

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Programa de Pós-graduação em Saneamento,
Meio Ambiente e Recursos Hídricos

**AVALIAÇÃO DOS DANOS ÀS EDIFICAÇÕES
CAUSADOS POR ÁGUAS DE INUNDAÇÕES E
ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO
PARA TORNAR AS EDIFICAÇÕES MAIS
RESILIENTES**

Cristiane Machado Parisi Jonov
Belo Horizonte
2012

**AVALIAÇÃO DOS DANOS ÀS EDIFICAÇÕES
CAUSADOS POR ÁGUAS DE INUNDAÇÕES E
ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO PARA
TORNAR AS EDIFICAÇÕES MAIS RESILIENTES**

Cristiane Machado Parisi Jonov

Cristiane Machado Parisi Jonov

**AVALIAÇÃO DOS DANOS ÀS EDIFICAÇÕES
CAUSADOS POR ÁGUAS DE INUNDAÇÕES E
ESTUDO DE ALTERNATIVAS DE PROTEÇÃO PARA
TORNAR AS EDIFICAÇÕES MAIS RESILIENTES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Área de concentração: Recursos Hídricos

Linha de pesquisa: Avaliação e gerenciamento de impactos e de riscos ambientais

Orientador: Nilo de Oliveira Nascimento

Co-orientador: Adriano de Paula e Silva

Belo Horizonte
Escola de Engenharia da UFMG
2012

AGRADECIMENTOS

A autora agradece a todos aqueles que, direta ou indiretamente, colaboraram na preparação deste trabalho e, em particular,

ao Professor **Nilo de Oliveira Nascimento**, pela oportunidade de desenvolvimento dessa pesquisa, um pesquisador a quem muito admiro,

ao Professor **Adriano de Paulo e Silva**, pelo seu apoio incondicional, principalmente nos momentos mais difíceis, e pela sua amizade,

aos membros da Banca Examinadora, Professor **Masato Kobiyama**, Professora **Sílvia Maria de Souza Selma**, Professora **Elaine Carballo Siqueira Corrêa**, Professora **Priscilla Macedo Moura**, pelas contribuições de fundamental importância para o aprimoramento do trabalho,

à **Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior**, CAPES, pela concessão de Bolsa de Doutorado durante a realização do Curso de Pós-graduação,

ao **Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico**, CNPq, pelo financiamento do meu período de pesquisa no exterior,

à **Vanessa Lucena Caçado**, colega e amiga a quem sempre recorri ao longo desses quatro anos de doutoramento,

ao **Brenner Henrique Maia Rodrigues**, pela grande ajuda no Mapeamento,

ao **Rodrigo França Coelho Dias** e aos demais colegas do grupo de inundações pelo apoio mútuo, tão necessário,

aos **Professores do Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos**, que sempre se mostraram solícitos aos meus questionamentos,

à **UFMG**, em especial ao **Departamento de Engenharia Hidráulica e Recursos Hídricos** e ao **Departamento de Engenharia de Materiais e Construção** da Escola de Engenharia da UFMG, pelo apoio técnico e científico,

à **Iara**, à **Jussara** e ao **Roberto** por toda atenção e apoio logístico,

aos professores do *Institute for Water Education IHE-UNESCO*, em especial ao **Zoran Vojinovic´** e ao **Berry Gersinous**, pelo suporte técnico e discussões científicas,

aos **Amigos** que fiz no IHE-UNESCO, pela acolhida e discussões sobre o trabalho,

à **Janusa Lage Silvério**, pelo enorme estímulo e apoio,

aos meus **Amigos**, companheiros dessa jornada,

a **DEUS**, pela minha **Mãe** e meus **Irmãos**, minha **Tia Alba** e minhas **Sobrinhas, Maria e Ana**, pois sem seu amor as conquistas não teriam sentido,

ao meu **Marido** pela sua eterna compreensão e paciência,

ao meu **Pai**, pelo seu exemplo, a quem dedico essa conquista.

