação geográfica, uma baseada em HTML (*HTML Viewer*) e duas que se baseiam em Java (*Java Custom Viewer* e *Java Standard Viewer*). Os diferentes tipos de serviços disponibilizados pelo ArcIMS, (imagem, vectorial, entre outros) assim como, a escolha das interfaces de visualização da informação geográfica irão

influenciar as funcionalidades SIG que podem ser incorporadas no serviço Web.

Conforme se ilustra na figura 4.10 o visualizador de informação geográfica disponibiliza, no topo superior da página, do lado esquerdo, algumas ferramentas aplicáveis aos temas geográficos. No lado direito do visualizador evidenciam-se a lista dos temas geográficos carregados, em que é possível escolher entre dois estados: activo e visível. O estado activo representa o tema sobre o qual se aplicarão as funcionalidades de identificação do elemento geográfico, interrogações, selecção de rectângulos, limpeza de selecções, entre outras. O estado visível permite que o *layer* seleccionado seja desenhado assim que se efectuar a operação de, *Refresh Map*.



**Figura 4.10** – Interface de visualização dos dados geográficos baseado num visualizador Java

#### **4.5. Considerações Finais**

Neste capítulo, e tendo em conta a natureza dos simuladores de cenários sísmicos, expôs-se o desenvolvimento do Simulador LNECloss na Web.

Este Simulador em ambiente WebSIG adopta uma arquitectura em três camadas, assim como, a generalidade das aplicações Web.

O desenvolvimento de várias interfaces na Web, que correspondeu às opções modelação do cenário sísmico, cria uma relativa independência ao nível da plataforma e sistema operativo, eliminando desta forma a necessidade de instalação de qualquer programa para visualizar as respectivas interfaces. O desenvolvimento, das interfaces foi efectuado, de modo a que estas possam ser alvo de melhorias e/ou alterações através da edição do seu código HTML.

Os requisitos dos utilizadores do Simulador LNECloss, no que respeita aos dados geográficos, são satisfeitos através de uma interface Web de manipulação simples que utiliza ferramentas comuns de visualização.

De referir que, apesar de tudo, o Simulador LNECloss na Web, encontra-se maioritariamente vocacionado para a área da investigação, pois, para além de um aspecto gráfico pouco apelativo, obriga a seleccionar uma série de opções de modelação, as quais não são estritamente necessárias para as diversas autoridades ligadas ao planeamento e gestão da emergência.



## **5. APLICAÇÃO DO SIMULADOR WEBSIG AO ARQUIPÉLAGO DOS AÇORES**

### **5.1. Introdução**

O projecto de investigação USuET «Análise sistémica do risco sísmico: uma visão integrada. Aplicação a centros urbanos nos Açores», teve o objectivo de desenvolver o conhecimento sobre o comportamento sísmico de regiões urbanas e mitigar o risco decorrente de sismos no Arquipélago dos Açores. Com efeito, os Açores são a região do nosso País com maior actividade sísmica. Pretende-se assim, analisar possíveis cenários de risco sísmico na região e ter uma percepção integrada do impacto económico e social de sismos neste Arquipélago.

Este projecto foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia, coordenado pelo Instituto Superior Técnico (IST) e tem como parceiros o Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC), a Universidade dos Açores (UA) e o Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (ICIST/IST/UTL).

O trabalho desenvolvido no âmbito desta tese de mestrado integrou-se no projecto USuET e visou actualizar o Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss, permitindo modelar em qualquer parcela do território Açoriano, e recorrendo a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), os danos no edificado habitacional, as perdas humanas e as perdas económicas em consequência de um cenário sísmico de ocorrência especificado.

### **5.2. Actualização do Simulador de Cenários Sísmicos para o Arquipélago dos Açores**

O Arquipélago dos Açores será assim a região utilizada como exemplo de aplicação do Simulador de Cenários Sísmicos em ambiente WebSIG.

Ao abrigo do projecto USuET atrás referido, o Simulador tem vindo a ser actualizado ao nível de (1) dados, (2) âmbito geográfico, (3) modelos e (4) ambiente de operação.

Sobre as actualizações de dados e de âmbito geográfico do Simulador efectuaram-se as seguintes tarefas:

1. Adicionou-se a base de dados apurada nos Censos 2001 com informação sobre os quantitativos do parque habitacional do Arquipélago dos Açores englobando a caracterização da sua vulnerabilidade sísmica tendo como unidade de análise a freguesia. Incluiu-se também no Simulador a base de dados apurada nos Censos 2001 relativa aos ocupantes do seu parque habitacional, também organizada segundo as características de vulnerabilidade deste parque. A análise estatística do inventário destes elementos em risco bem como a sua distribuição geográfica será descrita com detalhe na secção 5.3 do presente capítulo.

Adicionaram-se bases de dados de intensidades macrossísmicas contendo a acção sísmica relativa a alguns sismos importantes que afectaram o Arquipélago dos Açores, discriminada também pelas freguesias desse território.

2. Generalizou-se a aplicação do Simulador a qualquer região específica do Arquipélago dos Açores, tendo-se estabelecido um procedimento expedito para predefinir uma região para análise. Este procedimento envolveu fundamentalmente a actualização de algumas rotinas implementadas em *FORTRAN 90* e a utilização das capacidades de produção de mapas do *software* de SIG, *ArcView*. Em relação ao território Continental o Simulador compreendia sete regiões predefinidas onde era possível simular automaticamente cenários sísmicos de ocorrência e de perdas. No âmbito do projecto USuET, foram adicionadas ao Simulador sete regiões predefinidas e que dizem respeito ao Arquipélago dos Açores: o concelho da Horta, o concelho do Pico, a ilha Terceira, o grupo Ocidental, o grupo Central, o grupo Oriental e o Arquipélago propriamente dito.

3. Foram adicionados ao Simulador diversos modelos de caracterização da acção sísmica. No entanto, este trabalho sai fora do âmbito desta tese de mestrado e não será aqui detalhado.



### **5.3. Inventário dos Elementos em Risco para o Arquipélago dos Açores**

#### **5.3.1. Apuramentos efectuados nos Censos 2001**

No primeiro trimestre de 2006 iniciou-se o processo de recolha de informação dos elementos expostos ao risco sísmico no Arquipélago dos Açores tendo-se formulado o pedido de acesso a dados estatísticos do Instituto Nacional de Estatística, via Observatório das Ciências e do Ensino Superior, nos moldes que a seguir se descrevem.

O inventário dos elementos em risco baseou-se no XIV Recenseamento Geral da População e no IV Recenseamento Geral da Habitação (Censos 2001) realizados pelo Instituto Nacional de Estatística em 2001 [INE, 2002]. Com efeito, os Censos 2001 englobam o único recenseamento exaustivo efectuado sobre o parque habitacional de Portugal.

Neste levantamento adoptou-se a freguesia como unidade geográfica de análise, pois a recolha de informação estatística de um nível mais desagregado, e tendo em conta os cruzamentos solicitados, originaria problemas de confidencialidade estatística.

Pretendeu-se que a recolha efectuada sobre a informação estatística dos Censos 2001 cumprisse três objectivos principais: (i) apurar os quantitativos de edifícios habitacionais e da população residente no Arquipélago dos Açores, (ii) conhecer a distribuição geográfica destes elementos expostos ao risco sísmico e (iii) caracterizar a vulnerabilidade sísmica das tipologias construtivas mais representativas e frequentes do Arquipélago dos Açores.

À semelhança do que já tinha sido efectuado para Portugal Continental [Sousa, 2006] identificaram-se as unidades estatísticas primárias *edifício*, *alojamento* e *indivíduo*, observadas nos Censos 2001, como os elementos em risco sobre os quais se pretendia recolher informação para concretizar os objectivos atrás mencionados.

A avaliação da população presente para diferentes dias da semana e/ou mês (sazonalidade, etc.) e para diferentes intervalos de tempo (padrões de mobilidade) sai fora do âmbito deste trabalho, pelo que os apuramentos solicitados da população residente têm o fito de fornecer estimativas de perdas

humanas, válidas para um período nocturno em que a maioria dos habitantes do Arquipélago dos Açores se encontram na sua residência.

Foram assim analisados os *Questionários de Edifício, Alojamento e Individual* dos Censos 2001 de forma a identificar as variáveis consideradas pertinentes para a caracterização da vulnerabilidade sísmica dos elementos em risco, a que se chamarão *factores de vulnerabilidade*. Os três questionários referidos e as definições de conceitos associados às unidades estatísticas e variáveis seleccionadas podem ser encontrados em INE [2002].

No quadro 5.1 reúnem-se as modalidades das variáveis seleccionadas do Questionário de Edifício dos Censos 2001 com o objectivo de se caracterizar a vulnerabilidade sísmica destes elementos em risco. Neste quadro as variáveis são identificadas pelo número respectivo da pergunta deste questionário. Para simplificar a análise, a variável número de pavimentos foi classificada em 7 classes também constantes do quadro 5.1 [Sousa, 2006]. Por uma questão de simplificação de linguagem as variáveis *época de construção ou reconstrução do edifício e tipo de estrutura da construção do edifício* passarão a ser designadas simplesmente por *época de construção* ou *época* e por *tipo de estrutura*, respectivamente.

Além das variáveis especificadas no quadro 5.1, os Censos 2001 também contemplaram novas variáveis pertinentes para a caracterização da vulnerabilidade sísmica do parque habitacional. Listam-se de seguida essas novas variáveis seguindo, mais uma vez, a numeração constante do Questionário de Edifício dos Censos 2001 [Sousa, 2006]:

8. *Configuração do R/C.*
9. *O edifício é isolado ou é cinco vezes mais alto que os edifícios adjacentes?*
10. *O edifício é de gaveto ou de extremo de banda?*
11. *O edifício é mais alto (mais do que dois pavimentos) do que qualquer dos edifícios adjacentes?*

#### 4.4. *Necessidade de Reparações:*

17.1. *Na estrutura;*

17.2. *Na cobertura;*

**Quadro 5.1**– Factores de vulnerabilidade e respectivas modalidades (Censos 2001)

(Fonte: Sousa, 2006)

6. Número de pavimentos <sup>14</sup>	13. Época de construção ou reconstrução dos edifícios <sup>15</sup>	14. Tipo de estrutura da construção do edifício <sup>16</sup>
1	Antes de 1919	Estrutura de Betão armado (BA)
2	1919 a 1945	Paredes de alvenaria argamassada, com placa (ACP)
3	1946 a 1960	Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (ASP)
4	1961 a 1970	Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta (ATAPS)
5 a 7	1971 a 1980	Outros (madeira, metálica, etc.)
8 a 15	1981 a 1985	
+ de 15	1986 a 1990	
	1991 a 1995	
	1996 a 2001	

A estas novas variáveis primárias adicionou-se ainda uma nova variável, derivada (também solicitada ao INE), que traduz o *Estado de conservação* global do edifício, cujas modalidades, apresentadas no quadro 5.2 são obtidas através da ponderação das respostas da variável Necessidade de Reparações.

É sobejamente conhecido que os factores de vulnerabilidade atrás mencionados condicionam a resposta sísmica das estruturas. Refiram-se por exemplo os trabalhos de Carvalho & Oliveira [1999], Giovinazzi & Lagomarsino

<sup>14</sup> *Pavimento* - cada um dos planos habitáveis ou utilizáveis do edifício, qualquer que seja a sua relação com o nível do terreno. São considerados como *pavimento* o rés-do-chão, assim como as caves e águas furtadas habitáveis ou utilizáveis com funções complementares à habitação [INE, 2003].

<sup>15</sup> *Época de construção* - período de construção do edifício propriamente dito, ou o período de construção da parte principal do edifício, isto é, aquela que corresponde à estrutura, quando diferentes partes de um edifício correspondem a épocas distintas, ou o período de reconstrução, para os edifícios que sofreram uma transformação completa [INE, 2003].

<sup>16</sup> *Tipo de estrutura da construção do edifício* - identifica os elementos utilizados na construção ou reconstrução dos edifícios, no que respeita à estrutura que os suporta. Assim, deverão ser identificados os elementos resistentes do edifício, ou seja, os materiais que servem de estrutura à própria construção e que servem de suporte aos pavimentos, independentemente dos materiais empregues nas paredes exteriores [INE, 2003].

[2003 e 2004], Oliveira [1989 a e b] e Tiedemann [1992] que mencionam diversos factores estruturais de agravamento do comportamento sísmico estrutural assimiláveis às novas variáveis dos Censos 2001.

**Quadro 5.2** – Modalidades das variáveis *Necessidade de Reparações* e *Estado de conservação* dos edifícios (**Fonte: Sousa, 2006**)

Necessidade de Reparações	Estado de conservação
Nenhumas	Sem necessidade de reparação
Pequenas	A necessitar de pequenas reparações
Médias	A necessitar de médias reparações
Grandes	A necessitar de grandes reparações
Muito Grandes	Muito degradado

Porém, para o território dos Açores apenas foram obtidas do INE (Censos 2001) as variáveis constantes do quadro 5.1 e a variável *Necessidade de Reparações* na estrutura.

### 5.3.2. Estatísticas dos elementos em risco

Na presente secção apresentam-se algumas estatísticas sobre os elementos em risco no território estudado, bem como os cruzamentos das variáveis seleccionadas nos Censos 2001 para caracterizar a sua vulnerabilidade sísmica.

No quadro 5.3 sintetizam-se as contagens das existências apuradas nos Censos 2001 para o Arquipélago do Açores.

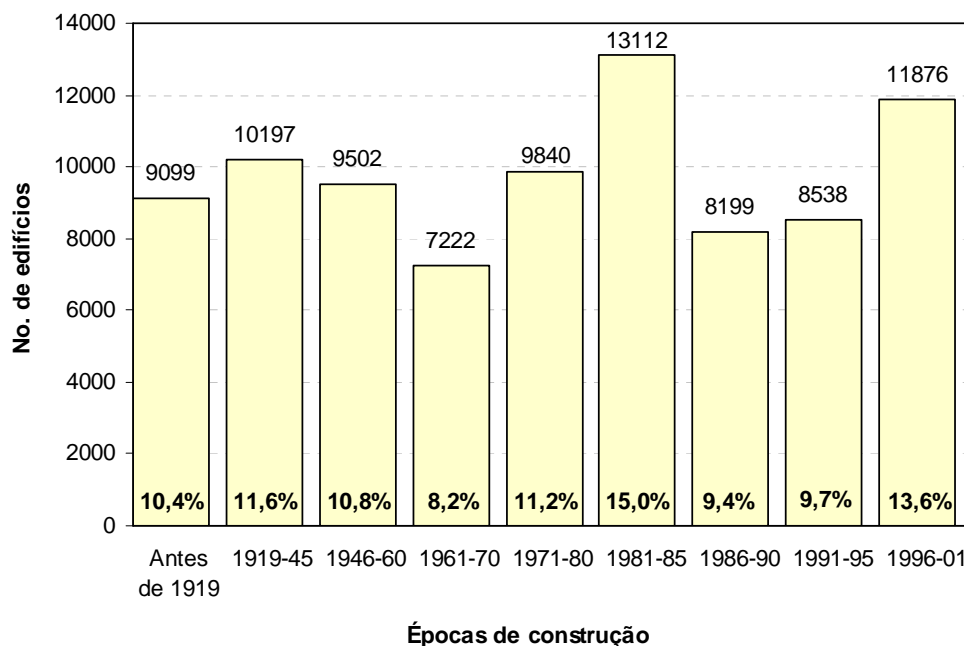
**Quadro 5.3** – Valores totais das existências dos elementos em risco no Arquipélago dos Açores (**Fonte: Sousa & Afonso, 2007**)

Elementos em risco	Arquipélago dos Açores
Edifícios	87 585
Alojamentos familiares clássicos + alojamentos colectivos <sup>17</sup>	92 867
Ocupantes	240 309

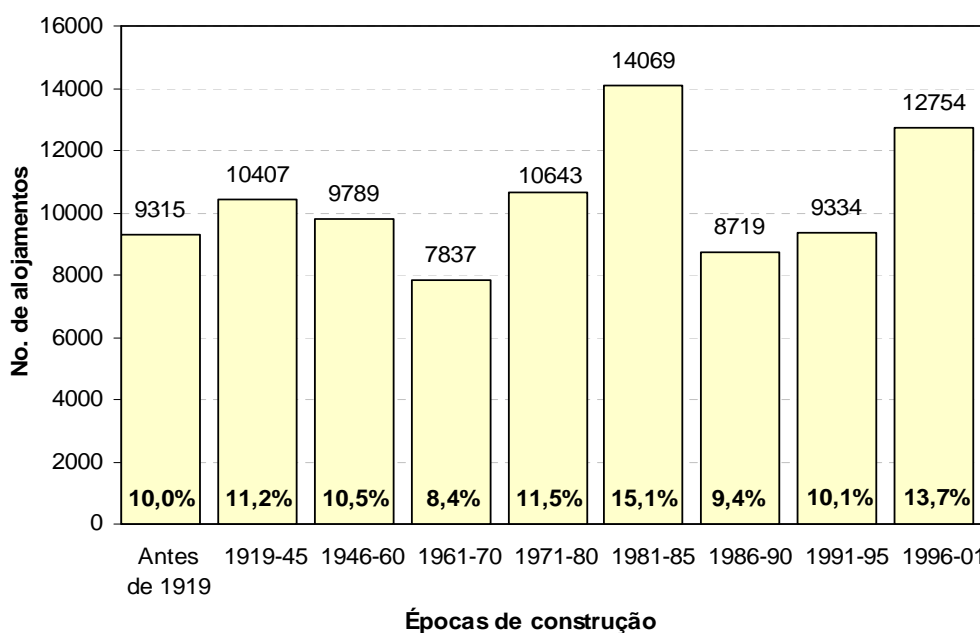
<sup>17</sup> Ao longo do presente trabalho a soma dos alojamentos familiares clássicos com os alojamentos colectivos será chamada simplesmente de *alojamentos*.

