

**FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS BASEADA NA
TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY PARA SUPORTE À
GARANTIA DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES
HABITACIONAIS**

JULIANO ARAÚJO OTERO

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

FACULDADE DE TECNOLOGIA

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS BASEADA NA
TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY PARA SUPORTE À
GARANTIA DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES
HABITACIONAIS**

JULIANO ARAÚJO OTERO

ORIENTADORA: ROSA MARIA SPOSTO

TESE DE DOUTORADO EM ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL

**PUBLICAÇÃO: TD 6A/18
BRASÍLIA/DF: JULHO – 2018**

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS BASEADA NA TEORIA
DOS CONJUNTOS FUZZY PARA SUPORTE À GARANTIA DO
DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS**

JULIANO ARAÚJO OTERO

**TESE SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
CIVIL E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA
UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM
ESTRUTURAS E CONSTRUÇÃO CIVIL**

APROVADA POR:

**Prof^a. Rosa Maria Sposto, Dra (ENC–UnB)
(Orientadora)**

**Prof^a. Maria Carolina Gomes de Oliveira Brandstetter, Dra (UFG)
(Examinador Externo)**

**Prof^a. Michele Tereza Marques Carvalho, DSc. (ENC–UnB)
(Examinador Interno)**

**Prof. João Henrique da Silva Rêgo, Dr. (ENC–UnB)
(Examinador Interno)**

BRASÍLIA/DF, JULHO DE 2018

FICHA CATALOGRÁFICA

OTERO, JULIANO ARAÚJO

Ferramenta de Gestão de Riscos Baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* para Suporte à Garantia do Desempenho de Edificações Habitacionais [Distrito Federal] 2018.

xvi, 227p., 297 mm (ENC/FT/UnB, Doutor, Estruturas e Construção Civil, 2018). Tese de Doutorado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Desempenho de edificações habitacionais

2. Gestão de riscos

3. Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

4. Análise de Árvore de Falhas

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

OTERO, J. A. (2018). Ferramenta de Gestão de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy para Suporte à Garantia do Desempenho de Edificações Habitacionais. Tese de Doutorado em Estruturas e Construção Civil, Publicação TD 6A/18, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 243p.

CESSÃO DE DIREITOS

AUTOR: Juliano Araújo Otero

TÍTULO: Ferramenta de Gestão de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* para Suporte à Garantia do Desempenho de Edificações Habitacionais

GRAU: Doutor

ANO: 2018

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta tese de doutorado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa tese de doutorado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

Juliano Araújo Otero
Rua 19, nº 21, apt. 701, Setor Oeste
74.120-100 Goiânia – GO – Brasil

AGRADECIMENTOS

A Janaina, minha mulher, companheira e cúmplice, que eu amo tanto, por todo apoio, incentivo, carinho e compreensão no decorrer deste doutorado, especialmente nos momentos conturbados e trabalhosos em que acabei roubando um tanto do “nosso tempo”.

A meus pais, Maria Célia e Sebastião Ney, que sempre acreditaram que posso mais e que assim, com tranquilidade e sabedoria, às vezes como velas, como âncora ou como farol, acabaram por me trazer até aqui.

À professora Rosa Sposto, minha orientadora na elaboração desta tese, por todo direcionamento, paciência e amizade, não apenas desde meu resgate em 2014, mas sim há mais de duas décadas quando aceitou orientar um trabalho de graduação e iniciou este caminho.

Aos membros da banca, professores Maria Carolina Brandstetter, Michele Carvalho e João Henrique Rêgo, pela dedicação na avaliação deste trabalho e por seus questionamento e contribuições que me trouxeram novas perspectivas na aplicação desta pesquisa.

Aos engenheiros Eduardo, Fernanda, Wesley e Ludmila pelo interesse e dedicação que demonstraram no desenvolvimento desta pesquisa, pessoas extraordinárias que tornaram possível sua realização.

Aos colegas do curso Elisandra, Cláudio, Dirceu e, em especial, Daiane Ramos, por todos os cafés, argumentos, críticas, informações e aventuras que passamos.

Aos professores Elton Bauer, Luciano Bezerra, Antônio Nepomuceno, João Carlos Teatini e demais professores do PECC, assim como a professores de outros programas do EnC, professores Sérgio Koide, Paulo César e José Augusto, que estiveram presentes neste caminho e que representam o que há de mais importante na Universidade de Brasília.

A todos os amigos, e foram muitos, que nestes últimos anos tiveram, por curiosidade ou cortesia, a imensa paciência de ouvir falar sobre lógica *fuzzy*, incertezas, desempenho e riscos, e que assim permitiram, em diversos momentos, que eu mesmo pudesse me entender.

A todos, muito obrigado.

RESUMO

FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS BASEADA NA TEORIA DOS CONJUNTOS *Fuzzy* PARA SUPORTE À GARANTIA DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

Autor: Juliano Araújo Otero

Orientadora: Rosa Maria Spoto

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, Julho de 2018

As normas NBR 15575 estabelecem requisitos e critérios objetivos para o desempenho de edificações habitacionais. São normas extensas e complexas, que em alguns casos incluem assuntos raramente abordados até então no setor de construção.

Apesar de envolver outros intervenientes, como projetistas e fornecedores de materiais, em razão da legislação brasileira, a responsabilidade direta e imediata pelo desempenho das edificações recai sobre empresas incorporadoras e construtoras. Num contexto onde há limitação de informações e de recursos, assim como desconfiança na eficácia de alguns intervenientes, estas empresas têm dificuldades para garantir o desempenho de suas obras.

Por este motivo, o objetivo da pesquisa apresentada é o desenvolvimento de uma ferramenta que auxilie empresas incorporadoras e construtoras na análise e implementação de ações para garantia do desempenho de suas edificações, a partir da avaliação dos riscos relacionados aos diferentes requisitos de desempenho das normas NBR 15575.

A ferramenta fundamenta-se em um modelo de gestão de risco, baseado principalmente nos processos definidos na NBR ISO 31000, com aplicação de Análise de Árvore de Falhas (FTA) e da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Este modelo se apresenta em três etapas: análise e avaliação dos riscos, com a definição dos níveis de risco relacionados a diferentes aspectos de desempenho; planejamento de ações para tratamento de riscos, e; acompanhamento das ações planejadas. São utilizados números *fuzzy* para caracterização das probabilidades e consequências relacionadas ao risco, assim como do nível de efetividade das ações estabelecidas para tratamento dos eventos de origem.

Esta pesquisa se fundamentou na metodologia *Design Science Research*. A ferramenta desenvolvida foi avaliada por representantes de duas empresas construtoras e incorporadoras, que a consideraram efetiva, ao nortear a busca de informações necessárias e tornar a discussão sobre a tomada de ações para garantia do desempenho mais objetiva.

Palavras-chave: Desempenho de edificações habitacionais; Gestão de riscos; Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*; Análise de Árvore de Falhas

ABSTRACT

FUZZY RISK MANAGEMENT TOOL FOR BUILDING PERFORMANCE ASSURANCE

Author: Juliano Araújo Otero

Supervisor: Rosa Maria Sposto

Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil

Brasília, July of 2018

Brazilian standards NBR 15575: 2013 establishes objective requirements and criteria for residential building performance. These standards are extensive and complex, and include some matters rarely addressed in the construction sector.

Although it involves other stakeholders, such as designers and material suppliers, the direct and immediate responsibility for building performance lies with incorporating and construction companies, due to Brazilian legislation. In a context where there is limited information and resources, as well as a lack of confidence in the effectiveness of some actors, these companies have been struggling to assure the performance of their buildings.

For that reason, this research's propose is the development of a tool that helps developers and builders in the analysis and implementation of actions to assure performance of their buildings, based on the evaluation of the risks related to the different performance requirements of NBR 15575 2013.

The tool is based on a risk management model, mainly on the processes defined in NBR ISO 31000: 2009, with application of Fault Tree Analysis (FTA) and Fuzzy Set Theory. This model is presented in three stages: risk analysis and evaluation, with the definition of risk levels related to different aspects of performance; planning of actions for risks treatment, and; actions. Fuzzy numbers are used to characterize the probabilities and consequences related to the risks, as well as the level of effectiveness of the actions established to approach the events of origin.

This research was based on Design Science Research. The tool developed was evaluated by two construction companies' representatives, who considered it effective, guiding the search for necessary information and allowing a more objective discussion about decision-taking to assurance performance.

Keywords: Residential building performance; Risk management; Fuzzy Set Theory; Fault Tree Analysis

SUMÁRIO

1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA.....	1
1.1.1 – Responsabilidades de construtores e incorporadoras frente à NBR 15575	3
1.1.2 – Gestão de riscos no atendimento às normas NBR 15575.....	5
1.1.3 – Gestão de riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy	6
1.1.4 – Pesquisas relacionadas às normas de desempenho NBR 15575.....	7
1.1.5 – Apresentação da pesquisa proposta e justificativas.....	10
1.2 – OBJETIVOS DA PESQUISA.....	11
1.3 – HIPÓTESES DE PESQUISA.....	12
1.4 – LIMITAÇÕES DA PESQUISA	13
1.5 – ESTRUTURA DA TESE	13
2 – DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS.....	15
2.1 – DEFINIÇÕES E ASPECTOS HISTÓRICOS.....	15
2.2 – NORMAS BRASILEIRAS NBR 15575	19
2.2.1 – Estrutura e conteúdo das normas NBR 15575.....	19
2.2.2 – Aplicação das normas NBR 15575 em construtoras e incorporadoras	23
2.2.2.1 – Fatores de risco relacionados ao desempenho de edificações habitacionais	29
3 – GESTÃO DE RISCOS E TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY.....	33
3.1 – DEFINIÇÕES E ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RISCOS	33
3.1.1 – Processos de gestão de riscos	35
3.1.1.1 – Estabelecimento de contexto	38
3.1.1.2 – Identificação de riscos	39
3.1.1.3 – Análise de riscos.....	39
3.1.1.4 – Avaliação de riscos.....	44
3.1.1.5 – Tratamento de riscos.....	45
3.1.1.6 – Monitoramento e análise crítica de riscos	46
3.1.1.7 – Comunicação e consulta sobre riscos	47
3.1.2 – Gestão de riscos no setor de construção	47
3.2 – TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY	52
3.2.1 – Conceitos e aspectos gerais	52
3.2.1.1 – Funções de pertinência	54

3.2.2 – Números fuzzy	55
3.2.3 – Operações matemáticas com números fuzzy.....	57
3.2.3.1 – Defuzzificação de resultados.....	59
3.3 – ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS – FTA.....	60
3.3.1 – Conceitos e informações gerais.....	60
3.3.2 – FTA baseada em matemática fuzzy.....	63
3.3.2.1 – Probabilidade fuzzy.....	65
4 – METODOLOGIA DE PESQUISA	67
4.1 – DESIGN SCIENCE RESEARCH.....	67
4.1.1 – Design Science Research como método científico.....	68
4.1.2 – Implementação de Design Science Research	70
4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA	75
5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS.....	82
5.1 – DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS	82
5.1.1 – Modelo de gestão de riscos utilizado.....	82
5.1.2 – Caracterização da ferramenta de gestão de riscos	85
5.1.2.1 – Caracterização do risco.....	87
5.1.2.2 – Contextualização da análise do risco.....	88
5.1.2.3 – Consequências associadas ao risco.....	89
5.1.2.4 – Eventos de origem do risco e suas probabilidades	92
5.1.2.5 – Avaliação dos riscos	96
5.1.2.6 – Planejamento de ações para abordagem do risco	98
5.1.2.7 – Monitoramento de ações para abordagem do risco	102
5.2 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA.....	103
5.2.1 – Análise dos resultados da aplicação da ferramenta de gestão de risco.....	103
5.2.2 – Observações sobre a aplicação da ferramenta de gestão de risco.....	112
6 – CONCLUSÕES.....	117
6.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	117
6.2 – RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS	120
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	122
APÊNDICE A – FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS	149
APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA.....	153

APÊNDICE C – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTA.....	154
APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DA FERRAMENTA.....	185
D.1 – CÁLCULO DA EXPECTATIVA DE CONSEQUÊNCIAS EC	185
D.2 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE ORIGINAL (sem tratamento) PO.....	186
D.3 – CÁLCULO DO NÍVEL DE RISCO ORIGINAL NRO.....	188
D.4 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE PLANEJADA PP (em função das ações planejadas).....	188
D.5 – CÁLCULO DO NÍVEL DE RISCO ORIGINAL NRP	191
D.6 – CÁLCULO DOS CUSTOS DAS AÇÕES PLANEJADAS CT	191
APÊNDICE E – REQUISITOS DE DESEMPENHO DA NBR 15575-4.....	193
E.1 – DESEMPENHO DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS.....	193
E.1.1 – Desempenho estrutural de vedações verticais.....	193
E.1.1.1 – Capacidade de suporte de peças suspensas em vedações verticais	193
E.1.1.2 – Impacto de corpo mole em sistemas de vedações verticais	194
E.1.1.3 – Ações transmitidas por portas	196
E.1.1.4 – Impacto de corpo duro em sistemas de vedações verticais	197
E.1.1.5 – Cargas incidentes sobre guarda-corpos e parapeitos de janelas.....	198
E.1.2 – Estanqueidade de vedações verticais	200
E.1.2.1 – Infiltração de água em vedações verticais externas	200
E.1.3 – Desempenho térmico de vedações verticais.....	201
E.1.3.1 – Transmitância e capacidade térmica de paredes externas	202
E.1.4 – Desempenho acústico de vedações verticais.....	203
E.1.4.1 – Diferença padronizada de nível de ruído promovida por vedações externas.....	204
E.1.4.2 – Diferença padronizada de nível de ruído promovida por vedações entre ambientes	205
APÊNDICE F – PUBLICAÇÕES RELACIONADAS À NBR 15575.....	206
F.1 – DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E EDIFICAÇÕES.....	206
F.2 – ANÁLISE CRÍTICA DE MÉTODOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO	215
F.3 – GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS	220
F.4 – PUBLICAÇÕES DE CARÁTER GENERALISTA	223

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 – Caracterização da literatura analisada com referência às normas NBR 15575 (fonte: autor).....	8
Tabela 2.1 – Incumbências definidas pela norma NBR 15575 (fonte: ABNT, 2013a).....	22
Tabela 3.1 – Publicações sobre análise de riscos aplicada ao setor de construção com uso da Teoria dos Conjuntos Fuzzy (fonte: autor).....	50
Tabela 3.2 – Publicações sobre Análise de Árvore de Falhas baseada em matemática fuzzy (fonte: autor).....	64
Tabela 5.1 – Blocos de formação da planilha de gestão de riscos desenvolvida (fonte: autor)	86
Tabela 5.2 – Números fuzzy triangulares correspondentes às probabilidades para consequências condicionadas a ocorrência do risco (fonte: autor).....	91
Tabela 5.3 – Números fuzzy triangulares correspondentes às probabilidades de ocorrência de eventos de origem do risco (fonte: autor).....	94
Tabela 5.4 – Fatores de efetividade relacionados a ações de contenção (fonte: autor)	100
Tabela 5.5 – Riscos originais identificados por avaliadores (fonte: autor)	104
Tabela 5.6 – Riscos originais e riscos resultantes do planejamento de ações de contenção (fonte: autor).....	106
Tabela 5.7 – Riscos originais e riscos resultantes do planejamento de ações de contenção (fonte: autor).....	107
Tabela 5.8 – Ações de contenção estabelecidas para abordagem de riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)	108
Tabela 5.9 – Classificação dos diferentes tipos de eventos de origem de riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)	110
Tabela 5.10 – Classificação dos diferentes tipos de consequências dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)	111
Tabela E.1 – Critérios de desempenho para impactos progressivos de corpo mole sobre sistemas de vedações verticais sem função estrutural de edifícios com mais de um pavimento, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c).....	195
Tabela E.2 – Massa do corpo percussor e alturas de queda para diferentes energias de impacto em ensaio de corpo mole, segundo a NBR 15575-2 (fonte: ABNT, 2013b).....	196
Tabela E.3 – Critérios de desempenho para impactos de corpo duro sobre sistemas de vedações verticais de edifícios, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c).....	197
Tabela E.4 – Requisitos de resistência a esforços horizontais, verticais e de impacto em guarda-corpos segundo a NBR 14718 (fonte: ABNT, 2008)	198