RESUMO

A presente tese é relativa ao desenvolvimento de uma metodologia para a avaliação dos custos de recuperação de danos causados às edificações por inundações. A metodologia foi desenvolvida através da análise de eventos de inundações e conhecimento das manifestações patológicas decorrentes destes eventos. No trabalho são propostas medidas de proteção para redução dos prejuízos causados pelas inundações e adaptações para tornar as edificações mais resilientes. A parte experimental do trabalho envolveu a realização de vistorias a edificações nas quais foram identificadas manifestações patológicas provocadas pelas inundações de 31 de Dezembro de 2008 e 22 de Janeiro de 2009, na Região do Barreiro no Município de Belo Horizonte (Minas Gerais). A avaliação dos custos de recuperação de danos foi realizada através da elaboração de orçamentos dos serviços de engenharia necessários para reconstituição da edificação de forma a recuperar suas condições de higiene e habitabilidade originais. Na elaboração dos orçamentos foram adotados projetos padrões de edificações que mais se assemelhavam ao das edificações vistoriadas. A avaliação dos custos de recuperação foi feita tendo como referência as profundidades de inundação fornecidas por mapas das manchas de inundação para a região. Tais mapas foram elaborados a partir de bases de dados da Prefeitura Municipal de Belo Horizonte, bases de dados de empresa de consultoria em Hidrologia e modelos hidráulicos desenvolvidos para esta finalidade. Por expressarem os prejuízos causados pelas inundações, os custos de recuperação assim obtidos possibilitaram a obtenção de curvas de danos de inundação versus profundidades (FDC). Estas curvas foram elaboradas para as edificações sem nenhuma medida de proteção e posteriormente com a adoção de cada uma das medidas de proteção. As curvas assim obtidas mostram uma tendência de aumento dos custos de recuperação dos danos à medida que se aumenta a profundidade da inundação. Adicionalmente, as FDC, obtidas para as edificações sem nenhuma medida de proteção e posteriormente com a adoção de cada uma das medidas de proteção, possibilitaram a realização de análises de custos e benefícios da implantação dessas medidas de proteção. Em tais análises foram considerados os custos para implantação das medidas de proteção, os custos de sua manutenção e os benefícios expressos pela redução dos prejuízos causados pelas inundações. Os resultados mostram as situações em que é vantajosa a implantação das diversas medidas de proteção.

Palavras chaves: inundação, danos, custos de recuperação, medidas de proteção, análises de custos e benefícios

ABSTRACT

This dissertation is about the development of a method of evaluating costs concerning the recovery of damages caused by floods. The method was developed by using the analysis of floods and the knowledge of consequential pathological manifestations. There are also proposals of protection measures to reduce damages caused by floods and adaptations to make buildings more resilient. The experimental part of the essay involved inspections in buildings where it could be perceived pathological manifestations provoked by floods occurred in the Barreiro Region, (Belo Horizonte-MG), on December 31st, 2008 and January 22nd, 2009. The evaluation of recovery costs was developed by elaborating budgets of engineering's services necessary to reconstitute buildings, in order to recover its hygienical and living conditions. In order to elaborate these budgets, it was adopted patterns of buildings that were similar to the inspected constructions. The evaluation of recovery costs uses as reference floods depth, which is provided by regional floods spots' maps. These maps were developed using information from the local Prefecture, data from a Hydrology company and hydraulic models, developed to this aim. As recovery costs demonstrate flood's damage, they enable the obtainance of flood damage curves (FDC). These curves were elaborated to constructions without any protection measures and after the adoption of each protection measure. The curves demonstrate a tendency of increasing the recovery costs when flood's depth is larger. In addition, the FDC obtained to constructions without protection measures and after the adoption of each protection measure, enable the analysis of costs and benefits of protective measures. This analysis considers the costs to implement each protection measure, the maintenance cost and the benefits obtained by reducing flood's damage. Results show situations when the implementation of protective measures is beneficial.