Nas figuras 5.1 a 5.3 apresentam-se, por época de construção, as existências dos elementos em risco, quantificadas em termos absolutos e relativos.

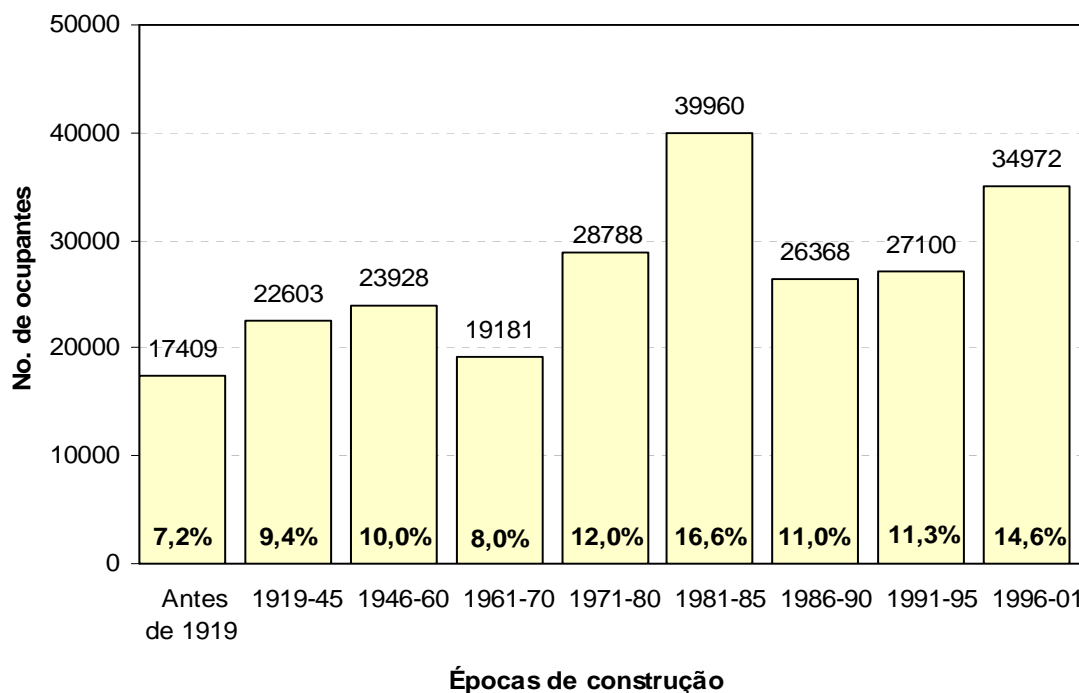
Nos histogramas imediatos, a escala vertical mede os quantitativos absolutos de edifícios, alojamentos e ocupantes e a escala horizontal é uma escala ordinal em que essas existências foram classificadas por época.



**Figura 5.1 – Número de edifícios por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)**

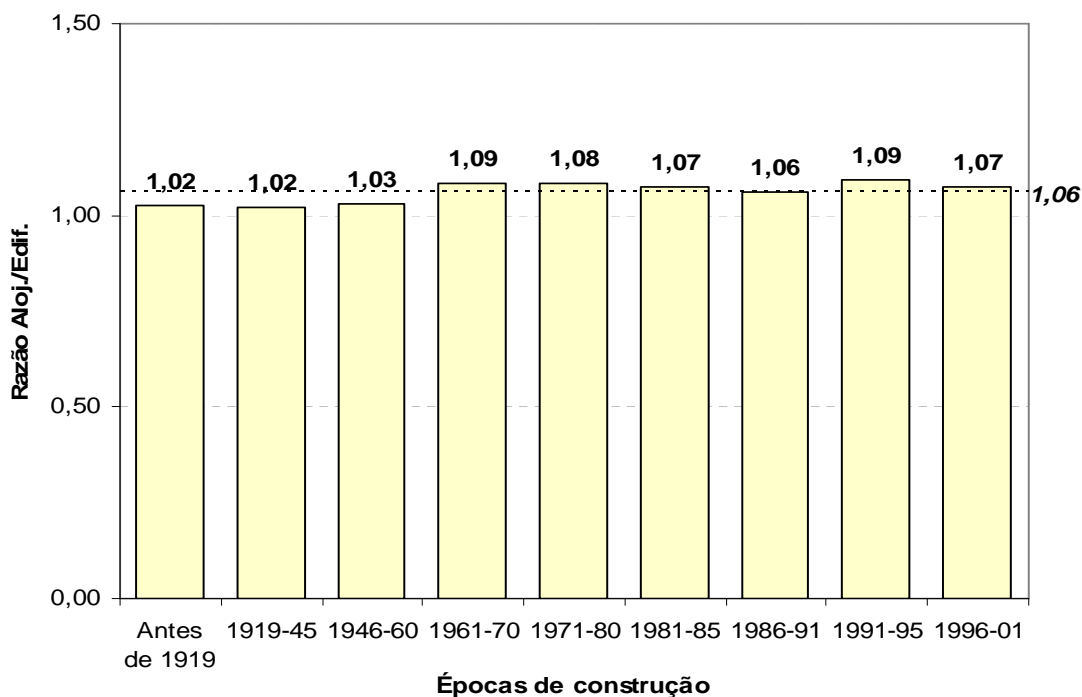


**Figura 5.2 – Número de alojamentos por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)**



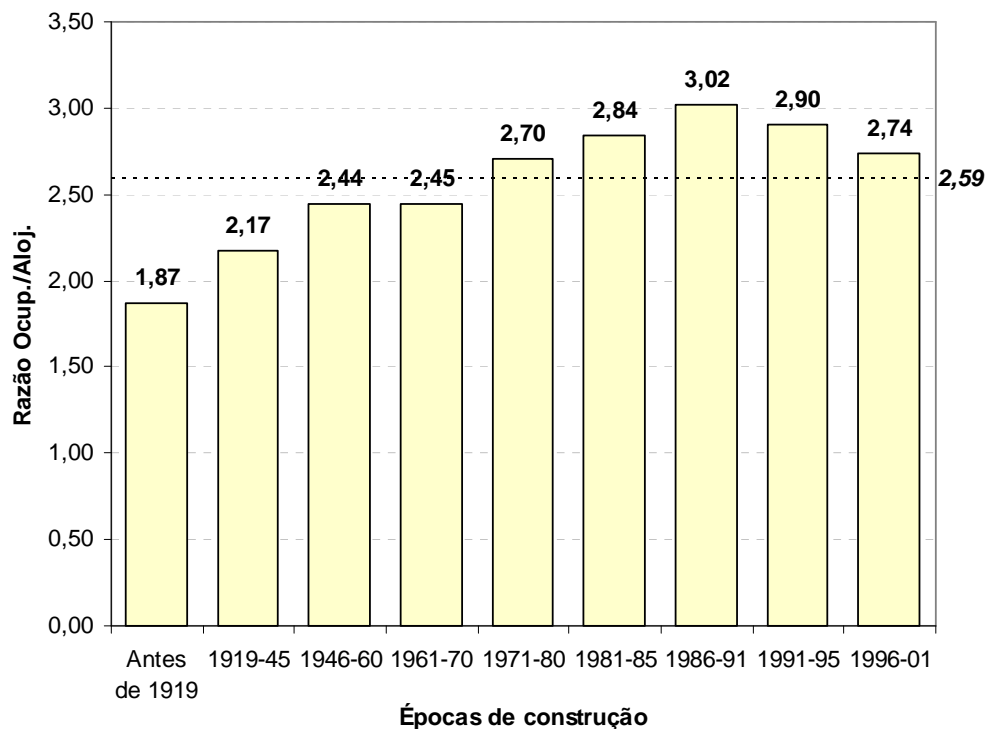
**Figura 5.3 – Número de ocupantes por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)**

A figura 5.4 ilustra, por época de construção, a razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios indicando-se do lado direito (em itálico e negro) a razão dos respectivos valores totais.



**Figura 5.4 – Razão entre o número de alojamentos e o número de edifícios, por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)**

Na figura 5.5 ilustra-se, igualmente por época de construção, a razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, indicando-se do lado direito (em itálico e negrito) o indicador de ocupação global para o Arquipélago dos Açores.



**Figura 5.5** – Razão entre o número de ocupantes e o número de alojamentos, por época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Analisa-se, de seguida, a relação entre os quantitativos de elementos em risco e as datas de entrada em vigor dos regulamentos de projecto sismo-resistente Portugueses, de forma a se apresentar um primeiro indicador de vulnerabilidade do parque habitacional do Arquipélago dos Açores.

O primeiro, o Regulamento de Segurança das Construções contra os Sismos, data de 1958 [RSCCS, 1958], tendo sido parcialmente revogado em 1961 pelo Regulamento de Solicitações em Edifícios e Pontes [RSEP, 1961]; o regulamento actualmente em vigor, denominado Regulamento de Segurança e Acções para Estruturas de Edifícios e Pontes, data de 1983 [RSA, 1983].

Tal como foi efectuado para Portugal Continental [Sousa, 2006] para o efeito de contabilização de existências e respectiva vulnerabilidade atendeu-se às datas de entrada em vigor dos regulamentos e aos períodos de transição para a sua

aplicação, assumindo-se que (i) nas épocas de construção anteriores a 1960 os edifícios não sofreram dimensionamento sísmo-resistente, (ii) entre 1961 e 1985 os edifícios não dispensados de dimensionamento para as acções sísmicas terão sido projectados segundo as disposições do RSCCS e RSEP e (iii) nas épocas posteriores a 1985 terão sido projectados de acordo com o disposto no RSA. De realçar que esta hipótese poderá ser demasiado optimista face ao panorama construtivo do parque habitacional de Portugal [Sousa, 2006].

No quadro 5.4 apresentam-se as percentagens de edifícios construídos em data anterior à entrada em vigor do primeiro regulamento, assim como as percentagens de alojamentos e ocupantes residentes nesses edifícios à data dos Censos 2001. Comparam-se os quantitativos apurados com os valores apurados em estudos anteriores para Portugal Continental [Sousa, 2006].

**Quadro 5.4** – Percentagem de existências em edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sísmo-resistente

(Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Elementos em risco (<= 1960)	Arquipélago dos Açores	Portugal Continental
Edifícios [%]	32,9	30,2
Alojamentos [%]	31,8	24,2
Ocupantes [%]	26,6	19,6

No quadro 5.5 reúnem-se as existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sísmo-resistente. Os valores percentuais constantes da terceira coluna deste quadro são relativos aos quantitativos totais de cada elemento em risco no Arquipélago dos Açores. Na quarta coluna desse quadro, reúnem-se, para efeitos comparativos, os quantitativos dos elementos em risco existentes em Portugal Continental.

As restantes figuras desta secção incidem fundamentalmente sobre a unidade estatística edifício, de forma a ser possível analisar estatisticamente os respectivos factores de vulnerabilidade que condicionarão o risco sísmico dos restantes elementos expostos, ou seja, os alojamentos e os ocupantes existentes no território Açoriano.



Na figura 5.6 ilustra-se a distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura. Na figura 5.7 apresenta-se a distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura e por época de construção. A frequência relativa do número de edifícios, por tipo de estrutura, condicionada pela época de construção é ilustrada na figura 5.8.

**Quadro 5.5** – Existências em edifícios de Betão armado construídos durante a vigência dos regulamentos de projecto sísmo-resistente (**Fonte: Sousa & Afonso, 2007**)

Época de construção	Elementos em risco	Arquipélago dos Açores	Portugal Continental
1961-85 (RSCCS, 1958 RSEP, 1961)	Edifícios	10 410 (11,9%)	451 875 (15,1%)
	Alojamentos	12 119 (13,1%)	1 104 766 (22,8%)
	Ocupantes	34 574 (14,4%)	2 397 584 (24,5%)
1986-2001 RSA, 1983	Edifícios	14 298 (16,3%)	377 062 (12,6%)
	Alojamentos	16 015 (17,2%)	1 019 653 (21,0%)
	Ocupantes	46 416 (19,3%)	2 079 699 (21,2%)

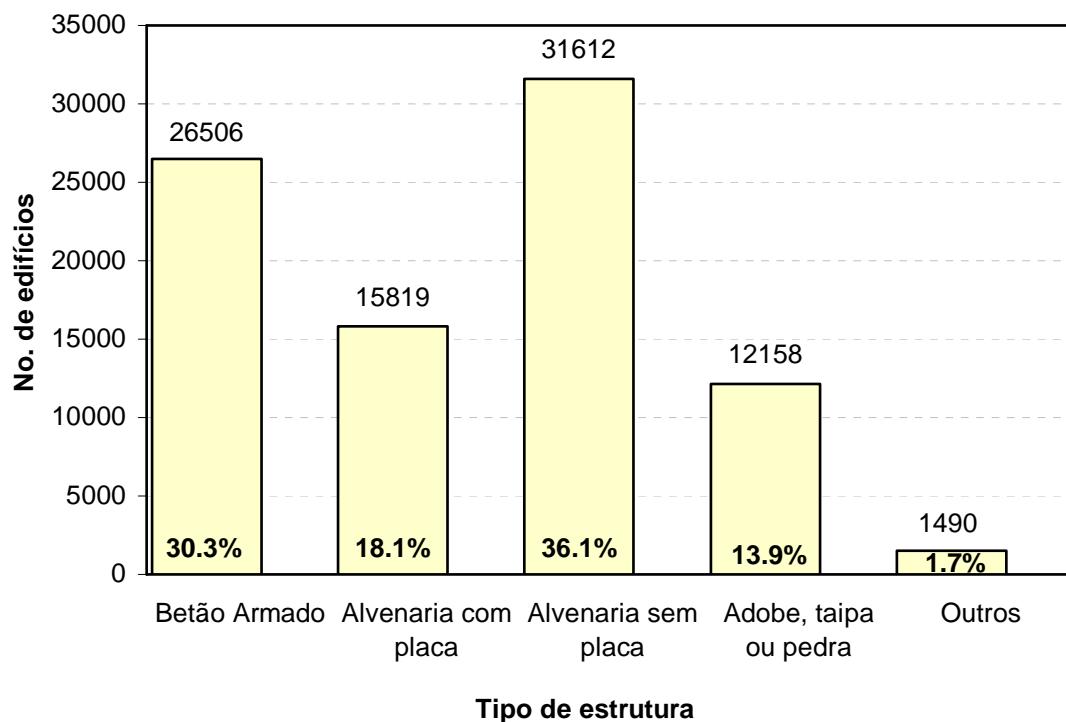


Figura 5.6 – Número de edifícios por tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