Tabela E.5 – Valores mínimos para diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) para vedações externas de dormitórios, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c)	204
Tabela E.6 – Valores mínimos para diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$) entre ambientes internos da edificação, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c).....	205

LISTA DE QUADROS

Quadro 4.1 – Linhas de orientação em Design Science Research (fonte: HEVNER et al., 2004)	71
Quadro 4.2 – Métodos de avaliação empregados em Design Science Research (fonte: HEVNER et al., 2004).....	75
Quadro 5.1 – Exemplo da identificação de riscos e contextualização em planilha (fonte: autor)	87
Quadro 5.2 – Exemplo da caracterização das consequências associadas ao risco em planilha (fonte: autor).....	90
Quadro 5.3 – Exemplo do lançamento em planilha da caracterização dos eventos de origem e probabilidades associadas ao risco (fonte: autor).....	95
Quadro 5.4 – Exemplo de resultados iniciais da análise de risco apresentadas na planilha (fonte: autor).....	96
Quadro 5.5 – Exemplo do lançamento em planilha das ações para tratamento do risco (fonte: autor)	98
Quadro 5.6 – Exemplo dos resultados da análise de risco para tratamentos planejados apresentados na planilha (fonte: autor).....	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Edificações como matrizes de partes e atributos: (a) abordagem prescritiva; (b) abordagem baseada no desempenho (fonte: HATTIS, 1996 apud FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998); (c) tradução de necessidades do usuário em atributos (fonte: FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998).....	16
Figura 2.2 – Abordagens do desempenho ao longo do ciclo de construção (fonte: autor)	25
Figura 3.1 – Processo de gestão de riscos segundo a NBR ISO 31000 (fonte: ABNT, 2009)..	38
Figura 3.2 – Representação de um número fuzzy triangular A (ai, at, af) (fonte: BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).....	56
Figura 3.3 – Exemplo de uma estrutura de árvore de análise de falhas (fonte: adaptado de SURESH; BABAR; VENKAT RAJ, 1996).....	63
Figura 4.1 – Redesign reflexivo (fonte: VAN AKEN; BERENDS; VAN DER BIJ, 2012)	74
Figura 4.2 – Estrutura e atividades referentes ao método de pesquisa aplicado (fonte: autor) .	76
Figura 5.1 – Fluxo de processos do modelo de gestão de riscos desenvolvido (fonte: autor) ..	83
Figura 5.2 – Exemplo de representação de Análise de Árvore de Falhas (fonte: autor)	93
Figura 5.3 – Caracterização dos tipos de ações de contenção estabelecidas para abordagem dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor).....	109
Figura 5.4 – Caracterização dos tipos de evento de origem dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)	109
Figura 5.5 – Níveis de utilidade apontados para atividades da ferramenta (fonte: autor)	112
Figura 5.6 – Níveis de dificuldade de uso apontados para atividades da ferramenta (fonte: autor)	113
Figura 5.7 – Contribuição da ferramenta para análise e planejamento de ações relativas ao desempenho de edificações (fonte: autor)	115
Figura 5.8 – Possibilidade de uso da ferramenta em outras áreas (fonte: autor)	116
Figura A.1 – Layout da planilha de gestão de riscos desenvolvida (fonte: autor)	149
Figura A.1 – Layout da planilha de gestão de riscos desenvolvida (continuação).....	150
Figura A.1 – Layout da planilha de gestão de riscos desenvolvida (continuação).....	151
Figura A.2 – Layout da planilha de planejamento e controle de ações de contenção de riscos (fonte: autor).....	152
Figura B.1 – Questionário de avaliação da ferramenta de gestão de riscos (fonte: autor)	153
Figura C.1 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)	154
Figura C.2 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)	157

Figura C.3 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor).....	161
Figura C.4 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 1(fonte: autor)	165
Figura C.5 – Planilha de planejamento e controle de ações de contenção definida por avaliador 1 (fonte: autor).....	169
Figura C.6 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)	170
Figura C.7 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)	174
Figura C.8 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor).....	177
Figura C.9 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)	180
Figura C.10 – Planilha de planejamento e controle de ações de contenção definida por avaliador 2 (fonte: autor).....	184

LISTA DE SÍMBOLOS, NOMENCLATURA E ABREVIACÕES

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANFACER	Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres
AHP	Processo de Análise Hierárquica, do inglês <i>Analytic Hierarchy Process</i>
APR	Análise Preliminar de Riscos
ASBEA	Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura
BNH	Banco Nacional de Habitação
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
CIB	<i>International Council for Building Research Studies and Documentation</i>
DATec	Documento de Avaliação Técnica, para caracterização de sistemas construtivos inovadores no PBQP-H SiNAT
FAD	Ficha de Avaliação de Desempenho, para caracterização de sistemas construtivos convencionais no PBQP-H SiNAT
FMEA	Análise de Modos de Falhas e Efeitos, do inglês <i>Failure Modes Effect Analysis</i>
FTA	Análise de Árvore de Falhas, do inglês <i>Fault Tree Analysis</i>

ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Brasileira, abreviação adotada para normas publicadas pela ABNT
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
PBQP-H	Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat
PMBOK	<i>Project Management Body of Knowledge</i> , conforme mantido pelo <i>Project Management Institute</i>
QRAM	Modelo de Avaliação Qualitativa de Riscos, do inglês <i>Qualitative Risk Assessment Model</i>
SiAC	Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil, no âmbito do PBQP-H
SINAENCO	Sindicato Nacional de Arquitetura e Engenharia Construtiva
SiNAT	Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais, no âmbito do PBQP-H
TOPSIS	<i>Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution</i>

1 – INTRODUÇÃO

1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO E PROBLEMÁTICA

As características de um edifício devem ser concebidas como resposta às necessidades de seus usuários, a fim de que possa efetivamente cumprir suas funções. Para edificações habitacionais, tais necessidades correspondem a exigências humanas de caráter fisiológico, psicológico, social ou econômico que se refletem em aspectos de segurança, habitabilidade e durabilidade, assim como a custos de construção e conservação da edificação ao longo do tempo (BLACHÈRE, 1978).

A abordagem do desempenho de uma edificação busca manter o foco durante a definição do empreendimento nos propósitos planejados para o edifício, de modo que suas características sejam estabelecidas com base nas necessidades dos usuários, e não em soluções construtivas preconcebidas, sem uma análise crítica que garanta sua capacidade de alcançar tais propósitos (GIBSON, 1982).

A tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que sejam viáveis em termos técnicos e econômicos, compatíveis com a realidade da sociedade, e que possam ser mensurados objetivamente é um dos pontos fundamentais na aplicação do desempenho em edifícios como referencial para o setor de construção (BORGES, 2008).

Com esta finalidade, as normas NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, publicadas em fevereiro de 2013, determinam requisitos e critérios para o desempenho dos edifícios habitacionais brasileiros. Estas normas são abrangentes e possuem conteúdo extenso e complexo, envolvendo treze aspectos distintos e tecnicamente especializados, totalizando mais de 340 páginas e referenciando diretamente cerca de 220 outras normas técnicas nacionais e internacionais (ABNT, 2013a).

Até a época da elaboração e publicação destas normas, em termos gerais, o setor da construção civil no Brasil não mantinha uma atuação norteadada pelo desempenho das edificações, sendo tal aspecto considerado uma consequência natural do processo construtivo ou como algo secundário para o imóvel disponibilizado ao cliente. Oliveira e Mitidieri Filho (2012) relatam que a prática comum no cenário brasileiro quanto ao

desenvolvimento de projetos de edificações habitacionais não considerava a questão do desempenho, partindo de decisões arquitetônicas e tecnologias construtivas predefinidas, voltando-se para custos e prazos de execução, e somente num segundo momento, e não em todos os casos, buscava a avaliação do desempenho.

Atualmente, embora tenham ocorrido mudanças importantes no setor da construção civil desde a publicação das normas de desempenho, diversas dificuldades para sua aplicação permanecem. Com base em uma série de debates sobre as normas NBR 15575 envolvendo entidades profissionais de engenharia e arquitetura, SINAENCO (2015) relata que o mercado nacional de construção não se encontra estruturado para aplicação imediata destas normas, incluindo todos os intervenientes no processo: projetistas, construtores, fornecedores de materiais e usuários das edificações.

Neste sentido, Okamoto (2015) aponta que projetistas e representantes de empresas construtoras e incorporadoras possuem conhecimento deficiente dos requisitos das normas NBR 15575, de algumas questões legais e de outras normas técnicas pertinentes, assim como confessam que, em alguns casos, simplesmente não conhecem o desempenho de suas obras. Cita ainda que, de modo geral, empreiteiros não possuem nenhum conhecimento sobre as normas de desempenho, enquanto fabricantes de materiais e componentes, embora demonstrem um esforço para se qualificar, ainda apresentam dificuldades em caracterizar o desempenho de seus produtos.

Outros autores seguem na caracterização deste quadro: Vieira *et al.* (2017) apontam que parte das empresas de arquitetura não considera efetivamente os requisitos de desempenho durante a elaboração de seus projetos. Mahl e Andrade (2010) afirmam que há dificuldades na aplicação de muitos dos ensaios previstos pelas normas NBR 15575, em sua versão então vigente, principalmente em razão da complexidade e dos custos envolvidos em sua realização, assim como da necessidade de acesso a uma grande quantidade de normas nacionais e internacionais. Souza (2016) e Cotta; Pinheiro e Andery (2017) relatam que, ao mesmo tempo em que os fabricantes têm buscado a adequação de seus produtos e o fornecimento de informações adequadas, há dificuldades em se obter informações técnicas sobre materiais e sistemas quanto ao atendimento das normas de desempenho.

Caracterizando o panorama geral da indústria da construção em relação ao processo de implementação dos requisitos da NBR 15575, CBIC (2016), numa pesquisa junto a incorporadores, construtoras, projetistas e fabricantes que tinham atuado no sentido de sua adequação aos requisitos normativos, cita uma série de dificuldades: a falta de informações sobre os materiais e componentes construtivos; indisponibilidade de laboratórios para a realização dos ensaios em diversas regiões do país; desconhecimento e desinteresse dos projetistas sobre as normas de desempenho.

A implementação efetiva das normas NBR 15575 passa por mudanças significativas nas atividades do setor de construção habitacional, relacionadas à concepção do empreendimento, contratação, desenvolvimento de projetos, execução de obras e uso e manutenção das edificações (BORGES, 2008; OKAMOTO, 2015).

1.1.1 – Responsabilidades de construtores e incorporadoras frente à NBR 15575

A primeira parte das normas de desempenho NBR 15575 define as responsabilidades de alguns dos diferentes intervenientes relacionados à construção de edifícios habitacionais e, inicialmente, delimita as incumbências de empresas construtoras e incorporadoras ao seguinte:

- Incorporadores e construtores devem elaborar o manual de uso, operação e manutenção, com base na norma NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos, de modo a garantir o desempenho da edificação ao longo de sua vida útil;
- O incorporador, em conjunto com os projetistas envolvidos, deve realizar a identificação dos riscos previsíveis na época da elaboração dos projetos, incluindo a presença de aterros sanitários na área da construção, contaminação de lençol freático, presença de agentes agressivos no solo, entre outros, com a realização dos estudos técnicos necessários para gerar informações apropriadas (ABNT, 2013a).

Ademais, ao tratar da durabilidade da edificação, a NBR 15575-1 acrescenta ao construtor, de modo implícito, uma atribuição essencial, sem a qual o atendimento dos prazos de vida

útil de projeto definidos para a edificação seria prejudicado: o cumprimento integral dos projetos (ABNT, 2013a).

Por outro lado, a legislação brasileira amplia a responsabilidade de empresas construtoras e incorporadoras. Embora normas técnicas não possuam caráter compulsório, algumas leis simplesmente as tornam obrigatórias ou estabelecem consequências em casos de seu descumprimento, o que ocorre para as normas NBR 15575 quando sob a luz do Código de Defesa do Consumidor (CBIC, 2013; DEL MAR, 2015).

Este código, descrito na Lei nº 8078 de 11/9/1990, em seu artigo 39, inciso VIII, considera como prática abusiva e veda o fornecimento ao mercado de “qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais competentes ou, se normas específicas não existirem, pela Associação Brasileira de Normas Técnicas ou outra entidade credenciada pelo Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial” (BRASIL, 1990).

Além disto, o Código de Defesa do Consumidor, em seu artigo 12, estabelece que o construtor responde, “independentemente da existência de culpa, pela reparação dos danos causados aos consumidores por defeitos decorrentes de projeto, fabricação, construção, montagem, fórmulas, manipulação, apresentação ou acondicionamento de seus produtos, bem como por informações insuficientes ou inadequadas sobre sua utilização e riscos”, enquanto, em seu artigo 18, determina que o incorporador, como fornecedor de produtos de consumo duráveis, responda “solidariamente pelos vícios de qualidade ou quantidade que os tornem impróprios ou inadequados ao consumo a que se destinam ou lhes diminuam o valor” (BRASIL, 1990).

Em termos práticos, embora toda a cadeia de intervenientes que contribuiu no processo construtivo possa ter responsabilidade sobre eventuais vícios na edificação, nos limites de seu fornecimento ou naquilo que dele possa resultar, o responsável imediato e direto perante o cliente usuário é aquele que efetua a alienação do imóvel ou sua execução (SINAENCO, 2015).

Ou seja, construtores e incorporadores, como fornecedores do imóvel habitacional a seus clientes, passam a ter responsabilidade direta sobre a adequação da edificação entregue aos

requisitos de desempenho estabelecidos nas normas NBR 15575, inclusive sobre falhas originadas por outros intervenientes do processo construtivo, como projetistas, fornecedores de materiais e componentes, empresas subcontratadas para execução de serviços e laboratórios, entre outros.

Nestes termos, empresas construtoras e incorporadoras possuem papel fundamental na garantia do desempenho de edificações habitacionais segundo os requisitos da NBR 15575, seja de modo direto, em função de suas incumbências descritas nestas normas, seja indiretamente, ao compartilharem das responsabilidades de projetistas, fornecedores de materiais e componentes e outros intervenientes do processo construtivo.

1.1.2 – Gestão de riscos no atendimento às normas NBR 15575

Para empresas construtoras e incorporadoras, principalmente quando há maior limitação de recursos, três questões principais se colocam no tocante ao planejamento e implementação de ações visando o atendimento às normas NBR 15575: quais os requisitos de desempenho que devem ser considerados prioritários para tomada de ações; que ações devem ser implantadas para atendimentos aos requisitos desempenho, considerando seu nível de eficácia em contrapartida aos custos e esforços para sua implementação; como monitorar a implementação destas ações de modo a se identificar sua efetividade ou a necessidade de providências adicionais para atendimento aos requisitos.