Key-words: floods, damages, flood damage curves, flood proofing, analysis of costs and benefits

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	5
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
	3.1. Gestão de águas urbanas	6
	3.2. Defesa Civil	17
	3.2.1. Histórico	17
	3.2.2. Codificação dos desastres naturais relacionados com o incremento das precipitações hídricas e com as inundações	19
	3.3. Danos provocados pelas inundações	20
	3.3.1. Classificação dos danos de inundações	20
	3.3.2. Fatores de influência nos danos de inundações	21
	3.3.3. Reparos dos danos de inundações	23
	3.4. Materiais e subsistemas das edificações mais expostos às inundações	25
	3.4.1. Alvenarias de vedação de blocos cerâmicos	25
	3.4.2. Revestimentos argamassados	28
	3.4.3. Argamassas	31
	3.4.4. Sistema de pintura	32
	3.4.5. Revestimentos cerâmicos	34
	3.4.6. Propriedades higroscópicas dos materiais de construção	38
	3.5. Manifestações patológicas em edificações	39
	3.5.1. Conceitos	39
	3.5.2. Patologias de umidade	40
	3.5.3. Trincas em edificações	44
	3.6. Manifestações patológicas causadas pelas águas de inundações	46
	3.7. Medidas de proteção das edificações	53
	3.7.1. Elevação da edificação	55
	3.7.2. Permissão de áreas úmidas	55
	3.7.3. Criação de áreas secas	56
	3.7.4. Criação de barreiras de proteção	58
	3.7.5. Relocação da edificação	59
	3.7.6. Demolição	59
	3.7.7. Exemplos de adoção de medidas de proteção contra inundações	59
	3.7.8. Exemplos de protótipos de medidas de proteção contra inundações – Laboratório do Instituto Wasserbau	64
	3.8. Exemplos de estudos de avaliação de danos de inundação já realizados	66
	3.9. Orçamentos de obras civis	82
	3.9.1. Orçamento de obra	82
	3.9.2. Atributos do orçamento	83
	3.9.3. Custos envolvidos em um orçamento	84
	3.10. Análise de custos e benefícios	86
	3.10.1. Conceitos básicos	86
	3.10.2. Valor presente líquido	89
	3.10.3. Taxa interna de retorno	90
	3.10.4. Método <i>Payback Time</i>	90
4	MATERIAIS E MÉTODOS	91
	4.1. Definição da região do estudo de caso	93
	4.2. Caracterização da região do estudo de caso	94
	4.3. Cadastramento das famílias pela Municipalidade	97
	4.4. Coleta de dados nos questionários aplicados	100
	4.5. Formação da amostra	100
	4.6. Vistorias aos domicílios da amostra	101
	4.7. Tipologias de projetos adotadas	103
	4.8. Modelagem dos custos para recuperação das patologias	107
	4.9. Definição das medidas de proteção e seus custos	108
	4.10. Modelagem dos custos para recuperação das patologias com as medidas de proteção teoricamente implantadas	109
	4.11. Construção das curvas de custos de recuperação de danos versus profundidades de inundação (curvas FDC)	109

4.11.1. Mapas das manchas de inundação.....	111
4.11.2. Espacialização das manchas de inundação.....	112
4.12. Análise de custos e benefícios.....	113
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	115
5.1. Resumo das informações da amostra.....	115
5.2. Vistoria aos domicílios da amostra.....	117
5.2.1. Vistoria da Casa 09.....	118
5.2.2. Vistoria da Casa 16.....	119
5.2.3. Vistoria da Casa 19.....	122
5.3. Tipologias de projetos adotadas.....	123
5.4. Modelagem dos custos para recuperação das patologias.....	134
5.4.1. Curvas de custos para recuperação de danos versus profundidades de inundação (FDC) para as casas do estudo de caso.....	143
5.4.2. Curvas custos para recuperação de danos versus profundidades de inundação (FDC) para as casas tipificadas.....	145
5.5. Medidas de proteção sugeridas para as três tipologias e seus custos.....	148
5.5.1. Orçamentos das medidas de proteção para as casas tipificadas.....	153
5.6. Modelagem dos custos para recuperação das patologias com as medidas de proteção teoricamente implantadas.....	154
5.7. Curvas de custos para recuperação de danos versus profundidades de inundação (FDC).....	167
5.7.1. Mapas das manchas de inundação.....	167
5.7.2. Curvas de custos para recuperação de danos versus profundidades de inundação (FDC) para as casas tipificadas.....	171
5.8. Análise de custos e benefícios.....	181
6 CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS.....	185
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	188
APÊNDICE I Exemplos de formulários e registros fotográficos 12 casas.....	192