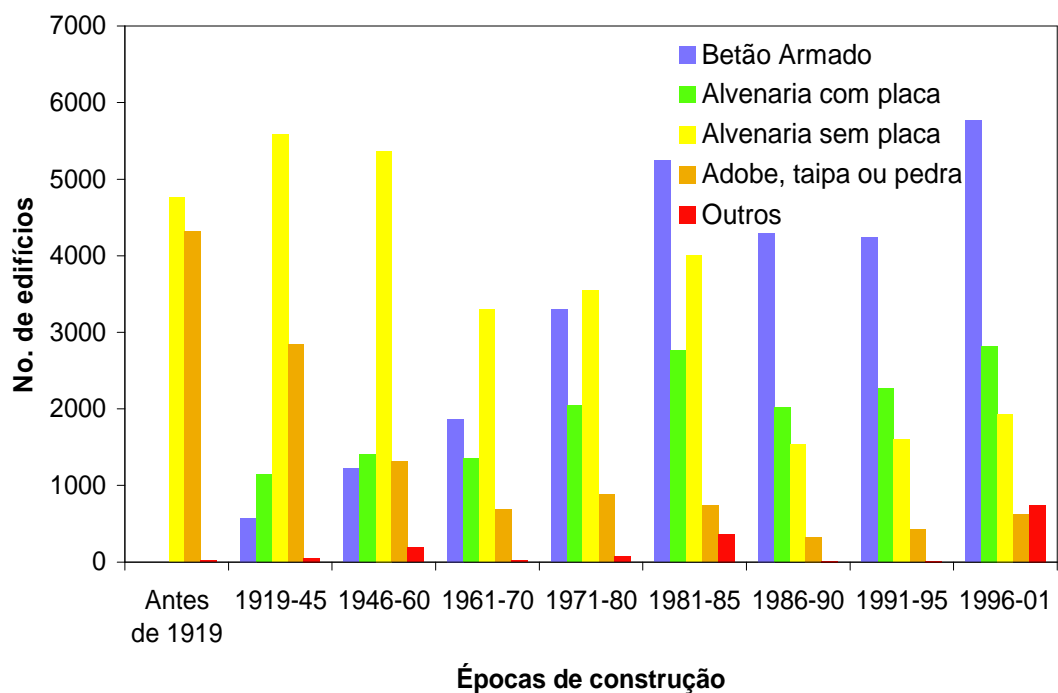
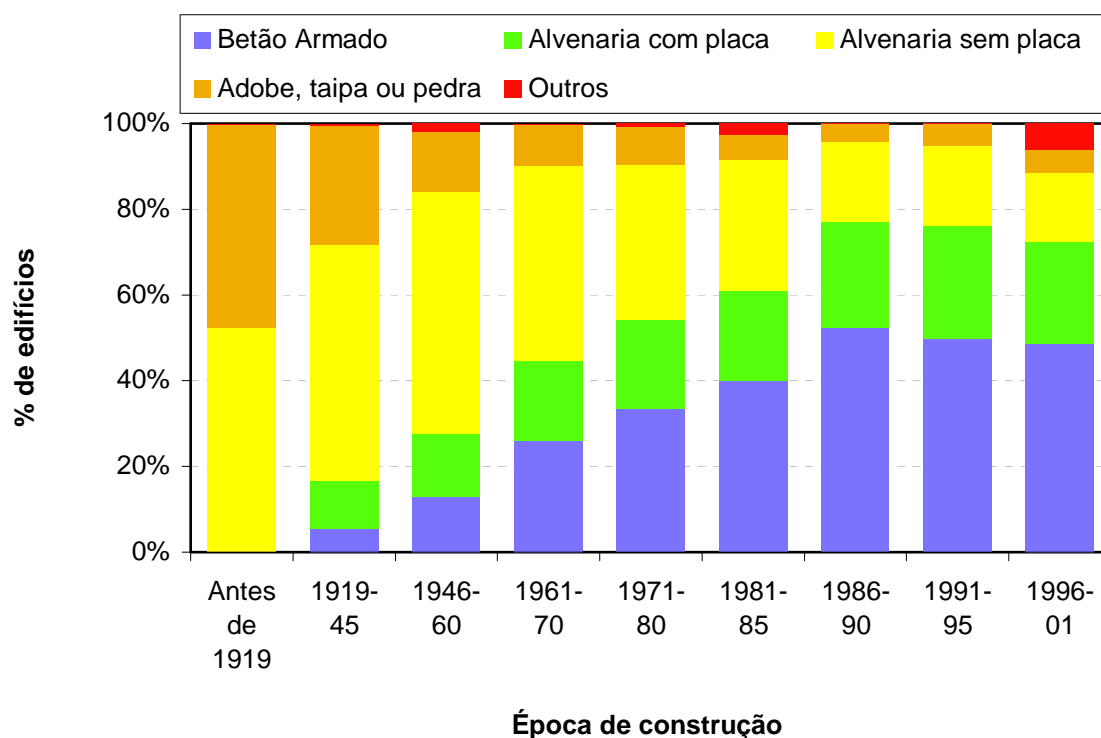


Figura 5.7 – Número de edifícios por época de construção e tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

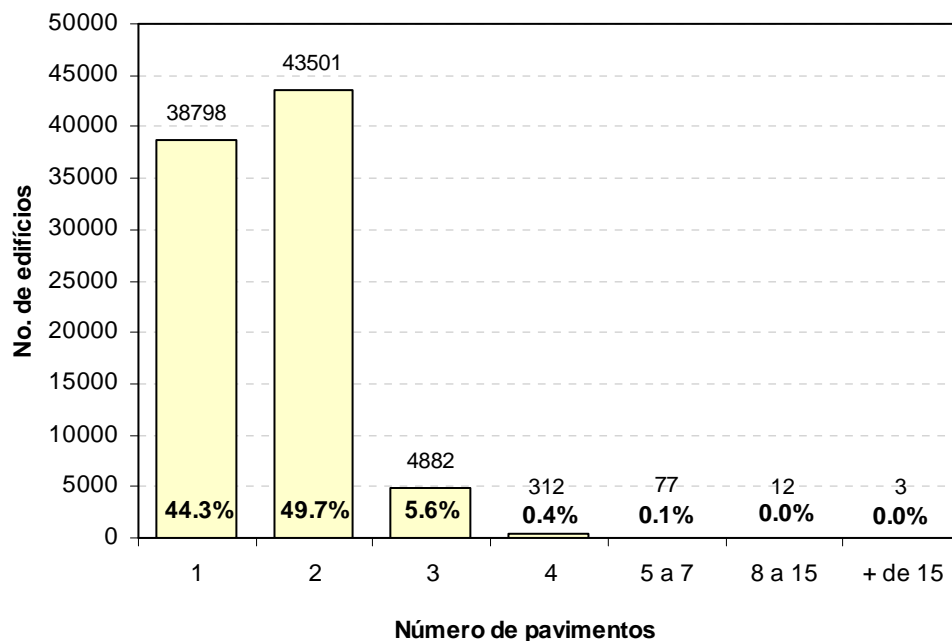


**Figura 5.8** – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

No quadro 5.6 apresenta-se a distribuição dos elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios. Na figura 5.9 ilustra-se a distribuição do número de edifícios pelo respectivo número de pavimentos.

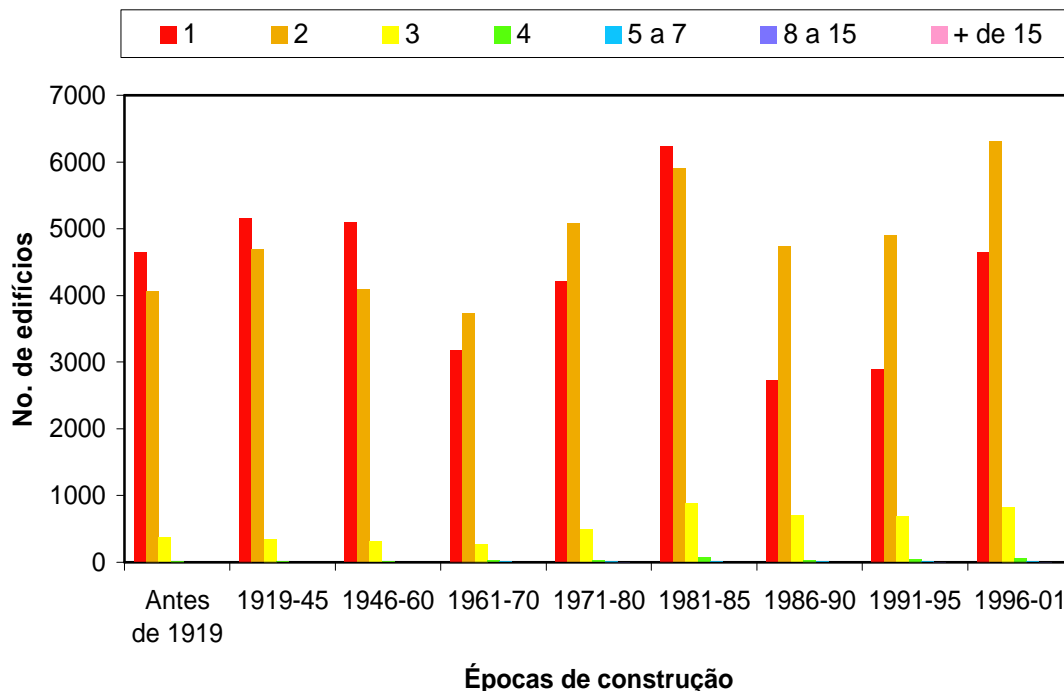
**Quadro 5.6** – Distribuição de elementos em risco por número de pavimentos dos edifícios (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Pavimentos	Edifícios		Alojamentos		Ocupantes	
	[#]	[%]	[#]	[%]	[#]	[%]
1	38 798	44,3	39 117	42,1	92 541	38,5
2	43 501	49,7	45 456	48,9	125 657	52,3
3	4 882	5,6	6 181	6,7	17 770	7,4
4	312	0,4	1 180	1,3	2 713	1,1
5-7	77	0,1	546	0,6	1 011	0,4
8-15	12	0,0	261	0,3	495	0,2
+ de 15	3	0,0	126	0,1	122	0,1
Total	87 585	100	92 867	100	240 309	100

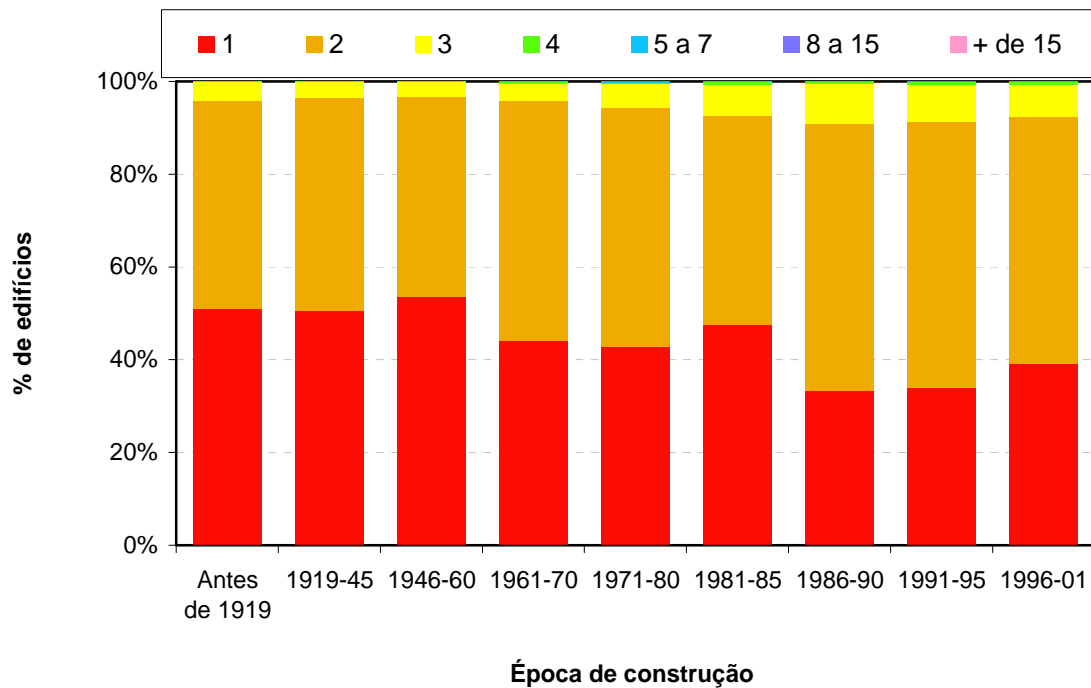


**Figura 5.9** – Número de edifícios por número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Nas figuras 5.10 e 5.11 ilustram-se os apuramentos relativos aos cruzamentos das variáveis número de pavimentos e época de construção dos edifícios.

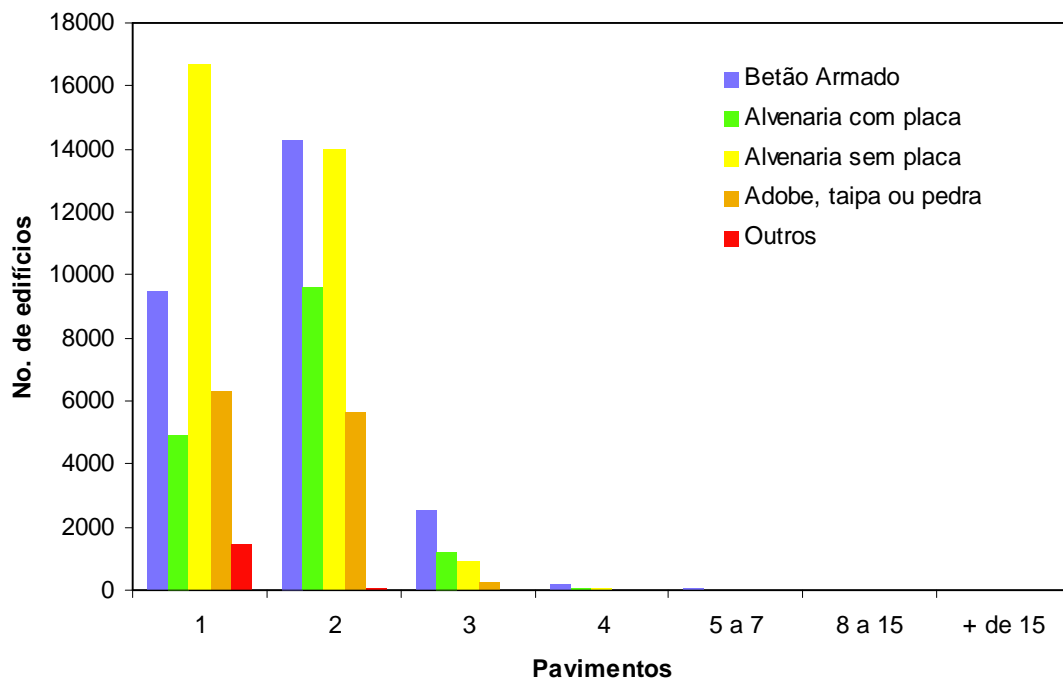


**Figura 5.10** – Número de edifícios por época de construção e número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

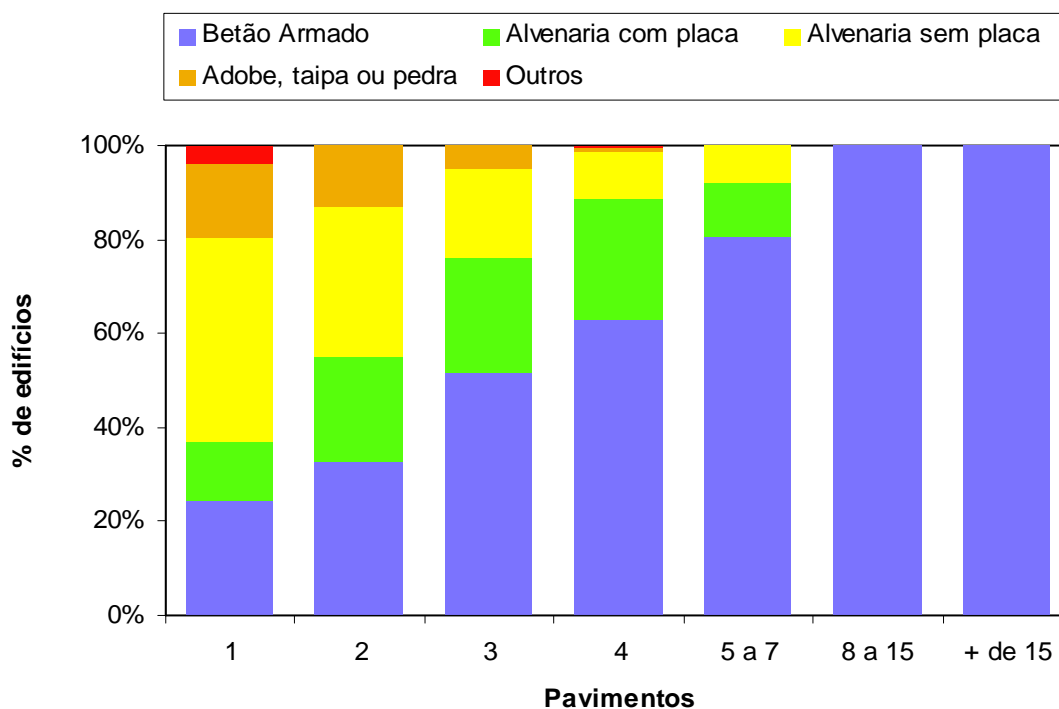


**Figura 5.11** – Percentagem de edifícios por número de pavimentos dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

As figuras 5.12 e 5.13 ilustram os quantitativos de edifícios resultantes dos cruzamentos das variáveis número de pavimentos e tipo de estrutura.