Foliente; Leicester e Pham (1998) afirmam que, para qualquer edifício projetado e construído com foco no cumprimento de determinado padrão de desempenho, existe sempre a possibilidade de falha neste intento e, embora não seja fácil estabelecer níveis aceitáveis para os riscos associados ao desempenho de edificações habitacionais, faz-se necessário o desenvolvimento de ferramentas de apoio à gestão de empreendimentos voltadas para o balanceamento entre tais riscos e os custos envolvidos em sua prevenção, buscando a otimização dos custos de construção.

O desempenho em uso das edificações sofre influência da variabilidade presente nas características físicas da obra, nas interações entre materiais e componentes, em fatores humanos e aspectos climáticos, assim como nos próprios requisitos de desempenho quando traduzem as necessidades de usuários. Tais fatores são inerentemente variáveis e trazem

em si diferentes níveis de incerteza (FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998; HOLICKÝ, 1999).

Diferentes requisitos de desempenho estão associados a diferentes probabilidades de falhas, assim como são diferentes os impactos gerados quando estas falhas acontecem. Como exemplo, a tradição do uso de estruturas em concreto armado no Brasil faz com que a possibilidade de um colapso estrutural seja muito reduzida, embora as consequências de um evento como este possam envolver situações extremas em termos legais, institucionais e financeiros. Em outro sentido, patologias em revestimentos de fachada se mostram bastante comuns em cidades brasileiras, no entanto suas consequências normalmente são bem menos severas que aquelas relativas a falhas estruturais.

Portanto, a consideração dos níveis de risco¹ decorrentes das probabilidades e consequências a cada aspecto de desempenho se apresenta como alternativa para a fundamentação de decisões sobre prioridades relativas aos requisitos de desempenho. E neste sentido, a gestão de risco se apresenta como um processo sistemático de identificação, análise e avaliação da necessidade de modificação dos riscos envolvidos. Ao manter seu foco nas incertezas relacionadas a processos, identificar os níveis de risco envolvidos e gerenciar as ações estabelecidas para tratamento destes riscos, a gestão de riscos pode fundamentar a gestão dos processos voltados para a garantia do desempenho de edificações habitacionais.

1.1.3 – Gestão de riscos baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*

Na maior parte das vezes, processos de tomada de decisão, que normalmente incluem grandes quantidades de informação, são prejudicados pelo uso de informações imprecisas, incompletas, não totalmente confiáveis ou mesmo tratadas de maneira inadequada (ZADEH, 1984).

A abordagem probabilística em análises de riscos depende diretamente das probabilidades associadas a seus eventos de origem, os quais somente podem ser obtidos a partir de dados

¹ Segundo a NBR ISO 31000, o nível de risco se refere à magnitude do risco e é expresso em termos da combinação das consequências do risco e de sua probabilidade (ABNT, 2009). Em termos matemáticos, pode ser expresso pelo produto entre os impactos e a probabilidade relacionada a determinado risco.

históricos. Muitas vezes há dificuldades na obtenção destes dados, por motivos diversos: pouco tempo de aplicação de novos sistemas e componentes; alterações contínuas de contextos associados, componentes e dos próprios sistemas; dados disponibilizados em número reduzido ou com grande variabilidade, limitando inferências estatísticas; dados disponibilizados incompletos (ignorância parcial) ou imprecisos; assim como, variedade de fontes de informações que podem divergir em métodos e dados (SURESH; BABAR; VENKAT RAJ, 1996; PAN; YUN, 1997; FERDOUS *et al.*, 2011; PURBA *et al.*, 2014).

Os requisitos de desempenho de edificações são afetados por diversos tipos de incerteza, os quais dificilmente poderiam ser descritos por modelos probabilísticos tradicionais. A própria tradução das necessidades humanas em requisitos técnicos de desempenho envolve definições de certo modo vagas e imprecisas, ao mesmo tempo em que as características do edifício que respondem pelo desempenho também apresentam um caráter variável e de imprecisão (HOLICKÝ, 1999). E a principal dificuldade na aplicação da gestão de riscos voltada para a garantia do desempenho de edificações encontra-se justamente na indisponibilidade de dados históricos consolidados sobre as probabilidades e consequências relacionadas a eventos de falhas de desempenho.

Como resposta a limitações deste tipo, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* permite que informações expressas em termos linguísticos, subjetivos, sejam representadas matematicamente, possibilitando seu tratamento em relações, funções e equações, com a *fuzzificação* de diversas áreas da matemática clássica, facilitando aplicações com os mais diferentes propósitos (KLIR; YUAN, 1995).

A caracterização de probabilidades pode ser feita por meio da aplicação de números *fuzzy*, de modo a absorver suas imprecisões e incertezas, com base nas percepções sobre sua natureza e rotuladas em termos linguísticos (ZADEH, 1984). A mesma abordagem pode ser dada às consequências do risco, sendo que os conjuntos *fuzzy* podem retratar incertezas de um modo, ao mesmo tempo, natural e matematicamente rigoroso.

1.1.4 – Pesquisas relacionadas às normas de desempenho NBR 15575

Com base em um levantamento da literatura disponível sobre pesquisas relacionadas às normas de desempenho NBR 15575, retratada na Tabela 2.1 e detalhada no Apêndice F,

verifica-se que são poucos os trabalhos acadêmicos e setoriais que abordam de forma ampla a atuação de empresas construtoras e incorporadoras no sentido de garantir o atendimento de seus requisitos.

Assunto Tratado	Exemplos	Tipo de Publicação						Totais
		Artigo em Congresso	Artigo em Revista	Artigo em Livro	Publicação Avulsa	Dissertação de Mestrado	Tese de Doutorado	
Caracterização do desempenho de diferentes sistemas construtivos e tipos de edificação	Borges (2013), Bolina <i>et al.</i> (2015), Silva (2014), Santos Filho (2015) e ANFACER (2016)	32	7	-	3	16	1	59
Discussões e propostas relacionadas aos critérios de desempenho e métodos de avaliação definidos nas normas NBR 15575	Lorenzi (2013), Chvatal (2014) e Silva e Ghisi (2014a)	18	12	1	-	2	2	35
Avaliações e propostas para processos de elaboração e gestão de projetos frente a requisitos da NBR 15575	Oliveira e Mitidieri Filho (2012), Paula; Uechi e Melhado (2013), Okamoto (2015), Carraro (2017) e Cotta e Andery (2018)	9	4	-	4	2	-	19
Temas gerais (diagnósticos setoriais, tópicos únicos relacionados ao desempenho)	-	13	5	-	3	3	-	24
Totais		72	28	1	10	23	3	137

Tabela 1.1 – Caracterização da literatura analisada com referência às normas NBR 15575 (fonte: autor)

Como reflexo do próprio conteúdo destas normas, são estabelecidas três linhas de pesquisa principais: caracterização dos diferentes aspectos de desempenho relacionados a sistemas construtivos e tipos de edificação específicos; discussões e propostas relacionadas aos critérios de desempenho e métodos de avaliação definidos pelas normas NBR 15575, e; avaliações e propostas relacionados a processos de elaboração e gestão de projetos frente a requisitos das normas NBR 15575. Parte dos trabalhos envolvendo este último tópico inclui a gestão de projetos dentro de empresas construtoras e incorporadoras, embora não abranja outros processos, fazendo menção apenas a suas interfaces com o processo de projetos.

As publicações identificadas como de tema geral apresentam diagnóstico setoriais relacionados ao desempenho, assim como tratam de assuntos específicos: gestão da manutenção de edifícios com foco no desempenho (SANTOS; HIPPERT, 2016), fundamentação de códigos de obra com base nas normas de desempenho (NICOLINI, 2015), comparação da implantação de normas de desempenho em construção no Brasil e outros países (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014), entre outros tópicos.

Quanto à abordagem das normas NBR 15575 por meio dos riscos correlatos, Barreto e Andery (2014), Alves *et al.* (2017), Firmo; Paulo e Santos (2017) e Machado e Andery (2017) apresentam avaliações e propostas de ferramentas para análise de riscos com foco nos processos de desenvolvimento de projetos.

De acordo com a NBR 15575, o efetivo desempenho da edificação, ao longo dos prazos de vida útil definidos, resulta da adequação dos projetos como resposta ao desempenho planejado para a edificação, somada à execução da obra respeitando integralmente tais projetos, com processos construtivos adequados e incorporação de materiais e componentes conforme especificados, e do correto uso, operação e manutenção, sob influência de eventuais alterações climáticas e em outras condições de entorno da obra ao longo do tempo (ABNT, 2013a).

Alguns autores adotam uma visão mais alinhada com este conceito, ao afirmar que o desempenho da edificação se apresenta como resultado de decisões e ações estabelecidas ao longo de todas as fases do ciclo de construção, tais como Preiser e Schramm, 2005; Silva; Barros e Fagundes Neto, 2016 e Barbosa e Andery, 2017. Também nesta direção, o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H SiAC, em suas versões publicada em janeiro de 2017 e junho de 2018, inclui requisitos de gestão da qualidade para empresas construtoras voltados para a garantia do desempenho de edificações habitacionais com base nas normas NBR 15575 (BRASIL, 2017; 2018).

A pesquisa ora relatada busca se posicionar neste alinhamento, ao propor uma ferramenta de gestão de riscos que possibilite a empresas construtoras e incorporados uma perspectiva mais ampla das ações necessárias para garantia do desempenho de edificações, envolvendo o ciclo de construção como um todo.

1.1.5 – Apresentação da pesquisa proposta e justificativas

A pesquisa realizada tem por finalidade o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de riscos baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, a ser aplicada por empresas construtoras e incorporadoras, com foco no atendimento aos requisitos de desempenho para edificações habitacionais definidos nas normas NBR 15575, que propicie uma base lógica, objetiva e sistêmica para identificação dos níveis de risco relacionados a diferentes requisitos de desempenho, com a definição de riscos prioritários, e para o planejamento, implementação e monitoramento de ações voltadas para abordagem destes riscos.

A originalidade deste estudo se sustenta sobre três aspectos principais:

- Desenvolvimento de uma ferramenta, a ser aplicada por empresas construtoras e incorporadoras, que propicia um procedimento lógico, objetivo, sistemático e efetivo para subsidiar a garantia do atendimento aos requisitos definidos nas normas de desempenho NBR 15575;
- Abordagem dos riscos relacionados aos requisitos de desempenho de uma forma ampla, buscando a definição de prioridades, planejamento e controle de ações envolvendo as etapas do ciclo de construção como um todo, extrapolando os processos de desenvolvimento de projetos;
- Aplicação da gestão de riscos com base na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e no método de Análise de Árvore de Falhas para abordagem de riscos relacionados ao desempenho de edificações.

Por estar voltado para a produção de uma solução prática para a gestão do desempenho de edificações habitacionais, o método de pesquisa adotado se fundamenta no modelo *Design Science Research*, detalhado no Capítulo 4.

Este estudo se insere na linha de pesquisa “gestão e sustentabilidade da construção civil” do Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC/UnB, se relacionando com outros trabalhos realizados neste programa relacionados à questão do desempenho de edificações e seus sistemas construtivos e à análise de riscos:

- Lourenço Filho (2009), que avalia as atividades de manutenção de edifícios residenciais, incluindo aspectos relacionados à garantia dos imóveis, com a caracterização das relações em empresas construtoras e condomínios localizados no Distrito Federal;
- Carvalho (2009), que desenvolve um método de avaliação da sustentabilidade para habitações de interesse social, no qual são incluídos aspectos relacionados ao desempenho das edificações;
- Araújo (2012), que estuda a gestão de contrato de obras públicas com foco no gerenciamento de riscos, com base nas técnicas definidas do *Project Management Body of Knowledge – PMBOK* e na legislação sobre contratos públicos;
- Santos Filho (2015), sobre o desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz das normas de desempenho NBR 15575;
- Caldeira (2015), sobre o gerenciamento de riscos em contratos de obras públicas;
- Beltrão (2017), sobre análise de riscos em obras públicas com base no processo de análise hierárquica *fuzzy*;
- Gonçalves (2018), que trata do uso de processos BIM na avaliação de desempenho térmico e acústico de edificações, assim como dos custos de decisões de projeto.

1.2 – OBJETIVOS DA PESQUISA

Esta pesquisa tem por objetivo geral o desenvolvimento de uma ferramenta de gestão de riscos para uso em empresas construtoras e incorporadoras voltados para a identificação de riscos prioritários e para o planejamento e monitoramento de ações visando a garantia do desempenho de edificações habitacionais segundo as normas NBR 15575.

Este objetivo geral se desdobra nos seguintes objetivos específicos:

- Definir um modelo de gestão de riscos com foco na identificação dos níveis de risco relacionados a diferentes requisitos de desempenho e no planejamento e controle de ações para garantia do desempenho de edificações habitacionais em empresas construtoras e incorporadoras;
- Estabelecer, a partir deste modelo de gestão de riscos, uma estrutura em planilha eletrônica, baseado na Teoria dos Conjuntos Fuzzy, que se apresente eficaz e com

utilidade efetiva como base para tomada de decisões para garantia do desempenho de edificações habitacionais para empresas construtoras e incorporadoras;

- Caracterizar a abrangência, tendências e outras informações relacionadas às análises de riscos realizadas durante as etapas de desenvolvimento e validação desta ferramenta, em sua aplicação por profissionais de empresas construtoras e incorporadoras atuantes no mercado de construção de edifícios de múltiplos pavimentos, com foco no atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos nas normas NBR 15575.

1.3 – HIPÓTESES DE PESQUISA

A hipótese geral desta pesquisa se define nos seguintes termos: a gestão de riscos, baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, pode ser utilizada de forma efetiva para uma avaliação sistemática, lógica e objetiva da situação de empresas construtoras e incorporadoras quanto à garantia do desempenho de edificações habitacionais conforme estabelecido nas normas NBR 15575.

Além disto, esta pesquisa trata das seguintes hipóteses específicas:

- A gestão dos riscos, baseada em matemática *fuzzy* e no método de Análise de Árvore de Falhas – FTA, aplicada por empresas construtoras e incorporadoras, pode fundamentar a identificação de aspectos prioritários, assim como o planejamento e controle de ações, voltados para a garantia do desempenho de edificações habitacionais;
- Um modelo de gestão de riscos baseado em matemática *fuzzy* e FTA pode ser estruturado de modo lógico e funcionalmente efetivo em uma planilha eletrônica de uso comum, permitindo seu uso sem a necessidade de programas computacionais de disponibilidade mais restrita;
- A gestão dos riscos relacionados aos requisitos de desempenho de edificações, baseada em matemática *fuzzy* e da FTA, permite que todos os processos do ciclo de construção sejam abrangidos.

1.4 – LIMITAÇÕES DA PESQUISA

Em função dos prazos comuns no processo de desenvolvimento de projetos e construção de edifícios, não foi possível acompanhar a implementação da terceira etapa do modelo proposto, que envolve o monitoramento das ações planejadas para abordagem dos riscos.

Tendo em vista a extensão das normas NBR 15575, a aplicação do modelo proposto se restringe aos requisitos aplicados a sistemas de vedações verticais internas e externas, descritos em sua parte 4. Esta opção para validação da ferramenta decorre da disponibilidade de bibliografia relacionada a patologias e desempenho deste sistema e da tradição das práticas construtivas envolvidas, o que deve permitir uma análise melhor fundamentada dos riscos correlatos. Por outro lado, esta pesquisa não pretende esgotar a análise dos riscos e desempenho relacionados aos sistemas de vedação, apenas tomá-lo como referência para aplicação e validação da ferramenta desenvolvida.