CD-ROM

APÊNDICE II Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas 62 casas

APÊNDICE III Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas edificações nas tipologias I, II e III nas diversas profundidades

APÊNDICE IV Orçamentos dos custos finais para implantação e manutenção das medidas de proteção seca permanente, seca provisória e úmida

APÊNDICE V Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas edificações nas tipologias I, II e III com a medida de proteção seca permanente implantada

APÊNDICE VI Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas edificações nas tipologias I, II e III com a medida de proteção seca provisória implantada

APÊNDICE VII Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas edificações nas tipologias I, II e III com a medida de proteção úmida

APÊNDICE VIII Orçamentos dos custos finais para recuperação dos danos nas edificações nas tipologias I, II e III nas três faixas de profundidades $h < 0,50$ m; $0,50 \leq h \leq 1,00$ m e $h > 1,0$

APÊNDICE IX Exemplos do cálculo da esperança matemática de prejuízos e análise de custos e benefícios da implantação das medidas de proteção

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 – Os efeitos da urbanização nos processos hidrológicos.....	7
Figura 3.2. – Aviões em uma pista alagada no aeroporto Don Muang em Bangkok, Tailândia em 7 de Novembro de 2011.....	10
Figura 3.3. – Inundação em Londres, em Novembro de 2002.....	11
Figura 3.4. – Inundação em Chicago, em 28 de Julho de 2011.....	12
Figura 3.5. – Inundação em marginais da cidade de São Paulo, em 06 de Março de 2012.....	13
Figura 3.6. – Alagamento em ruas da cidade do Rio de Janeiro, em 15 de Abril de 2010.....	14
Figura 3.7. – Inundação no bairro Praia de Belas na cidade de Porto Alegre, em 14 de Março de 2012.....	15
Figura 3.8. – Avenida Cristiano Machado interditada no bairro Suzana, Região da Pampulha, Belo Horizonte, em 15 de Dezembro de 2011.....	16
Figura 3.9. – Mecanismo de aderência da argamassa.....	29
Figura 3.10. – Camadas de revestimento cerâmico de parede.....	35
Figura 3.11 – Movimentações reversíveis e irreversíveis devidas à variação do teor de umidade.....	38
Figura 3.12. – (a) Formação de eflorescência e (b) bolhas.....	42
Figura 3.13. – Desenho esquemático de elevação de edificações.....	55
Figura 3.14. – Desenho esquemático de permissão de áreas úmidas.....	56
Figura 3.15. – Desenho esquemático de criação de áreas secas.....	57
Figura 3.16. – Desenho esquemático de criação de áreas secas.....	57
Figura 3.17. – Desenho esquemático de criação de barreiras.....	58
Figura 3.18. – Desenho esquemático de relocação de edificações.....	59
Figura 3.19 Comportas de madeira instaladas (a) em via de acesso de pedestres e bicicletas e (b) em porta de entrada de residência. Medidas de proteção secas provisórias implantadas na cidade de Dordrecht, Holanda.....	60
Figura 3.20 Comporta de madeira instalada em porta de entrada de prédio em Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	61
Figura 3.21 (a) Passarela elevada para acesso à edificação durante evento de inundação e (b) via elevada para acesso à parte alta da cidade durante evento de inundação. Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	61
Figura 3.22 Edificações construídas em elevação sobre muros, ao fundo passarela elevada para acesso à edificação durante evento de inundação. Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	62
Figura 3.23 (a) Edificação construída em elevação sobre muro apresentando revestimento decorativo e (b) edificação construída em elevação sobre muro face à água. Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	62
Figura 3.24 (a), (b) Comportas metálicas instaladas adjacentes aos portões de entrada de garagens.....	63
Figura 3.25 (c) comportas metálicas instaladas nas aberturas de vãos e (d) comportas metálicas instaladas adjacentes às esquadrias de janelas de edificações, todas no pavimento térreo. Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	63
Figura 3.26 Loja durante evento de inundação: esquadrias de janelas e vidros resilientes e resistentes à água. Hafency, na cidade de Hamburgo, Alemanha.....	64
Figura 3.27 Laboratório de ensaios em protótipos de medidas de proteção: (a) esquadrias de janelas resilientes, vista lateral (b) esquadrias de janelas resilientes, vista frontal. Instituto Wasserbau da Universidade Tecnológica de Hamburgo, Alemanha.....	65
Figura 3.28 Laboratório de ensaios em protótipos de medidas de proteção secas provisórias: (a) peça vertical do sistema de barreira metálica, (b) barreiras metálicas. Instituto Wasserbau.....	65
Figura 3.29 Peças madeira para realização de ensaios de resistência ao impacto nos protótipos das medidas de proteção. Laboratório de ensaios de protótipos do Instituto Wasserbau.....	66
Figura 3.30. - Distribuição dos níveis de padrão construtivo.....	68
Figura 3.31. – Classes Sociais versus profundidades de submersão.....	69
Figura 3.32. – Curva de custo de recuperação dos danos à construção em função da profundidade de submersão para as classes A e B.....	70
Figura 3.33. – Curva de custo de recuperação dos danos à construção em função da profundidade de submersão para as classes C e D.....	70
Figura 3.34. – Vista de reboco em execução.....	73
Figura 3.35. – Vista de painel em fase de assentamento de azulejos.....	73
Figura 3.36. – Vista de painel revestido com peças cerâmicas e rejuntado.....	73
Figura 3.37. – Vista de um painel com revestimento cerâmico – arrancamento dos corpos de prova.....	75
Figura 3.38. – Vista de três painéis imersos no reservatório – profundidade de imersão dos painéis = 1,10m.....	76
Figura 3.39. – Gráfico comparativo das resistências médias de arrancamento para as diversas tipologias de revestimentos.....	77
Figura 3.40. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel Ib na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.....	79