**Figura 5.12** – Número de edifícios por número de pavimentos e tipo de estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)



**Figura 5.13** – Percentagem de edifícios por tipo de estrutura dado o número de pavimentos (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

No quadro 5.7 são identificados os dois tipos de estrutura mais representativos de cada época de construção, em que as percentagens apresentadas são relativas às existências globais de edifícios no território analisado.

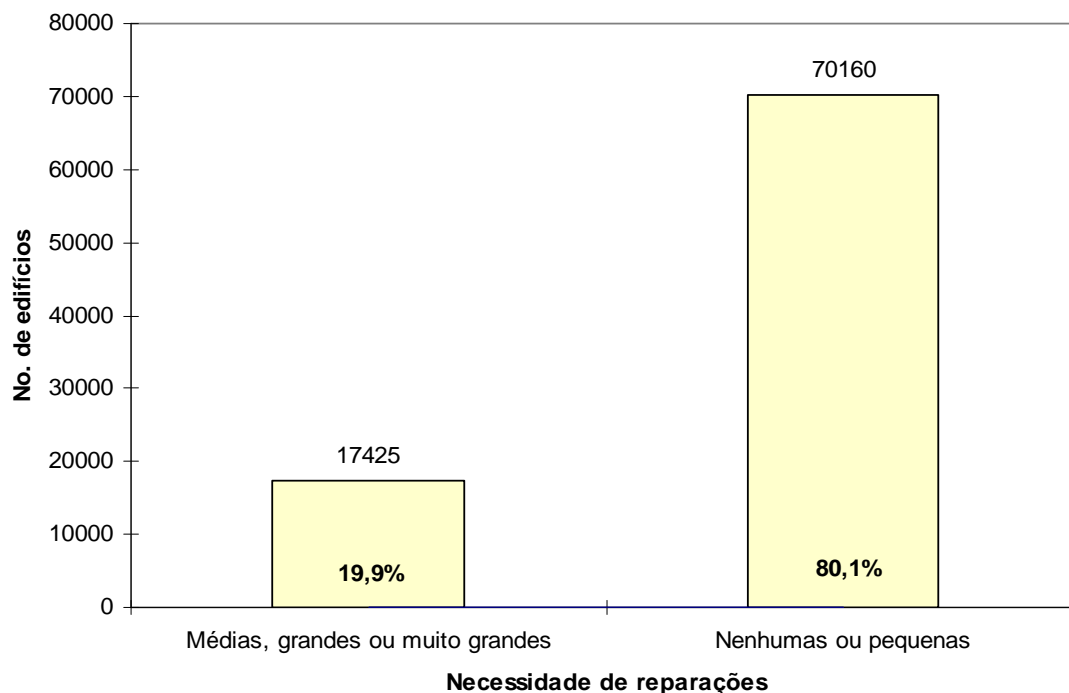
**Quadro 5.7** – Tipos de estruturas predominantes em cada época de construção dos edifícios do Arquipélago dos Açores (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Época de construção	Tipo mais frequente		2º Tipo mais frequente	
	Tipo de estrutura	Edifícios [%]	Tipo de estrutura	Edifícios [%]
Antes de 1919	ASP	5,4	ATAPS	4,9
1919 a 1945	ASP	6,4	ATAPS	3,2
1946 a 1960	ASP	6,1	ACP	1,6
1961 a 1970	ASP	3,8	BA	2,1
1971 a 1980	ASP	4,0	BA	3,8
1981 a 1985	BA	5,9	ASP	4,6
1986 a 1990	BA	4,9	ACP	2,3
1991 a 1995	BA	4,8	ACP	2,6
1996 a 2001	BA	6,6	ACP	3,2

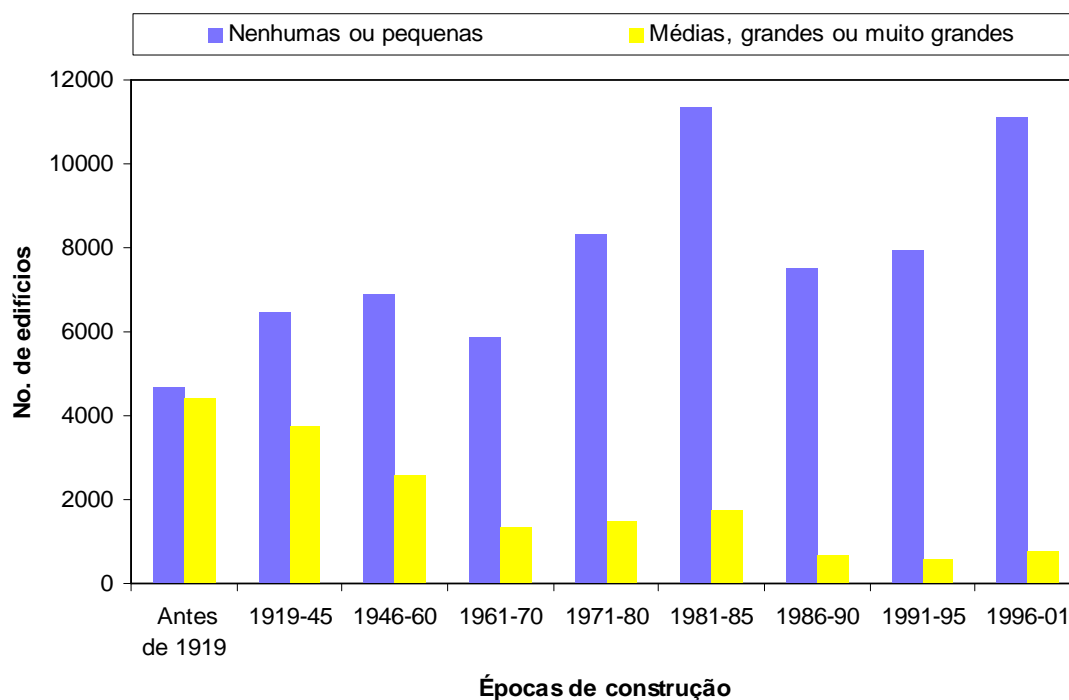
Na figura 5.14 apresentam-se o número de edifícios em função da variável *Necessidade de Reparações* na estrutura, cujas modalidades foram agrupadas em duas grandes classes. A primeira classe agrupa as duas primeiras modalidades desta variável (ou seja, *Sem necessidade de reparação* e *A necessitar de pequenas reparações*, ver quadro 5.2) e a segunda classe agrupa as restantes modalidades dessa variável. Na figura 5.15 ilustra-se o número de edifícios em função da variável *Necessidade de Reparações* na estrutura, por época de construção.

Por fim, no quadro 5.8 condensa-se toda a informação, resultante dos apuramentos efectuados nos Censos 2001, evidenciando os quantitativos de edifícios obtidos dos cruzamentos dos factores de vulnerabilidade analisados. Como já foi referido foram contempladas 9 modalidades da variável, *épocas de construção*, por 7 classes da variável de *número de pavimentos* e por 5 modalidades da variável *tipo de estrutura*.

De acordo com estes cruzamentos ( $9 \times 7 \times 5$ ) deveriam ter sido apurados os quantitativos de edifícios pertencentes a 315 tipologias construtivas, e que se denominam neste trabalho de tipologias Censos 2001. Porém, algumas destas tipologias não possuem existências no parque habitacional do Arquipélago dos Açores, sendo assinaladas pelo fundo cinzento das respectivas células, tendo como consequência a redução do número de tipologias representadas nos Censos 2001 de 315 para 178.



**Figura 5.14** – Número de edifícios por Necessidade de Reparações na estrutura (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)



**Figura 5.15** – Número de edifícios por *Necessidade de Reparações* na estrutura, dada a época de construção (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)



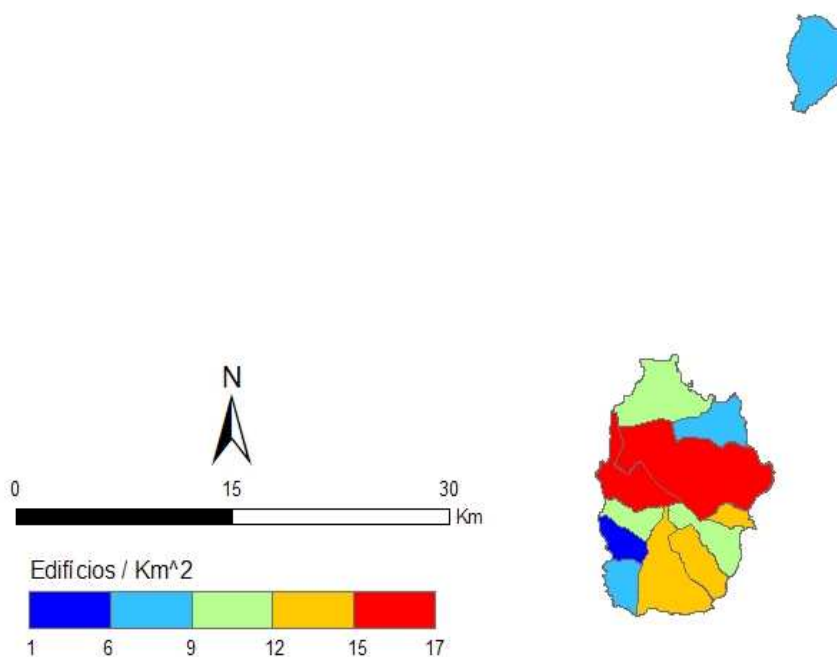
**Quadro 5.8** - Quantitativos de edifícios por época de construção, tipo de estrutura e número de pavimentos (Censos 2001) (Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

Época	Nº pavimentos	Betão	ACP	ASP	ATAPS	Outros
Antes de 1919	1	0	0	2352	2281	9
	2	0	0	2149	1912	9
	3	0	0	240	125	1
	4	0	10	9	0	0
	5 a 7	0	0	2	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 9099</b>	<b>0</b>	<b>10</b>	<b>4752</b>	<b>4318</b>	<b>19</b>	
1919 a 1945	1	250	498	2700	1676	31
	2	270	586	2685	1127	18
	3	52	57	190	39	4
	4	3	2	8	0	1
	5 a 7	0	0	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 10197</b>	<b>575</b>	<b>1143</b>	<b>5583</b>	<b>2842</b>	<b>54</b>	
1946 a 1960	1	688	542	2983	700	178
	2	477	755	2254	596	9
	3	54	101	133	21	2
	4	3	3	2	0	0
	5 a 7	31	0	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 9502</b>	<b>1223</b>	<b>1401</b>	<b>5372</b>	<b>1317</b>	<b>189</b>	
1961 a 1970	1	786	379	1666	333	18
	2	958	867	1560	347	3
	3	98	99	67	6	0
	4	18	4	1	2	0
	5 a 7	9	1	0	0	0
	8 a 15	0	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 7222</b>	<b>1869</b>	<b>1350</b>	<b>3294</b>	<b>688</b>	<b>21</b>	
1971 a 1980	1	1263	649	1839	393	68
	2	1723	1251	1627	474	4
	3	271	135	69	19	0
	4	19	8	4	0	0
	5 a 7	14	2	2	0	0
	8 a 15	4	0	0	0	0
	+ de 15	2	0	0	0	0
<b>Total = 9840</b>	<b>3296</b>	<b>2045</b>	<b>3541</b>	<b>886</b>	<b>72</b>	
1981 a 1985	1	2099	973	2451	357	363
	2	2558	1532	1444	365	2
	3	522	240	108	12	0
	4	52	14	3	1	0
	5 a 7	12	1	1	0	0
	8 a 15	1	0	0	0	0
	+ de 15	1	0	0	0	0
<b>Total = 13112</b>	<b>5245</b>	<b>2760</b>	<b>4007</b>	<b>735</b>	<b>365</b>	
1986 a 1990	1	1301	514	769	127	13
	2	2467	1329	729	201	1
	3	492	173	32	4	1
	4	30	7	1	0	0
	5 a 7	5	2	0	0	0
	8 a 15	1	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 8199</b>	<b>4296</b>	<b>2025</b>	<b>1531</b>	<b>332</b>	<b>15</b>	
1991 a 1995	1	1293	570	830	191	11
	2	2425	1514	734	227	1
	3	477	171	33	6	0
	4	33	9	1	0	0
	5 a 7	8	1	0	0	0
	8 a 15	3	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 8538</b>	<b>4239</b>	<b>2265</b>	<b>1598</b>	<b>424</b>	<b>12</b>	
1996 a 2001	1	1784	805	1096	236	733
	2	3374	1771	787	370	9
	3	550	220	47	10	1
	4	39	22	3	0	0
	5 a 7	13	2	1	0	0
	8 a 15	3	0	0	0	0
	+ de 15	0	0	0	0	0
<b>Total = 11876</b>	<b>5763</b>	<b>2820</b>	<b>1934</b>	<b>616</b>	<b>743</b>	
<b>Totais</b>	<b>Tipo de estrutura</b>	<b>26506</b>	<b>15819</b>	<b>31612</b>	<b>12158</b>	<b>1490</b>
<b>1 pavimento</b>	<b>2 pavimentos</b>	<b>3 pavimentos</b>	<b>4 pavimentos</b>	<b>5 a 7 pavimentos</b>	<b>8 a 15 pavimentos</b>	<b>+ de 15 pavimentos</b>
<b>38798</b>	<b>43501</b>	<b>4882</b>	<b>312</b>	<b>77</b>	<b>12</b>	<b>3</b>

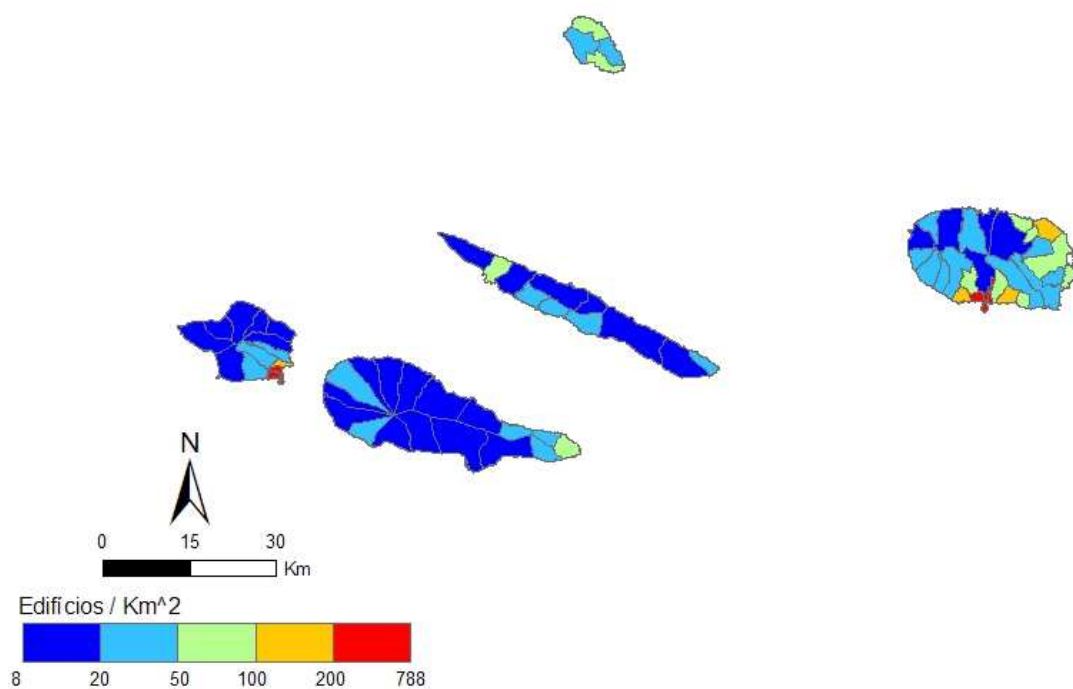
### 5.3.3. Distribuição geográfica dos elementos em risco

Para analisar a forma como os elementos em risco se distribuem geograficamente, foram elaborados mapas de densidades de edifícios, por unidade geográfica da freguesia do Arquipélago dos Açores.