1.5 – ESTRUTURA DA TESE

Esta tese encontra-se estruturada em seis capítulos, sendo:

- Capítulo 1 – Introdução, em que se apresenta a pesquisa desenvolvida, com suas justificativas em termos de relevância, objetivos e hipóteses de trabalho;
- Capítulo 2 – Desempenho de Edificações Habitacionais, em que se abordam as principais informações relativas às normas NBR 15575, a discussão de sua implantação em empresas construtoras e incorporadoras e dos principais fatores que influenciam tal desempenho;
- Capítulo 3 – Gestão de Riscos e Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, com a caracterização dos aspectos teóricos relacionados à gestão de riscos e sua aplicação a atividades de construção, assim como uma apresentação dos conceitos e aspectos gerais relacionados aos conjuntos *fuzzy*, incluindo o ferramental matemático disponível e uma descrição do método de Análise de Árvore de Falhas – FTA;
- Capítulo 4 – Metodologia de Pesquisa, onde são apresentados os conceitos relativos ao *Design Science Research* e, com base nestes conceitos, a caracterização do método de pesquisa utilizado, incluindo as etapas de trabalho e seus respectivos

critérios de execução, assim como os critérios de seleção de empresas construtoras e incorporadoras participantes da pesquisa;

- Capítulo 5 – Apresentação e Análise de Resultados, com a descrição do modelo de gestão de riscos desenvolvido, com a caracterização da ferramenta estruturada a partir deste modelo, incluindo os critérios para sua aplicação, e com a apresentação dos resultados obtidos no uso da ferramenta pelos profissionais participantes desta pesquisa e de suas avaliações;
- Capítulo 6 – Conclusões, com a síntese dos resultados desta tese e a identificação de trabalhos futuros que poderão ser desenvolvidos a partir desta pesquisa.

Além disso, esta tese é acompanhada de quatro apêndices que a complementam:

- Apêndice A – Ferramenta de Gestão de Riscos, no qual se apresenta um espelho da planilha eletrônica desenvolvida durante esta pesquisa;
- Apêndice B – Questionário para Avaliação da Ferramenta, com a apresentação do formulário utilizado para avaliação da ferramenta pelos profissionais que efetuaram sua aplicação;
- Apêndice C – Resultados da Aplicação de Ferramenta, com espelhos das planilhas preenchidas com as informações incluídas pelos profissionais envolvidos em sua aplicação para fins de validação;
- Apêndice D – Apresentação de cálculos de probabilidades, consequências, níveis de risco e custos, passo a passo, conforme deveriam ser realizados pela planilha eletrônica desenvolvida, buscando sua validação matemática;
- Apêndice E – Requisitos de Desempenho da NBR 15575-4, em que se sintetizam os requisitos de desempenho para sistemas de vedações verticais selecionados pelos profissionais avaliadores para a análise de riscos correlatos;
- Apêndice F – Lista de publicações analisadas durante revisão da literatura relacionada às normas NBR 15575, classificadas por assunto.

2 – DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS

Este capítulo retrata as normas brasileiras de desempenho de edificações habitacionais NBR 15575, incluindo a caracterização de conceitos e do contexto histórico envolvidos, de seu conteúdo e estruturação e de questões relacionadas a sua implementação em empresas construtoras e incorporadoras.

2.1 – DEFINIÇÕES E ASPECTOS HISTÓRICOS

Um edifício deve apresentar características que o capacitem a atender às necessidades de seus futuros usuários, especialmente quanto a exigências humanas de caráter fisiológico, psicológico, social ou econômico, os quais se refletem em aspectos de habitabilidade e durabilidade (BLACHÈRE, 1978).

Os processos de construção, quando baseados no desempenho, utilizam requisitos de desempenho como fundamento para a definição das características de uma edificação adequada para determinado propósito. Na abordagem do desempenho da edificação, o foco deve permanecer sobre as funções requeridas para o edifício e seus elementos, os quais devem ser pensados primeiro em termos de seus propósitos para então se definir as soluções e especificações técnicas adequadas para alcançá-los (GIBSON, 1982; SIMS; BAKENS, 2002).

Representando edifícios como matrizes compostas por suas partes e seus atributos, em uma abordagem prescritiva, tem-se que as partes do edifício seriam descritas, especificadas e executadas, resultando em um edifício com um conjunto de atributos de desempenho implícitos (ver Figura 2.1a). Já em uma abordagem baseada no desempenho, os atributos de desempenho da edificação seriam descritos e especificados *a priori* e diversas combinações de partes de edifícios poderiam ser selecionadas a fim de atender ao desempenho especificado (ver Figura 2.1b). Como as necessidades e requisitos dos usuários devem ser os parâmetros para definição dos atributos de desempenho da edificação, a identificação destas necessidades e requisitos se torna a base para o

desenvolvimento do edifício (ver Figura 2.1c) (HATTIS, 1996² *apud* FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998).

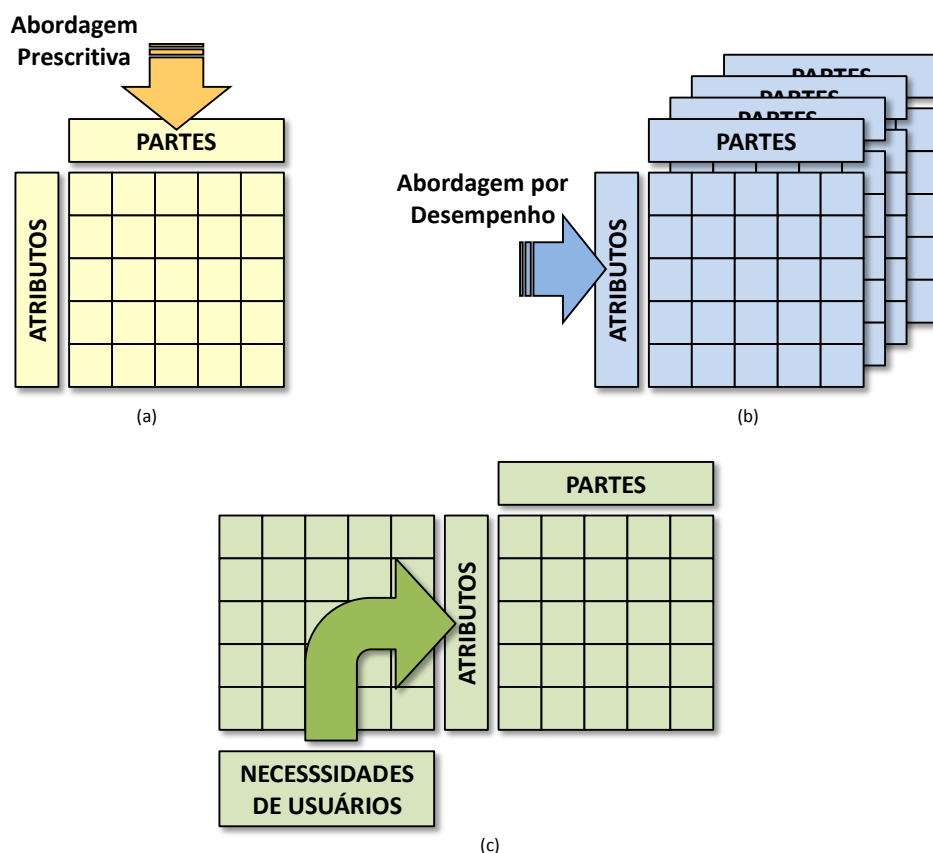


Figura 2.1 – Edificações como matrizes de partes e atributos: (a) abordagem prescritiva; (b) abordagem baseada no desempenho (fonte: HATTIS, 1996 *apud* FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998); (c) tradução de necessidades do usuário em atributos (fonte: FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998)

A norma ISO 6241 define o desempenho de uma edificação como seu comportamento em uso (ISO, 1984). Esta definição de desempenho tem origem na década de 1960, delineada a partir de questões levantadas no segundo congresso do *Council International for Building* – CIB, realizado em Cambridge, na Inglaterra, em 1962, e apresentada no livro intitulado *Savoir bâtir: habitabilité, durabilité, économies de bâtiments*, de 1967, de Gérard Blachère, então diretor do *Centre Scientifique et Technique du Bâtiment* – CSTB, na França. Já na década de 1970, o CIB criou uma comissão com o objetivo de estabelecer

² HATTIS, D. 1996. Role and significance of human requirements and architecture in application of the performance concept in building. In: **Proc 3rd CIB-ASTM-ISO-RILEM International Symposium**, Tel Aviv (Israel), Becker, R. and Paciuk, M. (Eds), Vol. 1, I- 3.

uma estrutura conceitual e tecnológica do desempenho de edificações a ser adotada em âmbito internacional (DEL CARLO, 2007; BORGES, 2008; KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

Uma das atividades mais complexas na definição e aplicação do conceito de desempenho na construção civil é a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que possam ser objetivamente mensurados, segundo métodos de avaliação definidos e com a consideração de condições de uso e exposição específicos, limitados por sua viabilidade técnica e econômica em cada sociedade. Com este objetivo, na década de 1980, foram publicadas duas normas internacionais: a ISO 6240 – *Performance standards in building – Contents and presentation* e a ISO 6241 – *Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered* (BORGES; SABBATINI, 2008).

Estas normas foram substituídas pela ISO 19208 – *Framework for specifying performance in buildings* e por outras normas publicadas, tais como a ISO 11863 – *Buildings and building-related facilities – Functional and user requirements and performance – Tools for assessment and comparison*, ISO 15928-1 – *Houses – Description of performance – Part 1: Structural safety*, ISO 15928-2 – *Houses – Description of performance – Part 2: Structural serviceability*, ISO 15928-3 – *Houses – Description of performance – Part 3: Structural durability*, ISO 15928-4 – *Houses – Description of performance – Part 4: Fire safety*, ISO 15928-5 – *Houses – Description of performance – Part 5: Operating energy*, entre outras.

No contexto destas normas internacionais, o próprio conceito de desempenho foi ampliado, sendo definido pela ISO 19208, como a “capacidade de cumprir funções requeridas sob condições de uso pretendidas, comportamento em uso ou impacto sobre condições econômicas, ambientais, sociais ou de qualidade de vida” (ISO, 2016).

Em 2000, a rede temática PeBBu – *Performance Based Building* foi criada no âmbito do CIB – *International Council for Research and Innovation in Building and Construction*, com o propósito de estimular e apoiar a disseminação e a implementação a nível internacional de práticas em construção baseadas no desempenho das edificações, inclusive com a consolidação dos trabalhos até então publicados sobre o assunto (SIMS; BAKENS, 2002; KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

Nos últimos anos, vários países têm adotado sistemas regulamentadores voltados para o desempenho de edifícios, tais como o Reino Unido, Nova Zelândia, Austrália, Canadá, Holanda, Suécia, Noruega e Estados Unidos (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

No contexto brasileiro, a questão do desempenho de edificações é fortemente relacionada ao setor habitacional. Em consequência da atuação do Banco Nacional de Habitação – BNH, a partir da década de 1960, como resposta ao déficit de habitações, houve o surgimento de sistemas construtivos focados na racionalização e na industrialização da construção. Contudo, faltaram referenciais técnicos suficientes para evitar manifestações patológicas e altos custos de manutenção dos edifícios construídos (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

Nem todos os produtos e métodos construtivos empregados nos conjuntos habitacionais construídos a partir da década de 1970 tiveram suas tecnologias devidamente desenvolvidas e avaliadas, sendo que muitos deles acabaram por apresentar precocemente problemas patológicos, comprometendo aspectos de segurança, durabilidade e habitabilidade destes edifícios (MITIDIERI FILHO; HELENE, 1998).

Foi na década de 1980 que a questão do desempenho das edificações começou a tomar corpo no Brasil, com a atuação do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT e os trabalhos acadêmicos de Teodoro Rosso, em 1980, Roberto de Souza e Wanderley Dias Flauzino, em 1983, e Vanderley John, em 1987 (BORGES, 2008).

Em 2000, a partir de um projeto financiado pela Caixa Econômica Federal, responsável pelo Sistema Financeiro de Habitação, com recursos da FINEP – Financiadora de Projetos Especiais, voltado para a criação de um método para avaliação de sistemas construtivos inovadores baseado no conceito de desempenho, foi criada uma comissão de estudos e grupos de trabalho específicos para elaboração da primeira versão da NBR 15575, publicada em maio de 2008, naquele momento com aplicação para edifícios de até cinco pavimentos (BORGES, 2008; KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

Os objetivos iniciais deste projeto foram ampliados, incluindo nesta norma requisitos de desempenho mínimos aplicáveis a qualquer sistema construtivo, inovador ou convencional, assim como uma série de recomendações para se evitar a ocorrência de patologias e

incumbências para os principais intervenientes no processo construtivo, responsáveis pelo desempenho da edificação ao longo de sua vida útil. (BORGES, 2008; BORGES; SABBATINI, 2008).

Em uma crítica sobre o processo de desenvolvimento da norma, Borges (2008) coloca que a preocupação da maior parte dos agentes envolvidos na elaboração estava voltada para o impacto que sua publicação poderia gerar em suas atividades quanto ao aumento de custos, criação de barreiras técnicas no mercado e, especialmente, sobre responsabilidades legais decorrentes do desempenho alcançado nas obras. Tal situação, somada à pulverização e isolamento dos agentes envolvidos no setor de construção, fez com que, num primeiro momento, as normas não estabelecessem “uma visão setorial do que seria mais apropriado em termos de desempenho mínimo para os usuários de imóveis”.

A primeira versão da NBR 15575, publicada em maio de 2008, foi objeto de várias críticas por parte dos setores da sociedade envolvidos, que não considerava viável sua implementação, com a abertura de um amplo debate para sua revisão. Por duas vezes sua entrada em vigor foi adiada, até a publicação de sua versão 2013 em fevereiro, a qual efetivamente entrou em vigência a partir de julho daquele ano (BORGES, 2008; KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014).

2.2 – NORMAS BRASILEIRAS NBR 15575

2.2.1 – Estrutura e conteúdo das normas NBR 15575

Um dos pontos fundamentais ao se tratar da questão do desempenho na construção de edifícios é a tradução das necessidades dos usuários em requisitos e critérios que sejam viáveis em termos técnicos e econômicos, dentro da realidade de determinada sociedade, e que possam ser mensurados objetivamente, sob condições de exposição e uso específicas (BORGES, 2008).

Com este propósito, as normas NBR 15575 – Edificações Habitacionais – Desempenho, publicadas em fevereiro de 2013, estabelecem requisitos e critérios para o desempenho dos edifícios habitacionais. Estas normas abordam treze aspectos distintos e tecnicamente especializados: segurança estrutural, segurança em situações de incêndio, segurança no uso

e operação, estanqueidade, desempenho térmico, desempenho acústico, desempenho lumínico, saúde, higiene e qualidade do ar, funcionalidade e acessibilidade, conforto tátil e antropodinâmico, durabilidade, manutenibilidade e impacto ambiental (ABNT, 2013a).

Deve ser ressaltado que alguns dos conceitos apresentados nas normas de desempenho, tais como durabilidade, manutenibilidade de edificações e conforto tátil e antropodinâmico de usuários, não são considerados em normas técnicas prescritivas anteriores (ABNT, 2013a).

As normas NBR 15575 estruturam-se em seis partes, sendo a primeira relativa a requisitos gerais e as demais referentes a sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários. Outros sistemas construtivos, como sistemas de fundações, instalações elétricas, instalações de gás e de proteção contra descargas atmosféricas, apesar de não se apresentarem como partes específicas desta série de normas, são englobadas por meio de referências a normas prescritivas (ABNT, 2013a).