Figura 3.41. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 2b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	79
Figura 3.42. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 3b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	79
Figura 3.43. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 4b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	80
Figura 3.44. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 5b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	80
Figura 3.45. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 6b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	80
Figura 3.46. – Gráfico dos valores médios das tensões de aderência à tração para o painel 7b na condição de seco e após os diversos tempos de imersão.	81
Figura 4.1. – Fluxograma indicativo da sequência das etapas metodológicas	92
Figura 4.2 Mapa das regiões com indicação das áreas afetadas pelas inundações	93
Figura 4.3. – Avenida Tereza Cristina durante as enchentes de 31 de dezembro de 2008.	93
Figura 4.4 – Mapa das regiões do barreiro e oeste onde foram realizadas visitas: indicação das áreas afetadas	94
Figura 4.5. – Mancha urbana do município de Belo Horizonte	95
Figura 4.6 – Planta baixa da casa tipo I	104
Figura 4.7 – Planta baixa da casa tipo II	105
Figura 4.8 – Planta baixa da casa tipo III	106
Figura 5.1. – Vista aérea da localização dos domicílios vistoriados	118
Figura 5.2. – Gradil frontal da casa 09.	119
Figura 5.3. – Banheiro da casa 09.	119
Figura 5.4. – Porta metálica danificada na parte inferior (casa 16).	120
Figura 5.5. – Porta de madeira danificada na parte inferior (casa 16).	120
Figura 5.6. – Presença de rachadura em parede	121
Figura 5.7. – Presença de rachaduras em paredes de edícula existente junto ao rio (casa 16)	121
Figura 5.8. – Rachadura em parede da edícula (casa 16)	121
Figura 5.9. – Execução de alvenaria para fechamento	122
Figura 5.10. – Indicação da altura atingida pelas águas da inundação – casa 19 – 2	122
Figura 5.11. – Edificação demolida – casa 19 – 3	123
Figura 5.12. – Maquete digital ilustrativa da casa tipo I	125
Figura 5.13. – Maquete digital ilustrativa da casa tipo II	127
Figura 5.14. – Maquete digital ilustrativa da casa tipo III	130
Figura 5.15. – FDC para as casas de padrão construtivo normal	143
Figura 5.16. – FDC para as casas de padrão construtivo baixo	143
Figura 5.17. – FDC para as casas de padrão construtivo proletário	144
Figura 5.18. – FDC para as casas de padrão construtivo normal, baixo e proletário	144
Figura 5.19. – FDC para a casa tipo I	145
Figura 5.20. – FDC para a casa tipo II	146
Figura 5.21. – FDC para a casa tipo III	146
Figura 5.22. – Casa tipo I – Medida de proteção seca permanente (sem inundação)	149
Figura 5.23. – Casa tipo I – Medida de proteção seca permanente (com inundação)	150
Figura 5.24. – Casa tipo II – Medida de proteção seca provisória (sem inundação)	151
Figura 5.25. – Casa tipo II – Medida de proteção seca provisória (com inundação)	151
Figura 5.26. – Casa tipo III – Medida de proteção úmida (sem inundação)	152
Figura 5.27. – Casa tipo III – Medida de proteção úmida (com inundação)	153
Figura 5.28. – FDC para a casa tipo I com as medidas de proteção (a) seca permanente, (b) seca provisória e (c) úmida implantadas	164
Figura 5.29. – FDC para a casa tipo II com as medidas de proteção (a) seca permanente, (b) seca provisória e (c) úmida implantadas	165
Figura 5.30. – FDC para a casa tipo III com as medidas de proteção (a) seca permanente, (b) seca provisória e (c) úmida implantadas	166
Figura 5.31. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=2 anos	167
Figura 5.32. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=5 anos	168
Figura 5.33. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=10 anos	168
Figura 5.34. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=25 anos	169
Figura 5.35. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=50 anos	169
Figura 5.36. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=100 anos	170
Figura 5.37. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para TR=200 anos	170
Figura 5.38. – Mapa das manchas de inundação – localização das casas para o evento de 31/12/2008	171