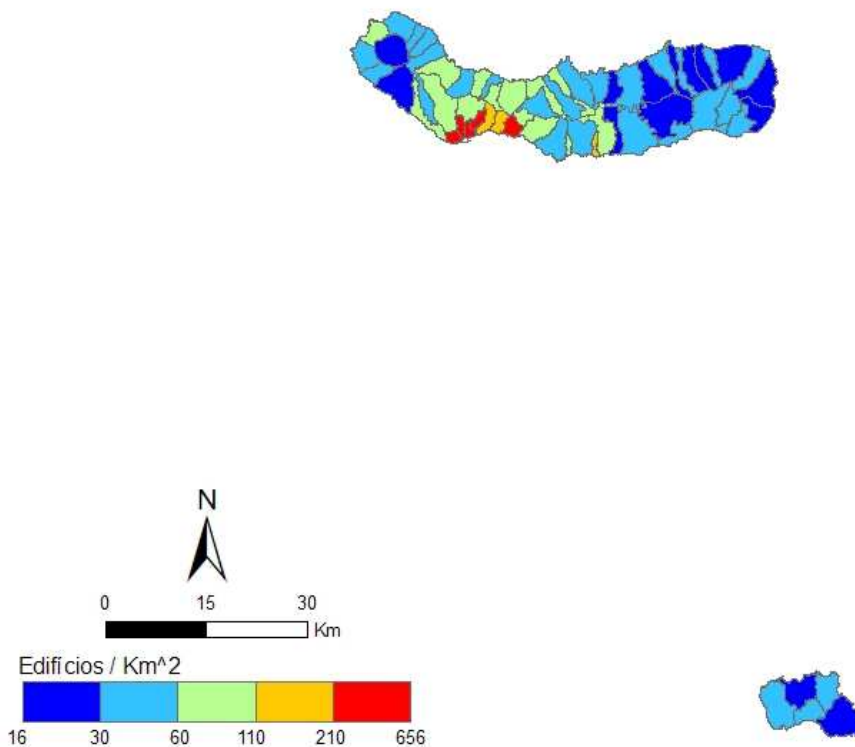
Com o objectivo de se apresentar uma visão de maior pormenor da distribuição geográfica das densidades anteriormente mencionadas, os mapas são apresentados para os grupos Ocidental, Central e Oriental do Arquipélago dos Açores (figuras 5.16 a 5.18).



**Figura 5.16** – Densidade de edifícios no grupo Ocidental do Arquipélago dos Açores  
(Fonte: Sousa & Afonso, 2007)



**Figura 5.17** – Densidade de edifícios no grupo Central do Arquipélago dos Açores  
(Fonte: Sousa & Afonso, 2007)



**Figura 5.18** - Densidade de edifícios no grupo Oriental do Arquipélago dos Açores  
(Fonte: Sousa & Afonso, 2007)

#### **5.3.4. Análise das estatísticas dos elementos em risco**

Da análise das figuras e quadros da secção 5.3 é possível tecer as seguintes considerações sobre o parque habitacional do Arquipélago dos Açores e dos seus ocupantes, tendo como base os registos dos Censos 2001:

1. Os valores globais dos elementos expostos analisados situam-se em 87 585 de edifícios de habitação, contendo 92 867 alojamentos (familiares clássicos e colectivos) e albergando 240 309 habitantes (quadro 5.3), o que representa, respectivamente, 3%, 2% e 2% de edifícios, alojamentos e ocupantes do parque habitacional de Portugal.
2. Nas figuras 5.2 a 5.4 é possível verificar que as existências com mais de quarenta anos à data dos Censos 2001, ou seja, anteriores à época de 1961-1970, representam 33% dos edifícios, 32% dos alojamentos (familiares clássicos e colectivos) e albergam 27% da população. Verifica-se ainda que, no parque habitacional recenseado em 2001, a percentagem de edifícios construídos nas duas últimas décadas do século XX é muito superior à dos períodos anteriores. Assim, 24% do parque habitacional de 2001 foi construído na década de 80 e 23% na de 90, contrastando com os restantes 53% do parque que foi construído antes da década de 1980.
3. O número médio de alojamentos por edifício (figura 5.5) manteve-se próximo da unidade para os edifícios construídos até à década de 60, verificando-se um crescimento para valores próximos de 1,1 alojamentos por edifício no caso de edifícios construídos em data posterior. Globalmente, o valor médio da razão alojamento/edifício situa-se próximo de 1,06, notando-se que nos edifícios construídos depois da década de 60 essa razão é ligeiramente superior à média. Tal facto indica uma tendência para a construção de edifícios de maior porte em épocas mais recentes o que é consentâneo com o aumento, com a época de construção, do número de edifícios com 2 e mais pavimentos (ver figuras 5.11 e 5.12). No que diz respeito à razão ocupantes / alojamento, o seu valor médio global situa-se próximo de 2,59 (figura 5.6), notando-se que esta razão apresenta uma tendência de crescimento com a época de construção do edifício, exceptuando no que toca aos edifícios construídos na década de 90 em que essa tendência se inverte.

4. O quadro 5.4 permite constatar que as existências de edifícios construídos em data anterior à da entrada em vigor do primeiro regulamento de projecto sísmo-resistente representavam 33% do parque habitacional Açoriano. Repara-se também que as percentagens de alojamentos e ocupantes residentes nestes edifícios são ligeiramente inferiores, atingindo os valores de 32% e 27%, respectivamente. Comparativamente com o Continente, os Açores têm uma percentagem superior de edifícios construídos em data anterior da entrada em vigor do primeiro regulamento (30% no Continente 33% nos Açores). No quadro 5.5 observa-se que a percentagem de edifícios com estrutura de Betão armado construídos durante a vigência dos dois regulamentos é próxima, com uma diferença de quatro pontos percentuais a favor das épocas mais recentes. Note-se porém, que o primeiro regulamento cobre um período de cerca de 25 anos, enquanto que o regulamento actualmente em vigor cobre um período de apenas 15 anos.
5. Relativamente à distribuição do número de edifícios por tipo de estrutura da construção (figura 5.7), verifica-se que os edifícios com o tipo de estrutura de Paredes de alvenaria argamassada, sem placa, são os que têm maior peso no parque habitacional do Arquipélago dos Açores, representando 36% deste parque, sendo seguidos pelos edifícios com estrutura de Betão armado e com Paredes de alvenaria argamassada, com placa, representando cerca de 30% e 18% do parque habitacional, respectivamente. Os restantes edifícios, ou seja, os com estrutura do tipo Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta e Outros representam cerca de 16% do parque habitacional.

No parque habitacional do Arquipélago dos Açores a percentagem de edifícios de Betão armado é semelhante à do parque habitacional de Portugal Continental (30%), enquanto que a classe modal da estrutura de edifícios neste território é, como foi referido, o tipo de Paredes de alvenaria argamassada sem placa que contrasta com uma incidência consideravelmente mais reduzida no Continente (17% face aos 36% do Arquipélago dos Açores). Também a percentagem de edifícios com estrutura do tipo Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta é superior nos Açores (14%) à existente no território do Continente (11%).

6. As figuras 5.8 e 5.9 permitem concluir que os edifícios com tipo de estrutura de Paredes de alvenaria argamassada, com placa e Betão armado têm, progressivamente, um maior peso nas existências de edifícios construídos em épocas de construção mais recentes. No que diz respeito aos edifícios com estrutura do tipo Paredes de alvenaria argamassada, sem placa e Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta verifica-se o inverso, embora estes edifícios estejam sempre representados em todas as épocas de construção. No Continente este padrão é diferente na medida em que os edifícios de alvenaria com placa têm uma representatividade muito superior nas épocas de construção mais recentes [Sousa, 2006].
7. Os edifícios com um pavimento (quadro 5.6 e figura 5.10) representam cerca de 44% do parque habitacional Açoriano, enquanto que a representação dos edifícios com dois pavimentos é da ordem dos 50%. Apenas 6% dos edifícios do parque habitacional do Arquipélago dos Açores apresentam mais de dois pavimentos, valor bastante inferior aos 15% do Continente [Sousa, 2006]. No quadro 5.6 verifica-se que a percentagem de edifícios com um e dois pavimentos (94%) é superior às percentagens de alojamentos e de ocupantes em edifícios de um e dois pavimentos (91%). Verifica-se ainda (figuras 5.11 e 5.12) que em épocas de construção mais recentes ocorre um decréscimo da percentagem de edifícios com um pavimento, passando de uma incidência de 52% nas épocas mais antigas para 38% na época de 1996 a 2001.
8. Nas figuras 5.13 e 5.14 observa-se que as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa são o tipo de estrutura maioritária nos edifícios com 1 pavimento. Nos edifícios com 2 pavimentos o tipo de estrutura anterior tem igual incidência ao de Betão armado. De notar que o Betão armado assume um papel preponderante na estrutura dos edifícios com 4 ou mais pavimentos, sendo o único tipo de estrutura observada em edifícios com 8 ou mais pavimentos.
9. Tendo em conta o quadro 5.7, verifica-se que, à data dos Censos 2001, as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa eram o tipo de estrutura predominante nos edifícios construídos em épocas anteriores a 1980. Nos edifícios construídos em data posterior a 1980, a estrutura de Betão armado

passou a ser a mais frequente. Por outro lado, as Paredes de adobe, taipa ou de alvenaria de pedra solta são o segundo tipo de estrutura mais frequente nos edifícios construídos até 1945. Nas épocas posteriores o segundo tipo de estrutura mais frequente alternou entre as Paredes de alvenaria argamassada, com placa (1946 a 1960 e 1986 a 2001), o Betão armado (1961 a 1980) e as Paredes de alvenaria argamassada, sem placa (1981 a 1985).

10. Sobre os novos factores de vulnerabilidade apurados no Questionário de Edifício dos Censos 2001, e no que diz respeito às Necessidades de Reparações Na estrutura verifica-se, na figura 5.15, que cerca de 20% dos edifícios do parque habitacional necessitam de obras de reparação na estrutura, o que contrasta com os 80% de edifícios que não necessitam de reparações, ou necessitam de pequenas reparações na estrutura. Verifica-se que este panorama é muito semelhante ao que ocorre, à data dos Censos 2001, no parque habitacional de Portugal Continental. Na figura 5.16 constata-se que estas Necessidades de Reparações se correlacionam com a idade dos edifícios, sendo os edifícios mais antigos os que, naturalmente, necessitam de maiores reparações.

### **5.3.5. Análise da distribuição geográfica dos elementos em risco**

Da análise dos mapas constantes da secção 5.3 é possível efectuar as seguintes observações sobre o parque habitacional do Arquipélago dos Açores e seus ocupantes, à data dos Censos 2001:

1. As freguesias com maior densidade de edifícios de habitação, alojamentos e ocupantes situam-se nos principais centros urbanos dos grupos Central e Oriental do Arquipélago dos Açores. No grupo Central destacam-se as freguesias da cidade da Horta (ilha do Faial) e da cidade de Angra do Heroísmo (ilha Terceira). No grupo Oriental destacam-se as freguesias da cidade de Ponta Delgada (ilha de S. Miguel). Verifica-se também que as freguesias litorais são as que apresentam a maior densidade de elementos em risco. É sabido que, regra geral, no Arquipélago dos Açores, e reportando às freguesias não urbanas, as maiores densidades dos

elementos em risco se concentram numa faixa litoral dessas freguesias, embora a análise agora efectuada com a desagregação geográfica da freguesia não permita chegar a esta conclusão.

2. O grupo Ocidental é aquele que apresenta uma menor densidade de edifícios, de alojamentos e de ocupantes de todo o Arquipélago. Nos restantes grupos, é a ilha de Santa Maria no grupo Oriental e as ilhas de S. Jorge, Graciosa e Pico no grupo Central que apresentam uma menor densidade dos referidos elementos em risco.

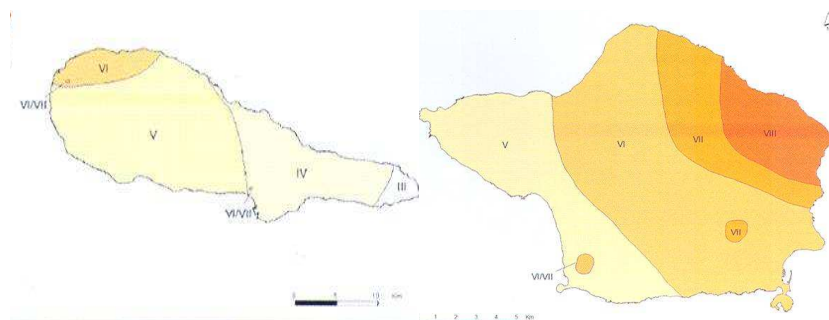
## 5.4. Modelação de Cenários Sísmicos no Arquipélago dos Açores

### 5.4.1. Enquadramento

De modo a avaliar o impacto de sismos no Arquipélago dos Açores pretende-se exemplificar um caso de aplicação de modelação de um determinado cenário neste Arquipélago, através do Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, em ambiente WebSIG.

Desta forma, como exemplo de modelação de um cenário sísmico, simulou-se um evento semelhante ao sismo ocorrido no dia 9 de Julho de 1998 e que afectou, maioritariamente, as ilhas do Faial e do Pico pertencentes ao Grupo Central do Arquipélago dos Açores.

A Figura 5.19 ilustra duas cartas de isossistas, deste sismo, para as ilhas do Faial e do Pico.



**Figura 5.19** – Cartas de isossistas do sismo de 1998 nas ilhas do Faial e do Pico (**Fonte: Senos et al, 2008**)



A escolha deste cenário sísmico tem dois motivos principais: O primeiro decorre do facto de, no âmbito da presente tese de Mestrado, o Simulador ter sido actualizado para o Arquipélago dos Açores, e portanto o interesse em ilustrar um exemplo para a região portuguesas com maior actividade sísmica e em segundo deve-se ao facto de neste sismo, se conhecer a distribuição dos danos e perdas que ocorreram nas ilhas do Faial e do Pico.