Estas normas tornaram-se vigentes em 19 de julho de 2013, estabelecendo requisitos de desempenho aplicáveis a todas as edificações habitacionais brasileiras, com exceção de obras já concluídas ou em andamento naquela data, obras com projetos protocolados nos órgãos competentes até aquela data, obras de reforma e de *retrofit* e obras provisórias (ABNT, 2013a). Com relação a edificações habitacionais brasileiras, estas normas têm aplicação quase universal, envolvendo de habitações de interesse social a prédios de alto luxo, casas, sobrados e edifícios de todos os portes e localizados em qualquer parte do país.

As normas NBR 15575 estabelecem requisitos de desempenho, que são as “condições que expressam qualitativamente os atributos que a edificação habitacional e seus sistemas devem possuir, a fim de que possam satisfazer aos requisitos do usuário”. Tais requisitos são traduzidos em critérios de desempenho, que correspondem a “especificações quantitativas dos requisitos de desempenho, expressos em termos de quantidades mensuráveis, a fim de que possam ser objetivamente determinados” e são diretamente relacionados aos métodos de avaliação especificados nas normas. Para alguns requisitos, também são estabelecidas premissas de projeto, que tratam de informações e condutas que devem ser referenciadas nos projetos correlatos (ABNT, 2013a).

Os requisitos são apresentados em diferentes níveis de desempenho, garantindo as “necessidades básicas de segurança, saúde, higiene e de economia” por meio de um nível mínimo e indicando níveis de desempenho intermediário e superior, com a possibilidade de melhoria da qualidade da edificação e do valor agregado por um melhor desempenho na relação custo-benefício das edificações (ABNT, 2013a).

As normas NBR 15575 não são prescritivas, não estabelecem como os diferentes sistemas que compõem a edificação devem ser construídos (ABNT, 2013a). No entanto, faz referência a cerca de 220 normas brasileiras e internacionais, relacionadas a prescrições de atividades de projeto e execução de serviços, especificação de materiais e componentes, métodos de ensaios de materiais, componentes e sistemas, elaboração de documentos, entre outros.

As normas NBR 15575 não têm o propósito de garantir o desempenho de edificações habitacionais, mas sim de caracterizar este desempenho por meio de requisitos e critérios e definir métodos de avaliação aplicáveis e apropriados. Segundo a NBR 15575-1, “a avaliação de desempenho busca analisar a adequação ao uso de um sistema ou de um processo construtivo destinado a atender uma função”, sendo realizada a partir de “uma investigação sistemática baseada em métodos consistentes, capazes de produzir uma interpretação objetiva sobre o comportamento esperado do sistema nas condições de uso definidas” (ABNT, 2013a). Nestes termos, as avaliações definidas pelas normas NBR 15575 destinam-se a caracterizar o potencial de desempenho das soluções técnicas avaliadas.

Também deve ser ressaltado que as normas NBR 15575 não consideram diretamente a variabilidade nas características do edifício relacionada a seu desempenho. Foliente; Leicester e Pham (1998) e Holický (1999) apontam a variabilidade nas características físicas da obra, nas interações entre materiais e componentes utilizados, em fatores humanos e aspectos climáticos, assim como nos próprios requisitos de desempenho quando traduzem as necessidades de usuários definidas em termos vagos e imprecisos.

Quanto ao caráter epistemológico e aleatório das incertezas envolvidas, as normas de desempenho NBR 15575 apresentam um enfoque maior na adequação das soluções propostas em projetos aos requisitos de desempenho do que na implementação destas

soluções na prática da execução de obras. O que equivale a dizer que estas normas buscam minimizar as incertezas de caráter epistemológico, com o controle de incertezas aleatórias sendo implicitamente colocadas como parte das rotinas a serem estabelecidas para a execução das atividades de construção.

As normas ABNT NBR 15575 estabelecem incumbências específicas para incorporadores, construtores, projetistas, fornecedores de materiais e componentes, assim como para os usuários da edificação habitacional, a fim de garantir o atendimento a seus requisitos de desempenho, apresentadas na Tabela 2.1.

<i>Agente</i>	<i>Incumbências Previstas pela NBR 15575</i>
Incorporadores e Construtores	<p>Cabe ao incorporador, junto com os projetistas envolvidos, a identificação dos riscos previsíveis na época do projeto, devendo, neste caso, providenciar os estudos técnicos requeridos e alimentar os diferentes projetistas com tais informações;</p> <p>Ao construtor ou incorporador cabe elaborar o manual de operação, uso e manutenção da edificação, ou documento similar, que deve ser entregue ao proprietário da unidade quando da entrega do edifício para uso, incluindo o manual de áreas comuns, a ser entregue ao condomínio.</p>
Projetistas	<p>Especificar materiais, produtos e processos que atendam ao desempenho estabelecido na ABNT NBR 15575 com base em normas prescritivas e no desempenho declarado pelos fabricantes dos produtos a serem empregados;</p> <p>Solicitar informações ao fabricante para balizar as decisões de especificação quando normas específicas de produtos não caracterizarem desempenho ou quando não existirem normas específicas;</p> <p>Estabelecer a vida útil projetada de cada sistema que compõe a edificação habitacional e apresentar seus valores em projeto quando estes forem maiores que os mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15575.</p>
Fornecedores de Materiais, Componentes e Sistemas	<p>Caracterizar o desempenho dos produtos que fornece de acordo com os critérios definidos na ABNT NBR 15575;</p> <p>Convém que fabricantes de produtos sem normas brasileiras ou que não tenham seu desempenho caracterizado forneçam resultados comprobatórios do desempenho de seus produtos.</p>
Usuários	<p>Realizar a manutenção do edifício, conforme a norma NBR 5674 – Manutenção de edificações – Procedimentos e o manual de operação, uso e manutenção apresentado pelo incorporador ou construtor.</p>

Tabela 2.1 – Incumbências definidas pela norma NBR 15575 (fonte: ABNT, 2013a)

Além destas atribuições, há aquelas decorrentes da própria natureza das funções destes agentes perante a ABNT NBR 15575: para projetistas, a elaboração de projetos que atendam às premissas de projeto e às normas técnicas previstas como critério de desempenho; para fornecedores de materiais e componentes, a disponibilização de

produtos que respeitem as características de desempenho informadas; e para construtores, execução da obra respeitando integralmente os projetos definidos.

Também deve ser considerado que empresas incorporadoras e construtoras, ao se apresentarem como contratantes de projetistas e de fornecedores de materiais e componentes, acabam por trazer para si a responsabilidade de controlar os projetos e produtos adquiridos, inclusive em termos legais, conforme citado no item 1.1.1 desta tese.

2.2.2 – Aplicação das normas NBR 15575 em construtoras e incorporadoras

Segundo Spekkink (2005), referenciando um modelo apresentado por Gielingh (1988), o desempenho possui em sua estrutura um par de conceitos que se apresentam sob pontos de vista distintos: o conceito funcional, que reflete a demanda por parte do usuário de requisitos funcionais para um determinado produto a partir de suas necessidades, e o conceito de solução, que caracteriza quais as soluções e especificações técnicas que o fornecedor deve utilizar para que as necessidades dos usuários e os requisitos funcionais sejam atendidos.

A aplicação das normas NBR 15575 por construtoras e incorporadoras deve buscar o atendimento aos requisitos de desempenho estabelecidos, representativos do conceito funcional, por meio da definição de soluções construtivas adequadas, fundamentada no conhecimento do potencial de desempenho destas soluções construtivas, resultante de sua avaliação direta ou com base em outras informações disponíveis; e na gestão da execução destas soluções construtivas, de modo que o potencial de desempenho identificado seja alcançado, conforme previsto nas normas, com o cumprimento integral dos projetos.

As normas NBR 15575 não tratam da garantia do desempenho das edificações habitacionais, mas sim da caracterização dos requisitos de desempenho da edificação e seus sistemas, do ponto de vista do usuário, e do estabelecimento de critérios para permitir a verificação do cumprimento de tais requisitos, segundo procedimentos de avaliação determinados. A maior parte dos critérios e métodos de avaliação estabelecidos nas normas de desempenho é voltada para a identificação do potencial de adequação das soluções de projeto e dos materiais e componentes especificados, envolvendo análises de projetos,

simulações computacionais, ensaios de tipo e de campo para validação de projetos e ensaios de materiais e componentes.

Contudo, de acordo com a NBR 15575, o efetivo desempenho da edificação, ao longo dos prazos de vida útil definidos, resulta da adequação dos projetos como resposta ao desempenho planejado para a edificação, inclusive no atendimento a normas prescritivas correlatas, somada à execução efetiva da obra respeitando integralmente tais projetos, com processos construtivos adequados e incorporação de materiais e componentes conforme especificados, e do correto uso, operação e manutenção, sendo influenciado por eventuais alterações climáticas, nos níveis de poluição e em outras características do entorno da obra ao longo do tempo (ABNT, 2013a).

O atendimento aos requisitos de desempenho corresponde ao atendimento às necessidades de seus usuários, no período em que a edificação for disponibilizada e estiver em uso, durante sua vida útil (SOUZA, 2015; SILVA; BARROS; FAGUNDES NETO, 2016).

Boa parte das publicações sobre as normas de desempenho volta-se para a gestão dos projetos e para a identificação das características de soluções construtivas adequadas, entretanto pesquisas brasileiras sobre reclamações de assistência técnica apontam que a etapa de execução de obra se apresenta como a principal origem das falhas identificadas (CARRARO; DIAS, 2014; CUPERTINO; BRANDSTETTER, 2015). Outros autores também enfatizam a necessidade de se considerar a importância fundamental da etapa de execução de obra para o desempenho da edificação (SILVA *et al.*, 2014a; BÖES; PATZLAFF, 2016).

O atendimento aos requisitos de desempenho é resultado de decisões e ações estabelecidas ao longo de todas as fases do ciclo de construção da edificação, envolvendo de modo integrado o planejamento estratégico da empresa, passando pela programação do empreendimento, desenvolvimento de projetos e execução da obra, até a ocupação da edificação e, posteriormente, sua adaptação para reutilização, reciclagem ou demolição (PREISER; SCHRAMM, 2005; SILVA; BARROS; FAGUNDES NETO, 2016; BARBOSA; ANDERY, 2017).

Neste sentido, considerando o ciclo de construção como um todo, parece adequado o entendimento de que deve haver uma evolução na abordagem do desempenho da edificação ao longo do tempo, desde o momento em que este se apresenta como um desejo ou uma ideia na definição inicial do empreendimento, até o momento em que ocorre de fato durante o uso da edificação (ver Figura 2.2).

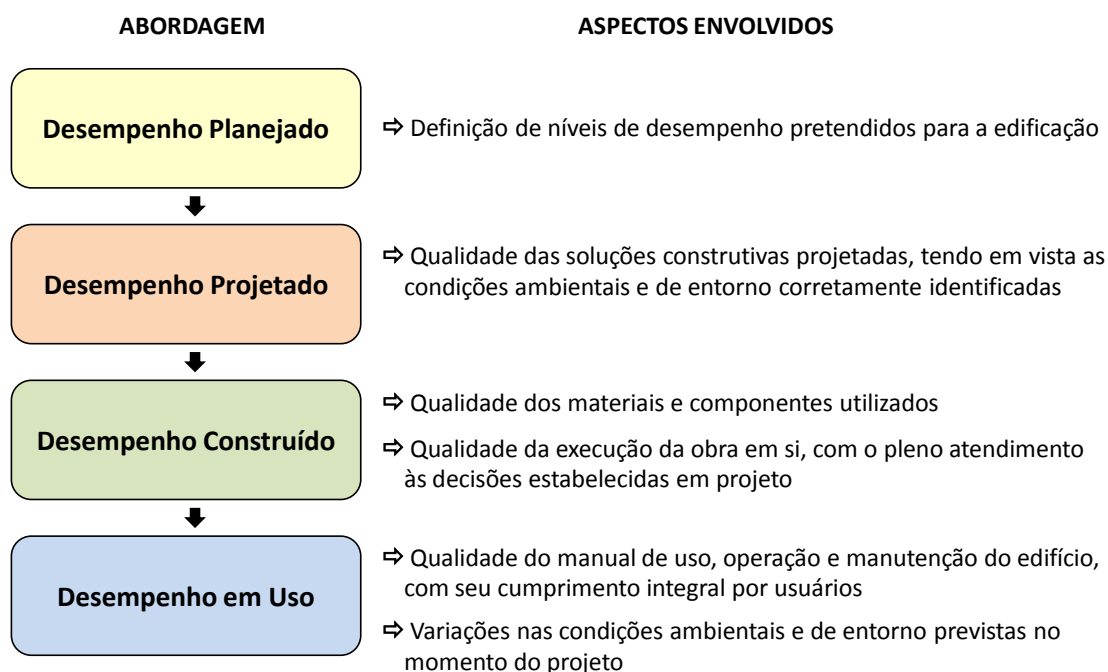


Figura 2.2 – Abordagens do desempenho ao longo do ciclo de construção (fonte: autor)

A garantia do desempenho da edificação ao longo do processo construtivo está fundamentalmente ligada à gestão da qualidade nas empresas construtoras e incorporadoras responsáveis, que traz em si todo um ferramental voltado para a garantia do atendimento a requisitos de clientes e pode fundamentar a implementação da garantia do desempenho de edifícios em um processo gradual e consistente (SOUZA *et al.* 1994, OTERO; SPOSTO, 2014; SANTOS, 2017).

Dentro desta perspectiva, as versões do PBQP-H SiAC publicadas em janeiro de 2017 e junho de 2018, que servem como base para a maior parte dos sistemas de gestão da qualidade do setor da construção, traz uma série de requisitos no sentido de assegurar o atendimento às normas NBR 15575. São estabelecidos requisitos para definição de um perfil de desempenho da edificação, controle específico das soluções propostas em projetos

para atendimento dos requisitos de desempenho, critérios para qualificação de fornecedores de materiais e componentes, controle dos materiais e componentes adquiridos frente a especificações estabelecidas, controle tecnológico de materiais e serviços e elaboração do manual de uso, operação e manutenção do imóvel, o que corresponde a ações importantes no sentido de garantir que a edificação construída atenda aos requisitos de desempenho (BRASIL, 2017; 2018).

Além disso, a versão 2015 da norma NBR ISO 9001 e a versão 2018 do PBQP-H SiAC incorporam, numa mudança conceitual importante, o pensamento baseado no risco (mentalidade de risco) como um de seus fundamentos. Embora não haja requisitos para aplicação de métodos formais de análise de riscos, as organizações que a utilizam como base de seus sistemas de gestão da qualidade devem analisar seus contextos e analisar os riscos existentes como base para o planejamento e melhoria de seus processos, iniciando uma cultura de gestão de riscos nas organizações (ABNT, 2015; BRASIL, 2018).

Embora tenham ocorrido mudanças importantes no setor da construção civil desde a publicação das normas NBR 15575, há ainda diversas dificuldades para sua aplicação. Como contextualizado no item 1.1, permanecem deficiências no conhecimento de projetistas e outros intervenientes do processo construtivo, no comprometimento de parte dos projetistas, na disponibilização de informações sobre o desempenho de materiais e componentes por parte de seus fornecedores, no acesso às normas técnicas e na implementação de ensaios previstos em norma (MAHL; ANDRADE, 2010; PAULA; UECHI; MELHADO, 2013; OKAMOTO, 2015; CBIC, 2016; COTTA; PINHEIRO; ANDERY, 2017; SOUZA, 2016; VIEIRA *et al.*, 2017).