Figura 5.39. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	173
Figura 5.40. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	174
Figura 5.41. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	175
Figura 5.42. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	176
Figura 5.43. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	177
Figura 5.44. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	178
Figura 5.45. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	179
Figura 5.46. – FDC sem medida de proteção e com as medidas de proteção implantadas.....	180

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1. – Tipologias de danos decorrentes de inundações em áreas urbanas	21
Tabela 3.2. – Importância das características da inundações segundo percepção dos especialistas	23
Tabela 3.3. – Resumo da análise para o cenário (C – custo; Q – qualidade; T – tempo; S – satisfação; G – geral)	25
Tabela 3.4. – Resistência à compressão (fb)	27
Tabela 3.5. – Propriedades das argamassas	28
Tabela 3.6. – Limites da resistência de aderência à tração	30
Tabela 3.7. – Requisitos de argamassa colante	32
Tabela 3.8. – Distribuição de problemas encontrados em pesquisa realizada pelo IPT/USP em 36 conjuntos habitacionais do estado de São Paulo	40
Tabela 3.9 – Aberturas comuns em patologias	44
Tabela 3.10. – Classificação dos danos em edificações relativamente à espessura das trincas	45
Tabela 3.11. – Características das principais medidas de proteção contra inundações	58
Tabela 3.12. – Padrões construtivos	67
Tabela 3.13. – Tipologias de revestimentos dos painéis e resistência de aderência à tração	77
Tabela 3.14. – Resistências de aderência à tração dos painéis nas diversas situações de imersão – Valores médios e respectivos desvios padrão (MPa)	78
Tabela 4.1. – Pesos relativos dos itens componentes dos critérios	98
Tabela 4.2. – Valores de auxílios financeiros concedidos para as famílias nas diversas regiões	99
Tabela 4.3. – Tabela dos diversos estados de conservação com descrição de suas características	102
Tabela 4.4 – Vida útil e valores residuais típicos de edificações	114
Tabela 5.1. – Quadro resumo das informações coletadas nos questionários aplicados pela Prefeitura Municipal de Belo Horizonte aos 62 domicílios da amostra	115
Tabela 5.2. – Especificações construtivas da casa tipo I	124
Tabela 5.3. – Especificações construtivas da casa tipo II	125
Tabela 5.4. – Especificações construtivas da Casa Tipo III	128
Tabela 5.5. – Quadro resumo da caracterização e enquadramento das 62 casas vistoriadas	130
Tabela 5.6. – Manifestações patológicas e serviços necessários para sua recuperação	135
Tabela 5.7. – Características e necessidades dos serviços de engenharia para recuperação dos danos	136
Tabela 5.8. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo I	138
Tabela 5.9. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo II	139
Tabela 5.10. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo III	140
Tabela 5.11. – Custos teóricos para recuperação das edificações	141
Tabela 5.12. – Custos unitários de recuperação de danos para a tipologia III da modelagem e Classes A e B de Itajubá	147
Tabela 5.13. – Custos unitários de recuperação de danos para a tipologia II da modelagem e Classes C e D de Itajubá	147
Tabela 5.14. – Custos para implantação das medidas de proteção em cada tipologia de projeto	154
Tabela 5.15. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca permanente implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo I	155
Tabela 5.16. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca permanente implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo II	156
Tabela 5.17. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca permanente implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo III	157
Tabela 5.18. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca provisória implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo I	158
Tabela 5.19. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca provisória implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo II	159
Tabela 5.20. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção seca provisória implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundações para a casa tipo III	160