#### 5.4.2. Danos e perdas observadas no sismo de 9 de Julho de 1998

Para se obterem os valores dos danos e perdas observadas no sismo de 9 de Julho de 1998, recorreu-se para o efeito ao levantamento dos danos verificados no sismo de 1998, efectuado por Ferreira [2008], tendo por base as fotografias de edifícios constantes dos «Autos de Vistoria» realizados no terreno após o sismo de 1998 e a informação sobre danos e custos constante de bases de dados construídas nos anos que se seguiram ao sismo. Com base nestes elementos a autora classificou 2 030 edifícios da ilha do Faial e 885 edifícios da ilha do Pico, nos graus de dano da escala de intensidades macrossísmica EMS-98.

No âmbito do projecto USuET, o Instituto de Engenharia de Estruturas, Território e Construção (ICIST) disponibilizou ao LNEC, com o nível de desagregação da freguesia, a informação sobre os danos recolhidos no levantamento referido [Ferreira, 2008] e que a seguir se resume no quadro 5.9.

**Quadro 5.9** - Levantamento de danos de Ferreira [2008] para as ilhas do Faial e Pico (Fonte: Sousa & Afonso, 2008)

Grau de dano EMS-98	Nº de edifícios no Faial	Nº de edifícios no Pico
D0	235	302
D1	411	210
D2	520	157
D3	415	130
D4	360	79
D5	89	7
Total	2030	885

No quadro 5.10 apresenta-se o número de vítimas mortais que ocorreram no Arquipélago dos Açores em consequência do sismo de 9 de Julho de 1998.

**Quadro 5.10** – Número de mortos por freguesia (ilha do Faial) no sismo de 1998 (**Fonte: Gonçalves, 2008**)

Freguesia	Nº de vítimas mortais
Ribeirinha	5
Pedro Miguel	2
Salão	1

#### **5.4.3. Actualização do inventário dos elementos em risco considerando o sismo de 9 de Julho de 1998**

Durante o IV Recenseamento Geral da Habitação realizado pelo Instituto Nacional de Estatística em 2001 (Censos 2001), não foram apurados os edifícios que ficaram danificados e que permaneceram não habitáveis em consequência do sismo de 9 de Julho de 1998 [Sousa & Afonso, 2008]. Desta forma, se as perdas e danos fossem modelados tendo em consideração os elementos em risco apurados nos Censos 2001, não seria de esperar que os danos do sismo de 1998 fossem reproduzidos, dado que o edificado mais danificado e vulnerável não teria sido considerado na exposição.

Desta forma, foi construído um novo inventário para as ilhas do Faial e do Pico, adicionando ao inventário dos Censos 2001 alguns dos edifícios danificados, em consequência dos efeitos do sismo de 1998. Recorreu-se para o efeito ao levantamento atrás referido efectuado por Ferreira [2008] que classificou os edifícios danificados de acordo com a escala macrossísmica EMS-98. A partir da informação disponibilizada por Ferreira [2008] foram considerados inabitáveis, todos os edifícios classificados nos graus de dano D4 e D5 da escala EMS-98 e 30% dos edifícios classificados no grau de dano D3.

No quadro 5.11, ilustra-se o número de edifícios classificados como não habitáveis, em consequência do sismo de 9 de Julho de 1998, derivado do número de edifícios classificados por Ferreira [2008] nos níveis de dano D3, D4 e D5 da escala macrossísmica EMS-98.

**Quadro 5.11** – Número de edifícios não habitáveis em consequência do sismo de 1998, com base no levantamento de Ferreira [2008] (**Fonte: Sousa & Afonso, 2008**)

Grau de dano EMS-98	Nº de edifícios no Faial	Nº de edifícios no Pico
30% D3	125	39
D4	359	79
D5	90	7
Total edif. inabitáveis	574	125

Desta forma, o inventário de edifícios apurados nos Censos 2001 foi actualizado da seguinte forma [Sousa & Afonso, 2008]:

1. O número de edifícios considerados não habitáveis foi adicionado aos quantitativos de edifícios existentes em tipologias semelhantes dos apuramentos efectuados nos Censos 2001;
2. Paralelamente, foi subtraído esse número de edifícios àqueles que se localizavam nas mesmas freguesias e que se encontravam classificados em:
  - a) tipologias mais recentes, com estrutura de Betão Armado (BA) ou Alvenaria com Placa (ACP) e com data de construção entre 1995 e 2001;
  - b) tipologia Outros, que se verificou ter um grande acréscimo em termos de número de edifícios na época 1995-2001 (ver quadro 5.8), pois foi nesta tipologia que se classificaram as habitações temporárias onde residiram, por um largo período de tempo, os indivíduos que ficaram desalojados em consequência do sismo de 1998.

Procedimento idêntico foi adoptado para o número de habitantes efectuando-se, por um lado, acréscimos de indivíduos entre os residentes em tipologias idênticas às dos edifícios inabitáveis e, por outro, decréscimos de indivíduos entre os residentes em tipologias com estrutura de BA e ACP, das épocas mais recentes, e circunscrevendo estas variações às freguesias de origem dos edifícios inabitáveis.

#### **5.4.4. Simulação de um cenário semelhante ao sismo do Faial em 1998**

A simulação dos efeitos do sismo da ilha do Faial foi baseada num cenário sísmico com uma magnitude de 6.2 com epicentro localizado num ponto de coordenadas (38.64°N, 28.59°W), de acordo com a proposta de Madeira *et al.*

[1998]. No que diz respeito às opções de modelação, como modelo de acção sísmica foi escolhida a lei de atenuação empírica, *Bommer et al*, [1998], e para a avaliação de danos foi seleccionado o modelo mecanicista, *FEMA & NIBS* [1999].

Na figura 5.20 ilustram-se três interfaces do Simulador LNECloss, na Web, utilizadas na referida simulação.

The figure displays three screenshots of the LNECloss simulator web interface. The top two screenshots show the 'REGIÃO A ANALISAR E MODELAÇÃO DA ACÇÃO SÍSMICA' screen. The left screenshot shows the 'REGIÃO EM ANÁLISE' dropdown menu set to 'ILHA DO FAIAL' and the 'MODELO DE ACÇÃO SÍSMICA' dropdown menu set to 'BOMMER ET AL., 1998'. The right screenshot shows the 'REGIÃO EM ANÁLISE' dropdown menu set to 'ILHA DO PICO' and the 'MODELO DE ACÇÃO SÍSMICA' dropdown menu set to 'BOMMER ET AL., 1998'. Both screenshots have 'CONSIDERAR SOLOS?' set to 'NÃO' and 'CONTINUAR' and 'CANCELAR' buttons at the bottom. The bottom screenshot shows the 'MODELO DE AVALIAÇÃO DE DANOS' screen. It has 'MODELO DE DANOS' set to 'MODELO MECANICISTA, FEMA & NIBS [1999]', 'MODELO DE PERDAS HUMANAS (COBURN & SPENCE [2002])', and 'EFICÁCIA DA RESPOSTA DE EMERGÊNCIA' set to 'PROTECÇÃO CIVIL ACTUAL'. It also has 'SIMULAR CENÁRIO' and 'CANCELAR' buttons at the bottom.

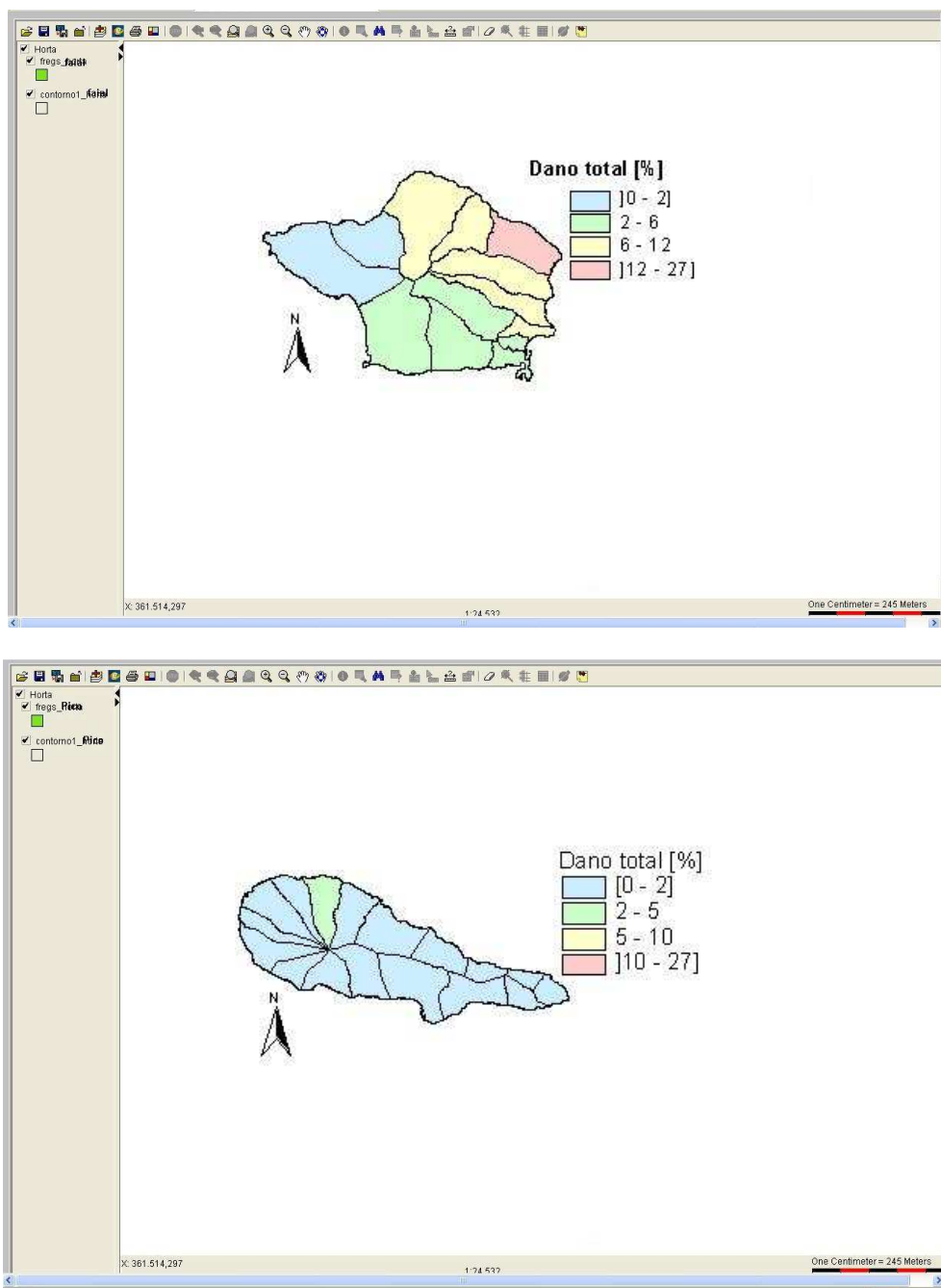
**Figura 5.20** - Topo: Interfaces de opções de modelação (região e acção sísmica); Baixo: Interface de opções de modelação do Modelo de Perdas Humanas e Avaliação de Danos (FEMA & NIBS, 1999)

No quadro 5.12 expõem-se os principais resultados globais, obtidos da simulação de um cenário semelhante ao sismo do Faial de 1998.

**Quadro 5.12** - Resultados globais da simulação para as ilhas do Faial e do Pico em termos de danos totais no edificado e perdas humanas

Ilha	Faial	Pico
Modelo de Acção Sísmica	Bommer <i>et al</i> (1998)	Bommer <i>et al</i> (1998)
Danos totais [#]	314	61
Perdas Humanas [#] Coburn & Spence (2002)	37	1
Perdas Humanas [#] FEMA & NIBS (1999)	8	1

A Figura 5.21, ilustra a distribuição geográfica de danos totais nas ilhas do Faial e do Pico, resultantes da simulação deste cenário para cada uma das ilhas.



**Figura 5.21** - Topo: Distribuição geográfica de danos no edificado da ilha do Faial (colapso total e parcial); Baixo: Distribuição geográfica de danos no edificado da ilha do Pico (colapso total e parcial)

## 5.5. Considerações Finais

A caracterização do parque habitacional baseou-se na análise do recenseamento exaustivo efectuado nos Censos 2001. Da informação destes Censos seleccionaram-se as unidades estatísticas e as variáveis pertinentes

para quantificar e caracterizar geograficamente diversos elementos em risco, em função dos factores de vulnerabilidade sísmica identificados. Foi ainda possível apontar as tipologias construtivas mais frequentes do Arquipélago dos Açores.

No que diz respeito à aplicação do Simulador LNECloss à região dos Açores, pode-se concluir que: (i) o modelo de perdas humanas *Coburn & Spence* [2002] sobrestima o número de perdas humanas; (ii) os modelos de danos e perdas devem ser calibrados de acordo com as características do parque habitacional por forma a tornar mais fiável a sua aplicação ao Arquipélago dos Açores; (iii) a flexibilidade dos modelos de danos e perdas facilita a aproximação entre simulações e observações.

Relativamente ao Simulador em ambiente WebSIG, este revelou-se uma aplicação de fácil acesso e um manuseamento de carácter simplificado. No que diz respeito à aplicação do Simulador à região dos Açores, pode-se ainda concluir que, como resultado das simulações efectuadas para o cenário sísmico de 1998 nas ilhas do Faial e do Pico, o Simulador reproduz, em geral, os danos para esta região, traduzindo os resultados finais, não só ao nível da visualização dos mapas respectivos, como também informação alfanumérica sintetizando os resultados globais da simulação.





## 6. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS FUTURAS

No final da presente tese de Mestrado importa sintetizar o trabalho desenvolvido, os resultados que se conseguiram alcançar e eventuais desenvolvimentos futuros e actualizações do projecto realizado.

Durante o decorrer desta tese foi abordado o tema da utilização de ambientes SIG para a disponibilização de informação espacial através de um meio privilegiado e com um elevado potencial de crescimento como é a Web. No caso concreto, o objecto de análise foi o Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss, sendo igualmente descrito o alargamento do seu domínio geográfico ao Arquipélago dos Açores. Abordou-se também a temática dos simuladores de cenários, em particular, dos simuladores de fenómenos sísmicos tendo em consideração a sua utilização no planeamento e na gestão da emergência.

Deste modo, inicia-se este capítulo, fazendo um resumo do trabalho desenvolvido ao longo da presente dissertação e seguindo a sequência apresentada nos capítulos da dissertação. Em seguida, expõem-se as conclusões gerais sobre os resultados atingidos e finalmente explanam-se possíveis desenvolvimentos futuros identificados ao longo do trabalho e os desafios que daí decorrem.

### 6.1. Trabalho Desenvolvido

No capítulo 2 reúne-se a terminologia aplicada em normas internacionais relativa ao conceito de *risco*, em termos gerais, e ao processo de gestão do risco. Segue-se a apresentação das definições dos principais conceitos ligados à temática específica do risco sísmico. Refere-se o ciclo de gestão da emergência, evidenciando-se as suas fases principais e a sua ligação ao processo de gestão do risco. Neste contexto, e tendo em conta a utilidade dos simuladores de cenários sísmicos no planeamento e na gestão da emergência, foi feita uma alusão a diversas ferramentas deste tipo, de âmbito nacional e internacional, destacando-se o Simulador LNECloss. Com o objectivo de se estabelecer um paralelo com trabalho desenvolvido na presente tese de Mestrado, apresentou-se um exemplo, a nível internacional, de um simulador de cenários sísmicos em ambiente WebSIG.