Com relação a construtores e incorporadores, verifica-se diferentes realidades no país. Kern; Silva e Kazmierczak (2014), com base em consulta feita a empresas construtoras de Porto Alegre, RS, citam que diversos itens previstos nas normas NBR 15575 já são atendidos em seus edifícios, especialmente quanto a outras normas técnicas brasileiras referenciadas nas normas de desempenho para sistemas construtivos tradicionais.

Por outro lado, Cotta (2017), trabalhando com construtoras de pequeno e médio porte de Belo Horizonte, MG, aponta que, apesar de saberem da existência e da vigência da norma, as empresas não possuem conhecimento técnico específico nem sobre a NBR 15575 nem

sobre o que fazer ou como fazer para sua aplicação, não tendo sido desenvolvidos quaisquer processos associados à garantia do desempenho. Cita também que os processos de gestão de projetos são pouco estruturados, com procedimentos e mecanismos de controle precários.

Okamoto e Melhado (2014) apontam que identificou em empresas incorporadoras e construtoras ações importantes para aplicação das normas de desempenho: reavaliação das medidas de contratação de projetistas e fornecedores; contratação de consultorias especializadas para que procedimentos internos possam ser alterados visando os requisitos de desempenho; planejamento para realização de ensaios de caracterização de componentes e sistemas de edifícios já executados, visando conhecer melhor seus produtos.

Ao se fazer uso dos métodos de avaliação definidos pelas normas NBR 15575, há a necessidade de cuidados em termos estatísticos, sendo que, caso contrário, seus resultados podem gerar evidências comprobatórias muito restritas. Uma amostragem pequena pode prejudicar a caracterização da distribuição de probabilidades relacionada às características de desempenho analisadas, que, como citado por Foliente; Leicester e Pham (1998) e Holický (1999), apresenta caráter variável. Deve ser considerado que, em razão de custos ou dificuldades na própria realização do ensaio, alguns ensaios podem ser realizados com um única amostra, o que tornaria inviável determinar de modo estatisticamente significativo se uma solução construtiva avaliada efetivamente atende ao requisito de desempenho.

Como uma das faces deste cuidado estatístico, a questão espacial reflete a possibilidade do ensaio realizado em determinado local não ter seus resultados extrapolados para outros. Mesmo quando realizados a partir de uma mesma solução de projeto, condições ambientais específicas e diferenças na execução da obra podem definir características de desempenho distintas para diferentes ambientes e unidades habitacionais.

Além disso, deve ser considerado que alguns métodos de avaliação previstos nas normas NBR 15575 não refletem o ciclo de construção como um todo. Ensaios de materiais e componentes identificam as características de desempenho destes produtos, mas, obviamente, não observam as condições de sua aplicação durante a execução da obra. Do

mesmo modo, análises de projetos e simulações computacionais retratam somente o desempenho estabelecido em projeto e, obviamente, não consideram as etapas subsequentes de construção.

Um ponto de discussão importante é a obrigatoriedade da implementação das avaliações previstas nas normas NBR 15575. Enquanto por um lado, CBIC (2016) cita que há “a necessidade de comprovação do desempenho por meio de ensaios, medições e/ou simulações”, em contradição, CBIC (2013) afirma que a comprovação do atendimento aos requisitos da norma seria necessária apenas “em caso de dúvida ou discussão sobre a qualidade da construção e o cumprimento das obrigações para apurar responsabilidades, seja no tocante aos projetos, seja quanto à qualidade de execução da construção”. Del Mar (2015) cita que o controle do cumprimento dos requisitos das normas de desempenho se dará por seus interessados: titulares de direitos, compradores, usuários, vítimas, enfim, “aqueles que tiverem interesse jurídico para reclamar a qualidade da construção”.

O Código de Defesa do Consumidor, em seu artigo 39, inciso VIII, se refere especificamente a características dos produtos colocados no mercado, que devem corresponder às normas técnicas vigentes, e não torna obrigatória a comprovação deste atendimento (BRASIL, 1990). Além disso, a implementação direta de todas as avaliações previstas nas normas de desempenho seria tecnicamente desnecessária, tendo em vista a repetição das soluções construtivas e as incumbências definidas para projetistas e fornecedores de materiais e componentes pela própria NBR 15575, além de economicamente inviável, dado o porte da grande maioria das obras no país.

Não há previsão de fiscalização oficial da adequação das edificações habitacionais às normas NBR 15575, nem com relação a projetos, nem depois de concluída a construção (KERN; SILVA; KAZMIERCZAK, 2014; DEL MAR, 2015).

Com isso, torna-se importante a identificação de outras fontes de informação sobre o desempenho de edificações. Como citado em 1.1.4, diversas publicações técnicas e acadêmicas disponíveis tratam da caracterização de diferentes aspectos de desempenho relacionados a sistemas construtivos e tipos de edificação específicos, tais como Borges (2013), Bolina *et al.* (2015), Santos Filho (2015) e ANFACER (2016), entre outros.

Uma destas fontes de informação encontra-se no Sistema Nacional de Avaliação Técnica de Produtos Inovadores e Sistemas Convencionais – SiNAT, no âmbito do PBQP-H, que por meio de um portal eletrônico disponibiliza documentos técnicos de caracterização do desempenho de sistemas construtivos convencionais, denominados Fichas de Avaliação de Desempenho – FAD, e inovadores, identificados como Documentos de Avaliação Técnica – DATec (BRASIL, 2015).

Deve ser ressaltado o esforço realizado pela Câmara Brasileira da Indústria da Construção – CBIC e outras entidades sindicais e profissionais no sentido de fornecer informações e referências para os diversos agentes envolvidos com o desempenho das edificações (CBIC, 2013; 2015; 2016; SILVA, 2014; SINAENCO, 2015; ANFACER, 2016; ASBEA, 2016).

Além disso, deve ser considerado por cada empresa construtora e incorporadora seu próprio histórico, com a identificação do desempenho de obras anteriores, seja por meio de ensaios e outras avaliações, seja em função de problemas de desempenho identificados durante a assistência técnica pós-entrega.

2.2.2.1 – Fatores de risco relacionados ao desempenho de edificações habitacionais

O atendimento aos requisitos de desempenho decorre de ações de diferentes intervenientes que concorrem para a realização de cada um dos sistemas construtivos e da edificação como um todo. As contribuições destes intervenientes devem ser vistas como partes de processos, que ocorrem em sequência e cujos resultados, incluindo projetos, matérias-primas, componentes, processos de execução e outros serviços, contribuem em conjunto para o desempenho da edificação, sendo que a garantia do desempenho da edificação depende da conformidade dos resultados de cada um dos processos envolvidos (SINAENCO, 2015).

Falhas de desempenho podem ocorrer em função de falhas na especificação de materiais e detalhes construtivos, resultantes de omissões ou equívocos e que acabam por originar uma decisão improvisada por parte do construtor. Antunes (2010), tratando de revestimentos de fachada, cita projetos em que não há especificação de pingadeiras, vergas e contra-vergas, juntas de movimentação, além da falta de informações sobre diagramação do revestimento,

caracterização de revestimentos e argamassas e indicações sobre procedimentos de execução dos serviços envolvidos.

Com relação a processos administrativos e de execução de serviços, a aquisição de materiais baseada no menor preço, a aplicação incorreta destes produtos e o pouco entendimento de suas características contribuem para o surgimento de manifestações patológicas em edificações. Além disso, patologias em construções também decorrem do surgimento de novos materiais, que são postos no mercado e utilizados sem a devida caracterização de suas consequências para o desempenho do edifício (ANTUNES, 2010).

As necessidades dos usuários variam entre aquelas de caráter absoluto, refletindo um desempenho mínimo da edificação, como a segurança estrutural, e aquelas de caráter relativo, envolvendo aspectos como níveis de satisfação e custos, tais como conforto e durabilidade. Também podem estar relacionadas a diferentes aspectos físicos, funcionais, ambientais, financeiros e sociais, afetando de modo distinto as consequências de eventuais falhas no atendimento de requisitos (MITIDIARI FILHO; HELENE, 1998; BORGES, 2008).

Diversos aspectos de desempenho, especialmente aqueles relacionados à habitabilidade, trazem um nível de conforto e de segurança diferente para cada usuário. Foliente (2000) cita que determinado nível de vibração do piso é aceitável por 75% das pessoas em 90% do tempo, enquanto outro nível de vibração é aceitável por 90% das pessoas em 90% do tempo, sendo que as soluções construtivas devem ser selecionadas com base na relação entre desempenho e custos de execução. Em um estudo comparativo sobre os padrões espaciais de habitações sociais em Portugal e no Brasil, Pedro e Boueri (2011) apontam que enquanto habitações na cidade de São Paulo apresentam quase a metade da área de habitações populares em Portugal, o nível de satisfação dos usuários brasileiros é maior do que o de portugueses. A abordagem do desempenho deve ocorrer de modo sistêmico e probabilístico, nunca atendendo às particularidades de cada indivíduo de uma população.

Ao recomendar que as avaliações de desempenho sejam realizadas por instituições de ensino e pesquisa, laboratórios especializados e equipes profissionais de capacidade técnica reconhecida (ABNT, 2013a, nota do item 6.1), a norma NBR 15575-1 busca minimizar a incertezas relacionadas com a realização dos ensaios e análises e, assim, dar

credibilidade a seus resultados para todas as partes interessadas, fortalecendo seu caráter comprobatório.

Holický (1999) aponta que as características de desempenho relacionados a segurança, conforto, manutenibilidade e funcionalidade de uma edificação podem ser afetados por diversos fatores de incerteza, enquanto, por outro lado, os próprios requisitos de desempenho normalmente são traduzidos, em suas condições limítrofes, a partir de definições vagas e imprecisas por parte de usuários.

Simulações computacionais também têm seus resultados afetados por incertezas nas informações utilizadas como referência e nos métodos de cálculo. Bernardini *et al.* (2015) apresentam um método de análise do desempenho estrutural para edifícios altos que considera a variabilidade nas condições de vento, nas percepções de conforto de usuários e nas características de comportamento da estrutura do edifício. Hopfe e Hensen (2011), Rodríguez *et al.* (2013), Silva e Ghisi (2014b) e Silva *et al.* (2014b) fazem referência às incertezas relativas às características e condições de uso de edificações na análise do desempenho térmico e do consumo de energia.

Não existe previsão de fiscalização do atendimento às normas NBR 15575 por parte de quaisquer entidades, sendo que a verificação do cumprimento dos requisitos de desempenho deve ser feita pelos próprios interessados quando houver dúvidas ou discussão sobre a qualidade da construção e o cumprimento das obrigações das partes envolvidas (CBIC, 2013). Neste aspecto, deve ser avaliada a tolerância e o comportamento dos clientes diante de problemas no desempenho da edificação, o que pode afetar o impacto das falhas.

Sobre a manutenção das edificações, a NBR 15575 define como incumbência de construtores e incorporadores a elaboração do manual de uso operação e manutenção da edificação habitacional, com base na norma NBR 14037: Diretrizes para elaboração de manuais de uso, operação e manutenção das edificações – Requisitos para elaboração e apresentação dos conteúdos. Ao mesmo tempo coloca que cabe ao usuário da edificação realizar seu uso e manutenção conforme critérios estabelecidos neste manual de uso, operação e manutenção e na norma NBR 5674: Manutenção de edificações – Requisitos para o sistema de gestão de manutenção (ABNT, 2013a).

No cenário brasileiro, a responsabilidade pela manutenção do edifício recai sobre o síndico ou sobre empresa contratada para administração do condomínio, muitas vezes pouco qualificados e sem contato com normas técnicas, sendo as atividades de manutenção normalmente identificadas despesas extremamente caras e desnecessárias (DARDENGO, 2010).

Um aspecto importante que deve ser ressaltado é que qualquer redução da vida útil do imóvel em razão da indisponibilidade ou inadequação de determinada informação no manual de uso, operação e manutenção da edificação habitacional recai sobre o responsável pela elaboração deste documento, ou seja, do construtor ou incorporador.

Tendo em vista a abrangência e complexidade da garantia do desempenho de edifícios habitacionais, ao mesmo tempo em que há limitações de recursos de empresas construtoras e incorporadoras, surge a necessidade de um modelo de gestão dos processos envolvidos no atendimento às normas NBR 15575 que permita a identificação de aspectos prioritários, visando o melhor uso dos recursos disponíveis, e o planejamento, implantação e controle das ações definidas. Neste sentido, a abordagem dos riscos envolvidos pode se apresentar como uma base adequada para tal modelo.

3 – GESTÃO DE RISCOS E TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

Este capítulo apresenta os conceitos e a abordagem matemática relacionados à gestão de riscos e à Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* utilizados no desenvolvimento da ferramenta, objeto desta pesquisa, incluindo a técnica de Análise de Árvore de Falhas – FTA.

3.1 – DEFINIÇÕES E ASPECTOS GERAIS DA GESTÃO DE RISCOS

Toda atividade pode ser afetada por eventos ou fatores imprevistos ou inesperados de modo que tornam seus resultados diferentes daqueles planejados. Em alguns casos, estes eventos e fatores não são conhecidos, enquanto em outros, apesar de conhecidos, não são compreendidos quanto a sua natureza, variabilidade, probabilidade de ocorrência e potenciais consequências sobre os resultados e objetivos da atividade. A ocorrência destes eventos e fatores e sua influência sobre os resultados e objetivos da atividade estão relacionadas ao conceito de risco.

A definição de risco está sujeita a diferentes versões, não havendo um consenso sobre se está relacionada aos eventos e fatores de origem ou corresponde a suas consequências. Cooper *et al.* (2005) definem risco como a exposição às consequências das incertezas, o que no contexto de determinado projeto, corresponde as chances de algo acontecer com impacto sobre seus objetivos. De acordo com o *Project Management Body of Knowledge – PMBOK*, o risco de projeto corresponde a um evento ou condição incerta que, quando ocorre, possui um efeito positivo ou negativo sobre um ou mais de seus objetivos, envolvendo escopo, prazos, custos e qualidade (PMI, 2013). Já segundo a NBR ISO 31000, o risco é o “efeito da incerteza nos objetivos” (ABNT, 2018), com a incerteza definida como a deficiência, completa ou parcial, nas informações sobre um determinado evento, sua compreensão, seu conhecimento, sua probabilidade e suas consequências (ABNT, 2009)³.

Na literatura são mencionadas duas categorias de incertezas relacionadas à análise de riscos e tomada de decisões: as incertezas aleatórias, que decorrem da variabilidade em populações conhecidas ou observáveis, representadas pela aleatoriedade em amostras, e as

³ Aven (2012) apresenta um sistema de classificação abrangente para as definições de risco, particularmente com relação a sua aplicação em atividades profissionais e científicas.

incertezas epistemológicas, que decorrem da falta de algum conhecimento ou da ambiguidade nas informações sobre situações fundamentais relacionadas a um fenômeno⁴. Incertezas epistemológicas podem ser abordadas a partir da busca e geração de informações baseadas em conhecimentos de especialistas e evidências científicas relacionadas aos riscos, enquanto as incertezas de caráter aleatório devem ser consideradas nas avaliações de risco buscando sua mitigação com o uso dos dados probabilísticos disponíveis (PATÉ-CORNELL, 1996; HOPFE; HENSE, 2011).

Segundo a NBR ISO 31000, o risco tem sua dimensão ou magnitude caracterizada por uma variável denominada nível de risco, definida como a combinação entre as probabilidades e consequências associadas a este risco. A avaliação de riscos se fundamenta na comparação dos níveis de risco com os critérios de risco determinados e, assim, busca definir a necessidade do tratamento do risco considerado (ABNT, 2009).