Tabela 5.21. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção úmida implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundação para a casa tipo I.....	161
Tabela 5.22. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção úmida implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundação para a casa tipo II.....	162
Tabela 5.23. – Percentuais e quantitativos dos serviços de engenharia necessários, com a medida de proteção úmida implantada, para a recuperação das patologias previstas relativamente às profundidades de inundação para a casa tipo III.....	163
Tabela 5.24. – Profundidades de inundação (m) nas casas atingidas, obtidas nos mapas das manchas de inundação para os diversos eventos.....	172
Tabela 5.25. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 38.....	173
Tabela 5.26. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 35.....	174
Tabela 5.27. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 3.....	175
Tabela 5.28. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 13.....	176
Tabela 5.29. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 36.....	177
Tabela 5.30. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 8.....	178
Tabela 5.31. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 23.....	179
Tabela 5.32. – Custos para recuperação dos danos sem e com medidas de proteção - Casa 34.....	180
Tabela 5.33. – Análise de custos e benefícios de medida de proteção úmida na casa 8.....	181
Tabela 5.34. – Análise de custos e benefícios de medida de proteção úmida na casa 3.....	183

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AC - Argamassa Colante
ACB - Análise de Custos e Benefícios
BDI - Benefícios e Despesas Indiretas
CCEB - Critério de Classificação Econômica Brasil
CDI - Custo Direto
CF - Custo Final de Obra
CNPq - Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COHAB-MG - Companhia de Habitação do Estado de Minas Gerais
COPASA - Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CP - Cimento *Portland*
DRENURBS - Programa de Recuperação Ambiental e Saneamento dos Fundos de Vale e Córregos em Leito Natural de Belo Horizonte
FDC - *Flood Damage Curve*
GIS - *Geographic Information System*
HCM - *Highway Capacity Manual*
HEC-RAS - *Hydrologic Engineering Centers River Analysis System*
IBAPE-SP - Instituto Brasileiro de Avaliações e Perícias – Estado de São Paulo
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHE - *Institute for Water Education*
IPT/USP - Instituto de Pesquisas Tecnológicas da Universidade de São Paulo
IPTU - Imposto sobre Propriedade Territorial e Urbana
MDT - Modelo Digital de Terreno
NBR – Norma Brasileira
NEPE-PDD - Núcleo de Execução de Projetos Especiais – Plano Diretor de Drenagem
ONU – Organização das Nações Unidas
PMBH - Prefeitura Municipal de Belo Horizonte
PRODABEL - Empresa de Informática e Informação do Município de Belo Horizonte
PVAc - *Poliacetato de Vinila*
PVC - *Pigment Volume Content*
RAM - *Rapid Appraisal Method*
SIG - Sistema de Informações Geográficas (para a sigla em inglês, ver GIS)
SINDUSCON-MG - Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais
SMPS - Secretaria Municipal de Políticas Sociais
SMURBE - Secretaria Municipal de Políticas Urbanas
SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*
SUDECAP - Superintendência de Desenvolvimento da Capital
TCPO - Tabelas de Composição de Preços para Orçamento
TR – Tempo de Retorno
UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais
UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação
USACE - *US Army Corps of Engineers*
VPL - Valor Presente Líquido