No capítulo 3, foram abordados temas relacionados com a distribuição e serviços de SIG na Web, tendo sido realçada a importância, os motivos e as vantagens da existência de um cada vez maior número de projectos desta natureza, sendo por outro lado referenciadas algumas das suas limitações e desvantagens. Neste âmbito, também se destacaram as diferentes estratégias de implementação de uma aplicação em ambiente WebSIG. No sentido de se compreender o funcionamento e a importância da utilização de uma arquitectura dividida em várias camadas de informação para o desenvolvimento de projectos ao nível da Web, fez-se uma breve exposição sobre a arquitectura de sistemas (arquitECTURA Cliente / Servidor), onde se destacaram as suas diversas componentes e se particularizaram para o caso da implementação de Sistemas de Informação Geográfica na Web.

Procedeu-se igualmente a uma exposição sobre o *Open Geospatial Consortium* (OGC), organismo que promove a implementação de especificações e que visa a normalização dos conteúdos e serviços na área da Informação Geográfica e da sua interoperabilidade. Foi ainda abordado o tema dos Serviços Web, ilustrando a sua arquitectura e de onde se destacaram três Serviços de implementação do OGC: **WMS**, **WFS** e **WCS**. Estes Serviços Web preconizados pelo *Open Geospatial Consortium* (OGC), pretendem uniformizar interfaces sobre todo o género de serviços, aplicações e dados, no sentido de melhorar a integração da Informação Geográfica em ambiente Web.

No capítulo 4 descreve-se o desenvolvimento do Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss num ambiente WebSIG, tendo em consideração as suas condicionantes e requisitos funcionais. Para esta implementação do Simulador na Web, foi adoptada uma arquitectura de camadas (3 camadas), seguindo o modelo clássico Cliente / Servidor de arquitectura de sistemas.

O desenvolvimento do Simulador para um ambiente WebSIG foi efectuado do ponto de vista da camada de apresentação de modelação (interface com utilizador) e do ponto de vista da camada de apresentação da Informação Geográfica (interface de visualização da Informação Geográfica).

O capítulo 5 enquadra a aplicação do Simulador WebSIG ao Arquipélago dos Açores. Neste capítulo descreve-se a actualização do Simulador LNECloss, no

que concerne ao alargamento do seu domínio geográfico ao Arquipélago dos Açores. Integrada nessa actualização, procedeu-se ao inventário dos elementos em risco (edifícios, alojamentos e ocupantes) para a região em causa a partir de informação apurada nos Censos 2001. Da informação dos Censos 2001 seleccionaram-se as unidades estatísticas e as variáveis pertinentes para quantificar e caracterizar geograficamente diversos elementos em risco, em função de factores de vulnerabilidade sísmica identificados. Foi também realizada uma análise estatística dos quantitativos dos referidos elementos, bem como uma análise da sua distribuição geográfica. Foi ainda possível apontar as tipologias construtivas mais frequentes do Arquipélago dos Açores.

Por fim, como caso de aplicação do Simulador LNECloss em ambiente WebSIG, efectuou-se a modelação de um cenário sísmico no Arquipélago dos Açores, mais concretamente de um cenário semelhante ao do sismo de 1998 que afectasse as ilhas do Faial e do Pico do grupo Central deste Arquipélago, para o qual foi necessário actualizar o inventário de edifícios e população disponível.

## **6.2. Conclusões Gerais**

A tecnologia WebSIG, como transparece do conteúdo do presente trabalho, possui um vasto conjunto de aplicações, mostrando ser capaz de se adaptar a temáticas diversas, permitindo aliar a disponibilização de um grande volume de Informação Geográfica e a realização de funções e obtenção de resultados muito similares aos existentes num ambiente SIG *desktop*. Desta forma, uma das grandes vantagens desta tecnologia, é a possibilidade de os utilizadores acederem a diversas funcionalidades dos Sistemas de Informação Geográfica, sem necessitarem de desenvolver competências em SIG, e/ou adquirirem *software* específico na área dos Sistemas de Informação Geográfica.

Apreciando de uma forma global o trabalho desenvolvido, pode concluir-se que este cumpriu os seus principais objectivos, nomeadamente ao nível da implementação do Simulador LNECloss na Web e, paralelamente a sua actualização para o Arquipélago dos Açores, que é a região de maior sismicidade do País.

Uma vez disponibilizado o Simulador LNECloss na Web, preconiza-se que este serviço poderá ter alguma utilidade para entidades responsáveis pelo planeamento e gestão de emergência. Com efeito uma correcta gestão da informação constitui um factor crítico de sucesso na gestão da emergência, evidenciando-se o papel dos simuladores de cenários como ferramentas de apoio à decisão neste tipo de situações.

A montante das situações de emergência, outros intervenientes poderão beneficiar desta aplicação, nomeadamente os interessados em definir as melhores estratégias de mitigação do risco sísmico, que poderão estudar cenários alternativos, em termos de ocorrência, área geográfica de incidência, ou tipo de construção sobre a qual intervir.

Deste modo, no modelo de arquitectura e na avaliação das diferentes tecnologias a utilizar para a implementação do Simulador LNECloss na Web, interessou considerar a necessidade dos conteúdos disponibilizados na Web se encontrarem actualizados. O desempenho é um aspecto fulcral em aplicações Web e no que diz respeito ao Simulador LNECloss, este incorpora, para além de interfaces de interacção com o utilizador, a disponibilização de mapas e como tal, normalmente existe a necessidade de processar um grande volume de dados, tornando-se importante uma boa configuração, seja ao nível da base de dados, quer ao nível das outras tecnologias que permitem que a aplicação funcione correctamente.

Relativamente ao alargamento do âmbito geográfico do Simulador para o Arquipélago dos Açores a análise estatística dos dados recolhidos nos Censos 2001 do parque habitacional Açoriano sugere que este é sísmicamente mais vulnerável que o Continental.

Pode concluir-se ainda, como resultado de algumas simulações de teste efectuadas de cenários sísmicos que afectaram o Arquipélago dos Açores, nomeadamente o cenário sísmico de 1998 nas ilhas do Faial e do Pico que o Simulador LNECloss em ambiente WebSIG,, além de possuir um fácil acesso e possuir um carácter simplificado (por exemplo ao nível das interfaces), reproduz, de forma satisfatória, os danos observados em sismos já ocorridos nesta região. Os resultados finais da operação do Simulador traduzem-se pela

construção de mapas e armazenamento de informação alfanumérica quantificando os efeitos do cenário simulado. A duração do processamento é variável dependendo das opções escolhidas e da capacidade do Servidor Web.

### **6.3. Perspectivas e Desenvolvimentos Futuros**

Em termos de perspectivas futuras, o progresso do Simulador de Cenários Sísmicos, LNECloss em ambiente WebSIG compreende, desejavelmente, a sua utilização face a uma ocorrência sísmica, por entidades envolvidas no planeamento e na gestão da emergência, no sentido de averiguar o seu grau de desempenho e de recolher sugestões para o seu aperfeiçoamento. Contudo, e apesar de se dever continuar a realização de mais testes, seria de grande utilidade, a introdução de alguma optimização ao nível da manipulação dos ficheiros de dados provenientes das rotinas, em FORTRAN 90, do Simulador, de forma a poder aumentar a sua *performance*.

Ao nível do Servidor de Aplicações SIG, perspectiva-se a actualização do servidor de mapas para uma tecnologia mais recente, com seja o ambiente *ArcGIS Server* (desenvolvido pela ESRI®), permitindo, dessa forma, melhorias ao nível de funcionalidades da interface de visualização da informação espacial e uma melhor gestão de toda a aplicação. Desta forma, esta actualização, poderá vir a ser acompanhada de uma possível migração do Simulador LNECloss em ambiente *desktop*, para outro ambiente de SIG como o software *ArcGIS* (desenvolvido pela ESRI®).

Identifica-se ainda como fundamental, o desenvolvimento de uma interface de ajuda, no contexto da implementação do Simulador na Web. Esta interface terá como objectivo auxiliar e fornecer informação complementar aos diversos utilizadores que pretendam modelar um cenário sísmico, permitindo desta forma uma navegação simplificada e objectiva.

Preconiza-se ainda que, no futuro, os simuladores de cenários sísmicos sofram outros desenvolvimentos relevantes, nomeadamente a actualização em tempo real face à ocorrência, envolvendo a reavaliação dos resultados das simulações. Perspectivam-se duas hipóteses de actualização da informação:

(i) incluir, de uma forma automática, informação instrumental sobre a acção sísmica, proveniente, por exemplo, acelerómetros ligados ao sistema [Campos Costa & Sousa, 2004];

(ii) englobar informação fornecida por forças no terreno no que concerne aos danos e perdas observados.

Deste modo, a arquitectura do Simulador teria de contemplar possíveis actualizações por utilizadores credenciados.

Com este trabalho, reforça-se a ideia da difusão da Informação Geográfica via Web, ao mesmo tempo que se abrem novas perspectivas para que várias aplicações SIG *desktop* possam ser disponibilizadas em ambientes WebSIG e que toda a informação inerente possa ser disponibilizada para a comunidade em geral.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alves, E. I., 1999

**Elementos de Geofísica. III – Sismologia.** Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra. Coimbra.

Anderson, M., Serrano, S., Oliveira, C.S., 2004

**Potencialidades do Simulador de Risco Sísmico da AML no apoio à Decisão.** Actas do 6º Congresso Nacional de Sismologia e Engenharia Sísmica.

Araújo, M., 2005

**Web Services na Informação Geográfica.** Tese de Mestrado. Universidade do Minho. Portugal

AS/NZS, 2004

**Risk Management.** Austrália / New Zealand

Barbat, A.H. & Pujades, L., 2004

**Evaluación de la vulnerabilidad y del riesgo sísmico en zonas urbanas. Aplicación a Barcelona.** Actas do 6º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica. Escola de Engenharia. Universidade do Minho. Guimarães. pp. 229-252.

Cabral, P., 2001

**Sistemas Espaciais de Apoio à Decisão – O Sistema de Apoio ao Licenciamento da Direcção Regional do Ambiente do Alentejo.** Tese de Mestrado. IST. Universidade Técnica de Lisboa. Lisboa.

Campos Costa, A., Sousa, M. L., Carvalho, A., Bilé Serra, J., Martins, A. & Carvalho, E., 2004

**Simulador de Cenários Sísmicos integrado num Sistema de Informação Geográfica.** 7º Encontro Nacional sobre Sismologia e Engenharia Sísmica, pp. 455- 464, Guimarães.

Campos Costa, A. & Sousa, M. L.; 2004

**Simulador de Cenários Sísmicos. Apresentação e discussão dos resultados.** /Workshop/ Planeamento de Emergência. O Risco Sísmico na AML, organizado pelo Serviço Nacional de Protecção Civil, Oeiras.

Carvalho, E. C., Campos Costa, A., Sousa, M. L., Martins, A., Serra, J.B., Caldeira. L. & Gomes Coelho, A., 2002

**Caracterização, Vulnerabilidade e Estabelecimento de Danos para o Planeamento de Emergência sobre o Risco Sísmico na Área Metropolitana de Lisboa e nos Municípios de Benavente, Salvaterra de Magos, Cartaxo, Alenquer, Sobral de Monte Agraço, Arruda dos Vinhos e Torres Vedras. Relatório final.** Relatório 280/2002, G3ES, 171 pp., 109 figuras, 22 quadros, Proc. 037/1/13810, LNEC, Lisboa.

Charneca, N. & Silva, S., 2003

**Estudo das Condições Ambientais no Estuário do rio Guadiana e Zonas Adjacentes - 3ª Fase Sistema de Informação.** Relatório 224/03, LNEC, Lisboa.

Coelho, M.N., Oliveira, C.S., Rocha, F., Vicêncio, H. & Vicente, Gustavo, 1999

**O Risco Sísmico na AML.** Actas do 4º Encontro sobre Sismologia e Engenharia Sísmica.

Correia, R., 2006

**Enquadramento da Análise do Risco em Geotecnia.** Tese de Mestrado. LNEC. Lisboa.

Crozi, M., Galetto, R. & Spalla, A. , 2005

**A Web GIS for managing post-earthquake emergencies.** GNDDT, University di Pavia. Italia.

Erdik, M., Aydinoglu, N., Fahjan, Y., Sesetyan, K., Demircioglu, M., Siyahi, B., Durukal, E., Ozbey, C., Biro, Y., Akman, H. & Yuzugullu, O., 2003

**Earthquake Risk Assessment for Istanbul Metropolitan Area.** Earthquake Engineering and Engineering Vibration, V.2-N-1, pp1-25.

ESRI, 2006

**ArcXML Programmer's Reference Guide.** (<http://edndoc.esri.com/arcims/9.0/> , visitado em Setembro de 2007)

FEMA & NIBS, 1999

**Earthquake loss estimation methodology – HAZUS 99.** Federal Emergency Management Agency and National Institute of Buildings Sciences, Washington DC.

Furtado, D., 2006

**Serviço de Visualização de Informação Geográfica na Web. A publicação do Atlas de Portugal utilizando a especificação Web Map Service.** Tese de Mestrado. ISEGI/UNL. Lisboa.



- Gallanti, E., Goretti, A., Foster, B., DiPasquale, G., 2006  
**Civil Protection Management.** Extraído de *Assessing and Managing Earthquake Risk*. IABSE Symposium. Structures and Extreme Events. Lisboa.
- Giovinazzi, S. & Lagomarsino, S., 2003  
**Seismic risk analysis: a method for the vulnerability assessment of built-up areas.** *European Safety and Reliability Conference*. Maastricht.
- Giovinazzi, S. & Lagomarsino, S., 2004  
**A macroseismic method for the vulnerability assessment of buildings.** *13WCEE*. Vancouver. Artigo nº 896.
- GIS Lounge, 2005  
**GIS Lounge – Geographic Information Systems**  
(<http://gislounge.com/geography-markup-language/>, visitado em Julho de 2007)
- Gonçalves, M., 2005  
**Reflexões em torno do conceito do risco natural e da dimensão do risco.**  
Faculdade de Letras da Universidade do Porto. Porto.
- Gunzer, H., 2002  
**Introduction to Web Services.** Borland.
- Hill, S., 2001  
**A Primer on Risk Management in the Public Service.** University of Calgary. Italy.
- INE, 2001  
**Estatísticas da construção de edifícios.** Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE, 2002  
**Recenseamento da População e da Habitação (Portugal) - Censos 2001.** Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.
- INE, 2003  
**Censos 2001.** Programa Global. Instituto Nacional de Estatística. Lisboa.  
<http://www.ine.pt/censos2001/censos.asp>
- ISO/TMB/WG (N047), 2007  
**Risk Management Standards.**

ISO/TMB/RMWG (N048), 2007

**Risk Management Standards.**

Lagomarsino, S., 2002

**Earthquake scenario in Western Liguria, Italy, and strategies for the preservation of historic centres.** GNDT

LESSLOSS, 2007

**Earthquake Disaster Scenario Prediction and Loss Modelling for Urban Areas.** Editor Robin Spence, IUSS Press, Pavia, Itália.

Lin, Chu-Chieh Jay & Chen, Wei-Chang & Yeh, Chin-Hsun , 2004

**Application of Taiwan Earthquake Loss Estimation System (TELES) on Seismic Disaster Simulation Website.** National Center of Research on Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.

Machado, J., Cabral, P., Paíño, M. , 2002

**Aplicações SIG na WEB – O atlas do ambiente dinâmico.** ESIG.Lisboa.

Matos, J., 2002

**Fundamentos de Informação Geográfica.** LIDEL. Lisboa.

Medeiros, C., Alencar, A., 2001

**Qualidade dos dados e Interoperabilidade em SIG.** IC-UNICAMP. São Paulo, Brasil.

OGC, 2007

**Open Geospatial Consortium** (<http://www.opengeospatial.org>, visitado em Maio de 2007).

OpenGEO, 2007

<http://www.opengeo.com.br>, visitado em Setembro de 2007.

Pais, I., 2002

**O Simulador de Danos Sísmicos do Serviço Municipal de Protecção Civil de Lisboa. O Contributo das Tecnologias SIG para a sua Construção.** SMPCL. Lisboa.