Os critérios para definição do nível de risco normalmente se limitam a probabilidade e impacto, no entanto há outros fatores que podem influenciar os resultados da análise de riscos. Taroun (2014), a partir de uma revisão da literatura sobre análise de riscos em construção, recomenda o uso de parâmetros relativos a natureza do risco, nível de conhecimento e experiência de analistas, interdependência entre riscos envolvidos em um projeto e influências do contexto do projeto como base para processos de tomada de decisão durante a avaliação de riscos.

A definição de probabilidade para a NBR ISO 31000 vai além da concepção matemática do termo, referindo-se à chance de algo acontecer, de modo amplo, independentemente de ser definida, medida ou determinada objetiva ou subjetivamente, qualitativa ou quantitativamente, ou de ser descrita utilizando-se termos gerais ou matemáticos (ABNT, 2018)⁵. A probabilidade, no sentido estatístico, é apenas uma ferramenta para descrever incerteza e o conceito de risco não deve ser limitado a essa ferramenta, devendo ser dada ênfase à dimensão do conhecimento, com relação a situações imprevistas ou inesperadas (AVEN; KROHN, 2014).

⁴ Paté-Cornell (1996) cita que parte da literatura, relacionada a estudos antigos, diferenciam e denominam incertezas aleatórias como “riscos” e incertezas epistemológicas como “incertezas”.

⁵ O termo original em inglês, *likelihood* não possui um equivalente direto em português, sendo traduzido para probabilidade. O termo *probability*, em inglês, é muitas vezes interpretado estritamente como uma expressão matemática (ABNT, 2018).

A estimativa das probabilidades associadas ao risco normalmente fundamenta-se em: uso de dados históricos relevantes para identificar eventos ou situações que ocorreram no passado, devendo ser considerado que, em havendo uma frequência de ocorrência muito baixa, qualquer estimativa de probabilidade terá um nível de incerteza elevado; previsões de probabilidade usando técnicas preditivas, como análise de árvore de falhas, com base em dados históricos disponíveis e informações publicadas, e; opiniões de especialistas utilizadas em processos sistemáticos e estruturados para estimar a probabilidade, sendo que os julgamentos de especialistas devem se fundamentar em todas as informações relevantes disponíveis, incluindo dados históricos, especificações e informações de projeto, informações publicadas, entre outras (ABNT, 2012).

Segundo a NBR ISO 31000, as consequências são os resultados de eventos que afetam os objetivos (ABNT, 2018). A análise das consequências deve determinar a natureza e o tipo de impacto que poderiam ocorrer em decorrência de um evento em particular, podendo envolver impactos de diferentes magnitudes e afetando diferentes objetivos (ABNT, 2012).

A NBR ISO 31000 cita que as consequências de um evento podem ser certas ou incertas (ABNT, 2018), ou seja, a ocorrência de determinado evento nem sempre gera obrigatoriamente determinada consequência. Com isso, deve ser considerada a probabilidade do impacto efetivamente ocorrer ou não em função do evento indesejado relacionado ao risco.

As consequências de um evento adverso normalmente são expressas em termos monetários, no entanto podem ser utilizadas outras unidades de medida em situações relacionadas a acidentes e atrasos de maior gravidade, entre outras (GODFREY, 1996).

3.1.1 – Processos de gestão de riscos

O processo de gestão de riscos envolve “a aplicação sistemática de políticas, processos e procedimentos de gestão voltados para tarefas de estabelecimento de contexto, identificação, análise, avaliação, tratamento, monitoramento e comunicação de riscos” (COOPER *et al.*, 2005).

Tradicionalmente a gestão de riscos tem sido realizada de maneira instintiva, com os riscos permanecendo implícitos e gerenciados por julgamentos baseados em experiência. Uma abordagem sistemática da gestão de riscos os torna explícitos, formalmente descritos, o que os torna de gerenciamento mais simples. A gestão de riscos realizada de forma sistemática auxilia na identificação, análise e classificação dos riscos; na priorização dos riscos mais relevantes dentro de um projeto; na fundamentação de decisões sobre provisões frente a adversidades; na minimização de danos potenciais; controle de aspectos afetados por incertezas dentro de um projeto; no esclarecimento e formalização das regras para o tratamento de riscos; e na identificação de oportunidades para melhoria no desempenho do projeto (GODFREY, 1996).

A gestão de riscos atualmente se coloca como um assunto de grande interesse, com diversas propostas desenvolvidas no meio acadêmico, em entidades governamentais e associações de profissionais de gestão de projetos voltados para a definição de uma estrutura para gestão de riscos. Entre estas podem ser citadas o *Project Management Institute* (EUA) com a publicação do guia PMBOK, a *Association for Project Management* (Reino Unido) com o guia PRAM, a norma conjunta da Austrália e Nova Zelândia AS/NZS 4360 – *Risk Management*, que fundamenta a norma da *International Organization for Standardization ISO 31000*, o *Office of Government Commerce* (Reino Unido) com a publicação *Management of Risk* e o *Treasury Board of Canada* com a publicação *Integrated Risk Management Framework*. Apesar de suas diferenças quanto a critérios de aplicação e termos utilizados, as estruturas destes guias e normas são compatíveis e comparáveis entre si (COOPER *et al.*, 2005; HARVETT, 2013).

Dois dos principais modelos de gestão de riscos atualmente aplicados são aqueles baseados no guia PMBOK e na NBR ISO 31000 e servem como base para a ferramenta aplicada nesta pesquisa.

A publicação *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)*⁶, elaborada pelo *Project Management Institute*, tem por finalidade definir conceitos relacionados ao gerenciamento de projetos, descrever o ciclo de gestão de projetos e seus processos e estabelecer procedimentos voltados para a gestão de projetos. Em um de seus

⁶ A última edição do PMBOK, a sexta, foi lançada em setembro de 2017.

capítulos, trata da gestão do riscos de projeto e propõe sua abordagem por meio dos seguintes processos:

- Planejamento da gestão de riscos – Definição do modo de condução das atividades de gerenciamento de riscos para um projeto;
- Identificação de riscos – Determinação dos riscos que podem afetar o projeto e documentação de suas características;
- Análise qualitativa de riscos – Processo para priorização de riscos por meio de análise e combinação simplificadas de probabilidades de ocorrência e impactos para posterior análise ou tomada de ação;
- Análise quantitativa de riscos – Processo de análise numérica de efeitos de riscos sobre os objetivos do projeto;
- Planejamento de respostas a riscos – Levantamento de opções e ações para potencializar oportunidades e minimizar riscos negativos os objetivos do projeto;
- Controle de riscos – Implementação dos planos de respostas a riscos, com o acompanhamento dos riscos identificados, monitoramento riscos residuais e a identificação de novos riscos, assim como com a avaliação da efetividade destes planos (PMI, 2013).

A NBR ISO 31000 coloca a gestão de riscos como um processo cíclico que, a partir da caracterização do contexto envolvido, estabelece a identificação, análise dos riscos e avaliação destes riscos quanto à possibilidade de sua modificação por meio de tratamento, com a comunicação e consulta a partes interessadas e com o monitoramento e análise crítica da situação destes riscos e das ações envolvidas, como apresentado na Figura 3.1^{7,8} e nos itens a seguir (ABNT, 2009).

⁷ Durante a tradução da norma brasileira NBR ISO 31000, o termo *risk assessment* foi traduzido como “processo de avaliação de riscos”, de modo a se evitar conflitos com o termo *risk evaluation*, que foi traduzido como “avaliação de riscos”. O processo de avaliação de riscos engloba a identificação, análise e avaliação de riscos (ABNT, 2009).

⁸ Uma nova versão da norma NBR ISO 31000 foi publicada em março de 2018, com o acréscimo de um processo de “registro e relato” cobrindo todos os demais representados no modelo referenciado na Figura 3.1. Alguns conceitos citados anteriormente não são referenciados nesta versão (ABNT, 2018).

3.1.1.1 – Estabelecimento de contexto

Para a NBR ISO 31000, o estabelecimento do contexto corresponde à definição dos parâmetros externos e internos a serem considerados no gerenciamento de riscos, assim como o estabelecimento do escopo e dos critérios de risco para a política de gestão de riscos (ABNT, 2009).

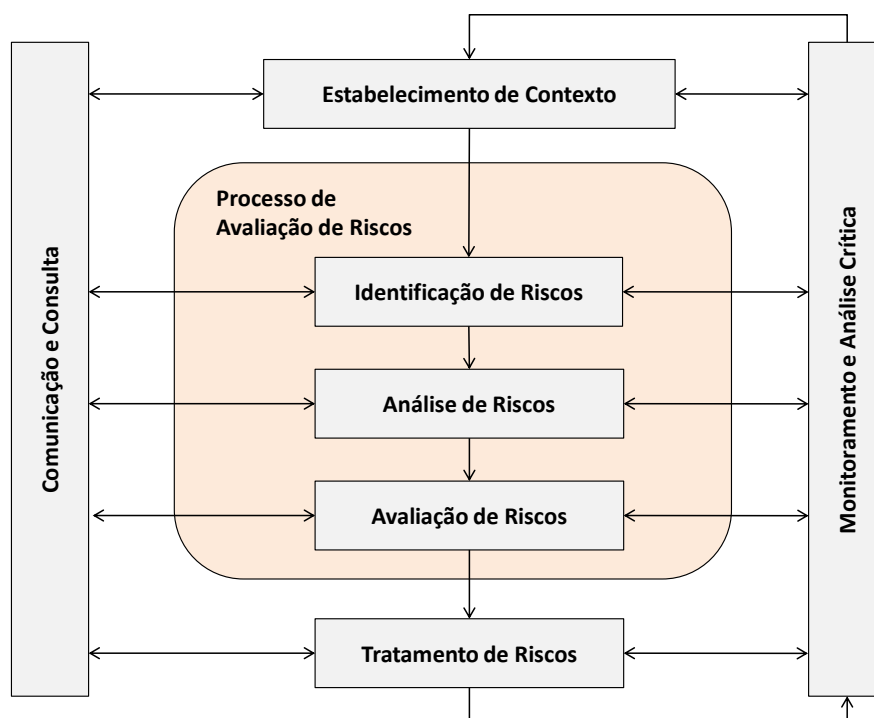


Figura 3.1 – Processo de gestão de riscos segundo a NBR ISO 31000
(fonte: ABNT, 2009)

Refere-se ao desenvolvimento de uma estrutura para a identificação, análise e avaliação dos riscos, incluindo:

- Estabelecimento do ambiente organizacional no qual a análise deve ocorrer;
- Especificação dos principais objetivos e resultados esperados;
- Identificação de um conjunto de critérios contra os quais as consequências dos riscos identificados possam ser avaliadas, e;
- Definição de um conjunto de elementos chave para estruturação dos processos de identificação, análise e avaliação dos riscos (COOPER *et al.*, 2005).

3.1.1.2 – Identificação de riscos

Na NBR ISO 31000, a identificação de riscos se define como um processo de busca, reconhecimento e descrição de riscos, envolvendo a identificação de fontes de risco, eventos, suas causas e suas consequências potenciais. Ela pode se fundamentar em dados históricos, análises teóricas, opiniões de pessoas informadas e especialistas, e as necessidades das partes interessadas (ABNT, 2009).

A identificação de riscos é o processo em que se determina o que pode ocorrer afetando os objetivos e resultados esperados e como estes eventos podem acontecer. Deve ser um processo abrangente, visto que riscos que não são identificados não podem ser analisados, e sua descoberta em momentos posteriores podem representar situações indesejáveis (COOPER *et al.*, 2005). Também é um processo iterativo, uma vez que ao longo do projeto podem surgir novos riscos que exigem análise e tratamento (SILVA, 2012).

3.1.1.3 – Análise de riscos

A NBR ISO 31000 caracteriza a análise de risco como um processo para compreensão da natureza do risco e determinação do nível de risco, fornecendo a base para a avaliação do risco e definição sobre ações para seu tratamento (ABNT, 2009). A análise de riscos é a aplicação sistemática das informações disponíveis para determinar a frequência em que eventos específicos podem ocorrer e a magnitude de suas consequências, com uso de diversas técnicas matemáticas e outras ferramentas (COOPER *et al.*, 2005).

A análise de riscos pode ser realizada em diferentes níveis de detalhamento, dependendo do tipo de risco, da finalidade da análise e das informações, dados e recursos disponíveis, podendo ser uma análise qualitativa, semiquantitativa ou quantitativa, ou uma combinação destas (ABNT, 2009).

Análises qualitativas definem consequências, probabilidade e níveis de risco por termos indicando seus níveis de relevância, com sua avaliação com base em critérios qualitativos (ABNT, 2012). Estas análises descrevem a magnitude da probabilidade e das consequências dos riscos através de palavras, utilizando-se de uma escala que pode variar em função do método e das circunstâncias do problema (SILVA, 2012). Nestas análises

qualitativas, todos os termos empregados na caracterização das probabilidades, consequências e níveis de risco devem ser explicados de maneira clara (ABNT, 2012).

Métodos semiquantitativos utilizam escalas de graduadas numericamente para probabilidades e consequências e as combinam para calcular o nível a partir de uma fórmula específica. As escalas podem ser lineares, logarítmicas ou manterem outras gradações, enquanto as fórmulas para definição dos níveis de risco também podem variar (ABNT, 2012). Neste tipo de análise podem atribuídos valores numéricos a escalas qualitativas, mas sem a pretensão de atribuir valores realísticos aos riscos. Devem ser tidos cuidados na definição destas escalas, uma vez que valores escolhidos sem qualquer ponderação podem originar inconsistências, anomalias e resultados inapropriados (SILVA, 2012).

Já análises quantitativas estimam valores práticos para consequências e probabilidades associadas a determinado risco e processam estes valores para cálculo do nível de risco em unidades específicas. Análises quantitativas completas nem sempre são possíveis ou desejáveis em função da inexistência de informações suficientes, falta de dados, influência de fatores humanos, entre outros, ou mesmo porque os esforços envolvidos neste tipo de análise não são garantidos ou requeridos. Nestes casos, a classificação dos riscos por especialistas, com base em métodos qualitativos ou semiquantitativos, podem ainda ser bastantes efetivos (ABNT, 2012).

Mesmo quando houver uma quantificação completa, faz-se necessário manter em foco que os níveis de risco calculados são estimativas e devem ser tomados cuidados para garantir que não lhes sejam atribuídos níveis de precisão e acurácia inconsistentes com os dados e métodos empregados (ABNT, 2012). A qualidade destas análises quantitativas dependem da quantidade e veracidade dos dados utilizados bem como da validade do modelo utilizado (SILVA, 2012).

A análise de riscos envolve a apreciação das causas e as fontes de risco, suas consequências, e a probabilidade de que essas consequências possam ocorrer, sendo conveniente identificar os fatores que afetam as consequências e probabilidades. A forma em que as consequências e probabilidades são expressas e o modo com que elas são

combinadas para determinar o nível de risco devem refletir o tipo de risco analisado, as informações disponíveis e a finalidade destas informações resultantes (ABNT, 2009).