Peng, Z. & Tsou, M., 2003

**INTERNET GIS. Distributed Geographic Information Services for the Internet and Wireless Networks.** John Wiley & Sons.

Percivall, G., 2003

**OGC Reference Model. Version 0.1.3**

(<http://www.opengeospatial.org/standards>, visitado em Setembro de 2007)

Rocha, J. G., 2005

**Informação Geográfica: Meta-Informação, Codificação e Visualização.** Tese de Doutoramento. Universidade do Minho. Portugal.

Rocha, J., Pinto N., 2007

**Gestão do Risco em Protecção Civil.** II Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade. Instituto Superior Técnico. Lisboa.

Samuels, P., 2005

**Language of Risk – Project Definitions.** Report T32-04-01.

Senos, M. L., Alves, P.M, Vales, D., Cruz, J., Silva, M., Carrilho, F., 2008

**O Sismo de 9 de Julho de 1998 nos Açores e a crise sísmica associada – dez anos depois.** Instituto de Meteorologia. Extraído de **Sismo 1998 – Açores. Uma década depois.**

Sousa, M.L., 2006

**Risco Sísmico em Portugal Continental.** Tese de Doutoramento. IST. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.

Sousa, M.L., Afonso, N., 2007

**Análise Sistémica do Risco Sísmico: Uma Visão Integrada. Aplicação a Centros Urbanos nos Açores.** Relatório de Progresso 299/2007 – NESDE, Lisboa.

Sousa, M.L., Afonso, N., 2008

**Análise Sistémica do Risco Sísmico: Uma Visão Integrada. Aplicação a Centros Urbanos nos Açores.** Relatório Final 2008 – NESDE, Lisboa.

Sousa, M. L., Campos Costa, A., Carvalho, A. & Coelho, E., 2004

**An automatic seismic scenario loss methodology integrated on a Geographic Information System.** *13<sup>th</sup> World Conference on Earthquake Engineering*, Artigo nº 2526, Vancouver, B.C., Canada.

Sousa, M. L., Campos Costa, A. & Coelho, E., 2006

**LNECloss Simulador de Cenários Sísmicos integrado num Sistema de Informação Geográfica.** Engenharia e vida Ano II, nº21, pp. 28-33.

Sousa, M.L., Campos Costa, A. & Oliveira, C.S., 2007

**Análise do risco sísmico de Portugal Continental.** II Encontro Nacional de Riscos, Segurança e Fiabilidade, 13-15 de Novembro, IST, Lisboa.

SDN, 2007

**Sun Developer Network.** (<http://java.sun.com/applets/>, visitado em Agosto de 2007)

Viseu, T., 2006

**Segurança dos Vales a jusante de Barragens. Metodologia de Apoio à Gestão do Risco.** Tese de Doutoramento. IST. Universidade Técnica de Lisboa. Portugal.

W3C, 2003

**World Wide Web Consortium** (<http://www.w3.org>, visitado em Junho 2007)

## **ANEXOS**



## **ANEXO A**

### **DADOS DE CONTEXTO**





## A. DADOS DE CONTEXTO

Para o desenvolvimento deste trabalho foi necessário recorrer a várias fontes de informação, nomeadamente, a informação apurada no XV Recenseamento Geral da População e no IV Recenseamento Geral da Habitação (Censos 2001) realizados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) em 2001, no que diz respeito ao parque habitacional e à população residente no Arquipélago dos Açores, bem como aos diversos temas de âmbito geográfico presentes no simulador.

De seguida, apresentam-se os quadros que descrevem a informação utilizada.

Para cada tema refere-se o tipo de dados utilizados e o detentor de informação.

**Quadro A.1** – Estrutura da informação disponibilizada

<b>Elementos em Risco</b>	<b>Formato</b>	<b>Fonte</b>
Alojamentos (com necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE
Alojamentos (sem necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE
Edifícios (com necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE
Edifícios (sem necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE
Ocupantes (com necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE
Ocupantes (sem necessidade de reparação na estrutura)	Ficheiro Excel (.xls)	INE

**Quadro A.2 – Estrutura dos temas disponibilizados**

<b>Tema</b>	<b>Formato</b>	<b>Fonte</b>
Portugal	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Área Metropolitana de Lisboa	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Benavente, Samora Correia e St. Estevão	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Benavente e St. Estevão	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Zona Epicentral Sismo de 1909	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Benavente, Samora Correia, St. Estevão e Salvaterra de Magos	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Algarve	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Lisboa	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Oeiras	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Arquipélago dos Açores	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Arquipélago dos Açores (Grupo Central)	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Arquipélago dos Açores (Grupo Oriental)	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Arquipélago dos Açores (Grupo Ocidental)	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Horta	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Ilha Terceira	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE
Ilha do Pico	<i>Shapefile</i> de polígonos	INE

## **ANEXO B**

### **TECNOLOGIA UTILIZADA**



## **B. TECNOLOGIA UTILIZADA**

### **B.1. Apresentação**

De forma a concretizar o modelo de arquitectura Cliente / Servidor proposto para a implementação do Simulador de Cenários Sísmicos LNECloss, foram necessários componentes específicos, fundamentalmente ao nível de *software* e tecnologia a ser utilizada. Como já foi referido ao longo desta dissertação o modelo de arquitectura escolhido foi o modelo estruturado em três camadas (*three-tier*), e em que cada a camada corresponde às componentes: Cliente, Servidor Lógico (Servidor Web e Servidor de Aplicações SIG) e Servidor de Gestão de Dados.

Desta forma, são aqui apresentadas as ferramentas de desenvolvimento da aplicação Web e as soluções adoptadas, com vista à implementação do Simulador em ambiente WebSIG, para o Servidor Lógico e para o Servidor de Gestão de Dados.

### **B.2. Ferramentas de desenvolvimento da aplicação WEB ao nível do Cliente**

#### **B.2.1. JSP (*Java Server Pages*)**

A tecnologia JSP é uma tecnologia utilizada para o desenvolvimento de páginas Web, permitindo a criação de conteúdos dinâmicos. Ao contrário das páginas baseadas simplesmente em HTML, que geram conteúdos estáticos, o conteúdo das páginas JSP pode ser modificado através de variáveis específicas incluindo as selecções efectuadas pelo utilizador, tipo de *browser*, entre outros. Para além das etiquetas (*tags*) da linguagem HTML, estas páginas possuem elementos JSP, que não são mais do que código Java embebido em HTML, que permitem ao servidor a inserção e memorização dinâmica de conteúdos. Os mesmos elementos possibilitam a obtenção de informação a partir de bases de dados, registos de preferências dos utilizadores, entre outros.

Quando existe um pedido de uma página JSP pelo cliente, pela primeira vez, o servidor irá interceptar o pedido através de um *Servlet Container*, invoca o *JSP Container* que carrega a página requerida, traduzindo-a num *servlet*.

O *Servlet Container* recebe o *servlet* resultante, processa os seus elementos JSP, insere o resultado num ficheiro HTML enviando-o de seguida para o *browser*. Numa próxima evocação, a página já não necessitará de passar pela fase de tradução na medida em que o *servlet* compilado manter-se-á disponível para atender novos pedidos, enquanto não for alterado o ficheiro JSP ou servidor Web ser desligado.

### **B.2.2. JavaScript**

A tecnologia *Javascript* é uma linguagem de *scripting* que acrescenta funções de interactividade numa página HTML que de outra forma permaneceriam estáticas. Uma linguagem de *scripting* é um tipo de linguagem de programação que pode ser utilizada em diferentes ambientes, como por exemplo o *browser* HTTP e o servidor Web. É uma linguagem executada e não compilada, o que significa que o código escrito numa linguagem deste género só pode ser executado por um browser que a consiga interpretar. Na prática o código de *script* é escrito numa linguagem que pode surgir entre as etiquetas (*tags*) de HTML.

Quando um utilizador pede uma página Web através do *browser*, o servidor Web é o responsável por satisfazer o seu pedido. Dado que neste caso possuímos uma interacção cliente / servidor os *scripts* que existem na página pedida serão executados no cliente e no servidor.

## **B.3. Solução Adoptada ao nível do Servidor Lógico**

### **B.3.1. Servidor Web**

Com o Servidor Web estabelece-se uma relação entre o cliente e o servidor: o cliente envia uma mensagem e o servidor devolve com a resposta respectiva.

As mensagens do cliente são, em geral, pedidos de páginas e as do servidor, as próprias páginas. Esta é uma relação de pedido e resposta, em que as mensagens trocadas, possuem um formato definido pelo protocolo HTTP.

A comunicação entre os servidores Web e o servidor de aplicações SIG é efectuada através de programas, denominados conectores que ficam instalados junto ao servidor Web, e dos quais este se serve para enviar e receber comandos.

O servidor Web *Apache Tomcat*, foi o utilizado neste trabalho. É um servidor Web de código aberto que utiliza tecnologia Java servindo-se do conector *Servlet* para comunicar com o servidor de aplicações SIG, permitindo servir páginas HTML geradas dinamicamente por programas *Java*. O servidor *Tomcat*, implementa as tecnologias *Java Servlet* ou simplesmente *Servlets*, e *JavaServer Pages* (JSP), que foram as usadas neste projecto para o servidor Web.

O mesmo comporta-se como um gestor de *Servlets*, que representam pequenos programas, em que executam funções num servidor, ou seja, são classes Java que de uma forma dinâmica processam pedidos e constroem respostas. Estes pequenos programas não correm por si só, os mesmos são carregados para memória pelo servidor Web que os contém, daí se denominar o servidor Web, contentor de *Servlets* (*Servlet Container*).

Na realidade, a tecnologia JSP e os *Servlets* funcionam em conjunto, embora cada tecnologia introduza uma complexidade diferente.

### **B.3.2. Servidor de Aplicações SIG**

Um servidor de aplicações SIG consiste fundamentalmente num programa que conecta com o Servidor Web assim como com o servidor de mapas, ou seja, comporta-se como um tradutor entre o Servidor Web e o servidor de mapas.

Essa conexão, no caso concreto através do conector *Servlet*, é utilizada para estabelecer a comunicação entre o servidor de mapas o servidor Web.

A tecnologia ArcIMS, comercializada pela ESRI, foi a utilizada neste projecto.

O ArcIMS constitui uma plataforma de serviço de mapas que interpreta dados geográficos, permitindo a sua disponibilização na Internet. A implementação de uma solução do tipo ArcIMS, requer sempre uma arquitectura *three-tier* ou *n-tier*, que é o que existe neste caso, e um servidor Web que suporte *Servlets*.

O ArcIMS corre num ambiente distribuído e é composto por diversas componentes que correm do lado do servidor e do Cliente.

O ArcIMS possui três módulos independentes: *ArcIMS Author*, *ArcIMS Administrator* e *ArcIMS Designer*. Cada um destes módulos possui funcionalidades distintas que auxiliam no processo de desenvolvimento de distribuição de Informação Geográfica na Web.

O *ArcIMS Author* permite gerar ficheiros de acesso e a configuração dos temas a serem disponibilizados nas páginas Web. O resultado final é um ficheiro com a extensão AXL.

O *ArcIMS Administrator* permite a gestão e criação de serviços, a gestão de servidores espaciais e dos servidores virtuais e das directorias que contêm todos ficheiros utilizados nas páginas Web. É através deste módulo que são efectuados os processos de inicialização, remoção e interrupção dos serviços. Podem ser criados três tipos de serviços: *Image Server*, *Feature Server* ou *Metadata Server* [ESRI, 2004].

O *ArcIMS Designer* é utilizado para auxiliar e gerar as páginas Web.

A arquitectura do ArcIMS está estruturada em duas camadas: Cliente e Servidor. A componente Cliente pode ser desenvolvida utilizando um ambiente SIG *desktop* ou em alternativa utilizando um dos três tipos de visualizadores: *ArcIMS HTML Viewer*, *ArcIMS Java Custom Viewer* e *ArcIMS Java Standard Viewer* [ESRI, 2004].

O tipo de serviços (imagem ou vectoriais) assim como a escolha dos visualizadores vão influenciar as funcionalidades SIG incorporáveis no serviço Web. Algumas das funcionalidades estão apenas disponíveis para páginas web que contêm serviços vectoriais, enquanto que outras estão disponíveis apenas para páginas Web que contêm visualizadores Java. A diferença entre os diferentes visualizadores, está na sua funcionalidade, pois o *ArcIMS Java* apresenta funções mais relevantes do que o *ArcIMS HTML*, mas em



contraponto as páginas que recorrem aos visualizadores *Java* são, em geral, mais lentas do que as baseadas em visualizadores HTML.

Resumidamente uma aplicação ArcIMS é composta por:

- 1) Um Cliente que envia pedidos ao servidor, recebe e apresenta as respostas a esses pedidos;
- 2) Um Servidor Web, que vai receber pedidos de aplicações clientes e enviá-las para o *Servlet Connector* respectivo, e onde este por sua vez envia o pedido para o *ArcIMS Connector*;
- 3) O *ArcIMS Connector*, recebe o pedido do *Servlet Connector* convertendo para a linguagem ArcXML. Após essa conversão, o pedido é efectuado para o *ArcIMS Application Server*;
- 4) O *ArcIMS Application Server*, recebe o pedido do *ArcIMS Connector* e envia-o para o *ArcIMS Spatial Server* respectivo;
- 5) O *ArcIMS Spatial Server*, recebe o pedido, e define quais os tipos de pedidos é que vão ser processados pelo servidor espacial. A resposta vai ser uma *string XML*;
- 6) Aplicações de gestão compostas pelo *ArcIMS Author*, *ArcIMS Administrator* e *ArcIMS Designer*.

O diagrama de fluxo do servidor ArcIMS é ilustrado de seguida na figura B.1

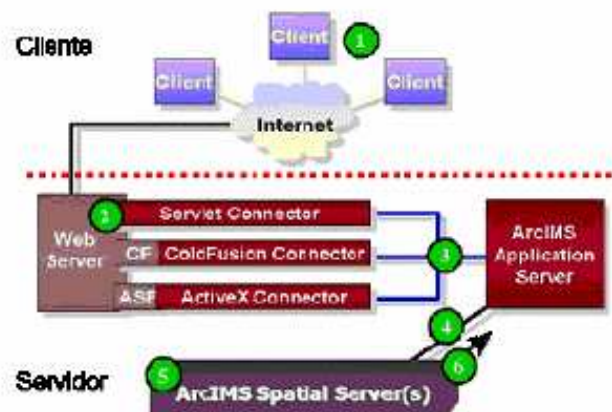


Figura B.1 – Fluxo do servidor de mapas ArcIMS (Fonte: ESRI, 2006)

Toda a Informação Geográfica disponibilizada pelo ArcIMS, é definida e configurada em ficheiros de configuração escritos em linguagem ArcXML.

Os formatos de dados suportados pelo ArcIMS são: *shapefiles*, coberturas ArcInfo, *layers SDE*, *rasters SDE* e diversos formatos de imagem (p.e.: JPEG, TIFF, GIF e PNG).

O ArcIMS é suportado pelos sistemas operativos: Unix, Linux ou Microsoft Windows.

#### **B.4. Solução Adoptada ao nível do Repositório de Dados**

A escolha de um sistema de gestão de dados para o armazenamento da informação associada ao estudo, teve uma metodologia um pouco diferente da que é normalmente utilizada.

Essa diferença explica-se pelo facto de neste caso, os dados necessários para a implementação do Simulador de Cenários Sísmicos na Web, não se encontrarem disponíveis à partida e só quando o Cliente efectua um pedido ao servidor Web e a rotina do Simulador é executada é que é gerada a informação alfanumérica necessária para proceder a sua implementação na Web.

Desta forma o Sistema de Gestão de Dados existente será muito análogo a um Sistema de Ficheiros (SF). A ligação entre o SF e o servidor web é efectuada a partir de um protocolo JDBC que permite consultas SQL e outro tipo de operações em ficheiros de texto, permitindo desta forma criar uma espécie de “base de dados” de ficheiros de texto gerados pela rotina do Simulador.

Neste caso, o servidor efectua as operações sobre as tabelas e reencaminha-as para o Servidor de Aplicações SIG, que disponibilizará os mapas respectivos.