Kunreuther (2001) aponta que um grande número de pessoas têm dificuldades em processar informações relacionadas eventos de baixa probabilidade, identificando algumas abordagens e informações que podem ser utilizadas para lidar com estas dificuldades individuais:

- Ampliando o prazo ou a quantidade relacionados à probabilidade do evento (por exemplo, passando a análise do número de acidentes de trabalho prováveis de ocorrer de um mês para o tempo de execução da obra, ou ao invés de se analisar a probabilidade de um trabalhador sobre um acidente, buscar uma fração provável que indique a ocorrência de 1 acidente para 10, 20 ou 100 empregados);
- Análises de riscos envolvendo eventos para os quais há dados históricos e científicos na fundamentação de estimativas (por exemplo, ocorrência de enchentes em determinadas regiões) gera um grau de desconforto muito menor que aquelas que envolvem situações de maiores incertezas e ambiguidade (por exemplo, ataques terroristas);
- Situações sobre as quais as pessoas possuem pouco conhecimento e também apresentam forte temor são percebidos como mais arriscados, existindo uma grande disparidade entre a visão de especialistas e de pessoas leigas quanto ao risco nestes casos;
- Determinadas tecnologias, lugares e produtos, por inúmeras razões, podem ser estigmatizados como situações de maior risco, mesmo não havendo razões ou evidências objetivas confirmando tal julgamento (por exemplo, após um desastre, pessoas que vivenciaram o evento ou o acompanharam pela mídia frequentemente focam nas consequências de outro desastre semelhante e negligenciam completamente a probabilidade de sua ocorrência);
- Indivíduos e empresas não são muito preocupados com eventos negativos antes de sua ocorrência, tomando ações de proteção apenas após determinado evento. Além disso, o tempo tende a dissipar esta preocupação, com o relaxamento das medidas de mitigação definidas ao longo dos anos;
- Ao lidar com riscos associados a probabilidades extremamente pequenas com impactos extremamente significativos (por exemplo, ataques terroristas), devem ser

buscadas alternativas de tratamento à busca de redução destas probabilidades, o que pode envolver recursos e custos muito altos, e a ações de tranquilização, as quais efetivamente alteram os níveis de risco efetivos.

Desenvolvendo um modelo de análise de riscos, Chapman e Ward (2000) estabelecem uma série de diretrizes que devem ser adotadas durante a análise e avaliação de incertezas de modo a contribuir para a efetividade desta análise de riscos. São elas:

- O entendimento das incertezas deve ir além da variabilidade e da disponibilidade de dados, tendo em vista que a definição de melhores decisões não se fundamenta apenas nos dados disponíveis, mas também em informações, conhecimento e entendimento da estrutura lógica que caracteriza a situação envolvida;
- As incertezas devem ser consideradas em termos de fontes de incerteza, sendo que, em diversas situações, as ações apropriadas para tratamento de determinada incerteza são especificamente relacionadas a suas origens;
- Deve se buscar uma clara distinção entre aspectos que merecem ser quantificados, com foco na utilidade de seus resultados, e aqueles que podem ser considerados mais efetivamente como uma hipótese ou uma condição assumida como parte do contexto associado ao processo de decisão. Também deve ser considerado que uma caracterização efetiva das incertezas passa por uma visão subjetiva da situação, sendo que, como regra geral, dados objetivos identificam apenas parcialmente tais incertezas;
- Com o propósito de facilitar a compreensão e o aprendizado, as incertezas devem ser analisadas por meio de processos iterativos, abordados sistematicamente, nos quais diferentes etapas apresentam propósitos distintos, conforme a evolução dos resultados alcançados e partindo de uma situação inicial em que as incertezas, sua relevância e as ações necessárias estão por ser reconhecidas, passando por um refinamento das análises de modo a se obter um tratamento efetivo das incertezas relevantes e alcançando uma situação de confiança quanto à implementação e à adequação das ações envolvidas;
- A primeira etapa de análise e avaliação das incertezas deve se apresentar com uma estrutura mínima, de modo a torná-la de fácil aplicação e assim sobrepujar a

resistência e o desconforto esperados no momento de se apropriar valores a partir de dados parciais e de probabilidades subjetivas;

- Deve ser evitado um viés otimista nas análises e avaliações de incertezas, o que pode levar sistematicamente a valores subestimados de incerteza e, caso aplicações sucessivas não reflitam a variabilidade identificada no processo, o próprio processo de análise pode ser desacreditado;
- Deve se buscar um balanço adequado entre a simplicidade do processo de análise e avaliação de incertezas e a complexidade da estrutura lógica que o fundamenta, na tentativa de se ampliar a clareza dos resultados alcançados e permitir uma compreensão mais profunda das situações analisadas.

Ao se realizar análises subjetivas, os padrões relacionados à aprendizagem organizacional e quaisquer lacunas no conhecimento envolvido devem ser identificados e tratados adequadamente (CHAPMAN; WARD, 2000).

Os critérios para definição do nível de risco normalmente se limitam a probabilidade e impacto, no entanto há outros fatores que podem influenciar os resultados da análise de riscos. Taroun (2014), a partir de uma revisão da literatura sobre análise de riscos em construção, recomenda o uso de parâmetros relativos a natureza do risco, nível de conhecimento e experiência de analistas, interdependência entre riscos envolvidos em um projeto e influências do contexto do projeto como base para processos de tomada de decisão durante a avaliação de riscos.

O nível de risco é comumente apresentado como em valores monetários (KUNREUTHER, 2001; ABDELGAWAD; FAYEK, 2012).

Deve ser considerado também que nem todas as consequências esperadas para a ocorrência de uma falha ocorrem automaticamente. Oliveros e Fayek (2005), que tratam de riscos relacionados a atrasos na execução de obras, citam que quando determinado evento ocorre, diferentes atividades são impactadas de modo distinto, numa característica que foi denominada sensibilidade de cada atividade à causa de atraso. Isto corresponde à adoção de uma probabilidade condicional para as consequências associadas à ocorrência de determinado risco.

3.1.1.4 – Avaliação de riscos

A avaliação de riscos corresponde ao processo de comparação dos resultados obtidos da análise de riscos com os critérios de risco, de modo a determinar se o risco analisado é aceitável ou tolerável. O propósito da avaliação de riscos é auxiliar na tomada de decisões sobre quais riscos necessitam de tratamento e a prioridade para a implementação destes tratamentos, com base nos resultados da análise de riscos (ABNT, 2009).

A avaliação de riscos é um processo de comparação dos níveis de risco estimados frente aos critérios determinados de modo a se determinar sua relevância, buscando definir se um risco específico pode ou não ser tolerado e identificar quais os riscos que devem ser considerados prioritários na implementação de respostas para sua abordagem. A identificação de um risco como prioritário determina que um maior esforço deve ser estabelecido para seu tratamento (COOPER *et al.*, 2005).

A avaliação de riscos pode levar à decisão de se reter o risco, o que corresponde a não lhe estabelecer tratamento algum, apenas mantendo os controles previamente existentes. Tal decisão é influenciada pela atitude da organização perante o risco, o que reflete sua tolerância ao risco e os critérios estabelecidos para sua avaliação (ABNT, 2009).

Nesta direção, Alencar e Schmitz (2012) apontam situações nas quais, do ponto de vista estritamente financeiro, a retenção dos riscos devem ser justificadas: quando o nível de risco apresenta valor inferior ao custo das ações de tratamento planejadas, ou seja, quando o custo do tratamento é maior que o nível de risco; e quando o custo das ações de tratamento for superior ao valor do projeto envolvido. Durante o processo de avaliação de risco, critérios como estes podem servir como referencial para a tomada de decisão quanto ao tratamento dos riscos.

Em concordância com ideia apresentada por Kunreuther (2001) citada no item anterior, Godfrey (1996) aponta que eventos com probabilidades extremamente reduzidas relacionados a consequências potencialmente catastróficas devem ser avaliados cuidadosamente, pois mesmo que o risco pareça insignificante, o desastre pode acontecer. Quando as consequências são inaceitáveis, o risco deve ser evitado ou pelo menos mitigado.

3.1.1.5 – Tratamento de riscos

O propósito do tratamento dos riscos é determinar o que deverá ser feito em resposta aos riscos identificados, de modo a se reduzir a exposição a estes riscos, convertendo as análises e avaliações anteriores em ações efetivas para redução dos riscos. O tratamento de riscos deve estabelecer e implementar ações gerenciais para lidar com os riscos, considerando a relevância de cada risco e a importância do projeto envolvido (COOPER *et al.*, 2005).

Segundo a NBR ISO 31000, o tratamento do risco se refere ao processo para sua modificação, envolvendo: ações para evitar o risco, a partir da decisão de não iniciar ou interromper a atividade que dá origem ao risco; assumir ou aumentar o risco, em busca de uma oportunidade; a remoção da fonte de risco; a alteração da probabilidade ou das consequências; o compartilhamento do risco com outras partes (incluindo contratos e financiamento dos riscos); e a retenção do risco por uma escolha consciente (ABNT, 2009).

Durante a definição de ações para tratamento dos riscos, uma abordagem a partir de estratégias gerais de gestão dos riscos pode tornar este processo mais efetivo, envolvendo:

- Prevenção de riscos, por meio da eliminação de fontes de risco, redução substancial das probabilidades de ocorrência ou mesmo evitando completamente o risco;
- Mitigação dos impactos dos riscos, com a minimização das consequências associadas, incluindo planos de contingência, garantia da qualidade e planos de gerenciamento de crises, entre outros;
- Compartilhamento de riscos, incluindo outros setores da organização, contratantes, fornecedores e outras partes interessadas;
- Seguros, que se coloca como uma estratégia bem conhecida de compartilhamento de riscos e possui ainda características de mitigação de impactos, e;
- Retenção de riscos, em casos nos quais os riscos não podem ser evitados ou compartilhados ou quando os custos para tratamento o inviabilizam (COOPER *et al.*, 2005).

Segundo Alencar e Schmitz (2012), as ações para o tratamento de riscos que buscam reduzir as probabilidades associadas ao risco são denominadas ações de contenção, enquanto as ações que visam minimizar as consequências são denominadas ações de contingência.

O tratamento de riscos envolve um processo cíclico composto por: avaliação dos tratamentos de risco já realizados; decisão sobre a aceitação dos níveis de risco residuais, aqueles remanescentes após o tratamento, se são toleráveis ou não; em não sendo toleráveis, a definição e implementação de novas ações para tratamento para os riscos; e avaliação da eficácia desse tratamento (ABNT, 2009).

A seleção das ações para tratamento de riscos deve buscar o equilíbrio entre os custos e esforços para sua implementação e os benefícios decorrentes, relativos a requisitos legais, regulatórios ou quaisquer outros. Convém, por outro lado, que as decisões também considerem os riscos que demandam um tratamento economicamente não justificável, como, por exemplo, riscos com consequências potenciais negativa elevadas, porém com probabilidade muito baixa (ABNT, 2009).

Ações para tratamento de riscos podem introduzir novos riscos. Um risco significativo pode derivar do fracasso ou da ineficácia das medidas de tratamento de riscos, sendo necessário um monitoramento adequado para garantir que as ações permaneçam eficazes. O tratamento de riscos também pode introduzir riscos secundários que necessitam ser avaliados, tratados, monitorados e analisados criticamente (ABNT, 2009).

3.1.1.6 – Monitoramento e análise crítica de riscos

Os processos de monitoramento e análise crítica devem abranger todos os aspectos do processo da gestão de riscos com a finalidade de: garantir que os controles sejam eficazes e eficientes; obter informações adicionais para melhorar o processo de avaliação dos riscos; analisar os eventos ocorridos, mudanças, tendências, sucessos e fracassos, aprendendo com eles; detectar mudanças no contexto externo e interno, incluindo alterações nos critérios de risco e nos próprios riscos, revisão dos tratamentos dos riscos e suas prioridades; e identificar os riscos emergentes (ABNT, 2009).

As atividades de monitoramento e análise de riscos realizadas continuamente garantem que as ações planejadas sejam desenvolvidas e implementadas efetivamente e que novos riscos sejam detectados e gerenciados (COOPER *et al.*, 2005).

O monitoramento dos riscos também consiste na implementação dos planos de resposta aos mesmos, na rastreabilidade dos riscos identificados, no monitoramento dos riscos residuais, na identificação de novos riscos e na avaliação da efetividade do processo de gestão adotado (SILVA, 2012).

3.1.1.7 – Comunicação e consulta sobre riscos

Segundo a NBR ISO 31000, a organização deve conduzir processos contínuos e iterativos para fornecimento, compartilhamento ou obtenção de informações e se envolver em diálogos com as partes interessadas sobre a existência, natureza, forma, probabilidade, relevância, avaliação, aceitabilidade, tratamento de eventos, riscos e outros aspectos relacionados à gestão de riscos (ABNT, 2009).

Isto inclui especialmente os responsáveis pelos processos relacionados aos riscos, que precisam entender os riscos que devem ser gerenciados e devem comunicar sobre a situação destes riscos conforme procedimentos definidos (COOPER *et al.*, 2005).

3.1.2 – Gestão de riscos no setor de construção

O setor da construção é caracterizado por lidar com produtos únicos, complexos, repletos de incertezas, com informações limitadas e com conflitos devido aos muitos intervenientes cujos interesses e percepções nem sempre convergem, sendo conseqüentemente relacionado a decisões subjetivas e a um alto grau de risco (AZEVEDO; ENSSLIN; JUNGLES, 2014).

Segundo Latham (1994), “nenhum empreendimento de construção é livre de riscos. Seus riscos podem ser gerenciados, minimizados, compartilhados, transferidos ou aceitos. Não podem ser ignorados”. Riscos e incertezas com conseqüências potencialmente prejudiciais são inerentes a todos os projetos de construção e a gestão de riscos aplicada sistematicamente pode auxiliar o controle destes riscos, sendo que, embora não seja

possível se eliminar as incertezas, efetivamente podem ser obtidas melhorias quanto ao cumprimento de prazos, custos e qualidade da obra, assim como em aspectos ambientais e de segurança no trabalho (GODFREY, 1996).

O desempenho em uso das edificações sofre influência da interação entre materiais e produtos utilizados na construção, fatores humanos e aspectos climáticos e ambientais, os quais são inerentemente variáveis e trazem em si diferentes níveis de incerteza. Qualquer que seja o nível de controle no desenvolvimento de projetos e execução de um edifício, com foco na garantia de determinado nível de desempenho, sempre há a possibilidade da ocorrência de falhas (FOLIENSTE; LEICESTER; PHAM, 1998).

A título de ilustração destas incertezas, Bernardini *et al.* (2015) apresentam um método de análise do desempenho estrutural para edifícios altos que considera a variabilidade nas condições de vento, nas percepções de conforto de usuários e nas características de comportamento da estrutura do edifício, utilizando o método de simulação Monte Carlo e conjuntos *fuzzy*. Ainda, Hopfe e Hensen (2011), Rodríguez *et al.* (2013), Silva e Ghisi (2014b) e Silva *et al.* (2014b) fazem referência às incertezas relativas às características e condições de uso de edificações na análise do desempenho térmico e do consumo de energia.

Holický (1999) aponta que as características de desempenho relacionados a segurança, conforto, manutenibilidade e funcionalidade de uma edificação podem ser afetados por diversos fatores de incerteza, enquanto, por outro lado, os próprios requisitos de desempenho normalmente são traduzidos, em suas condições limítrofes, a partir de definições vagas e imprecisas por parte de usuários. O autor propõe o uso de medidas de probabilidade baseadas em matemática *fuzzy* como base para análise do desempenho de edificações.

Várias publicações tratam da gestão e da análise de riscos no setor de construção civil, entretanto, em sua grande maioria, permanecendo seu foco sobre aspectos de custos, prazo de execução e segurança no trabalho. Taroun (2014) apresenta uma extensa revisão da literatura envolvendo modelagem e análise de riscos no setor de construção, enquanto Piña *et al.* (2017) relatam um mapeamento sistemático de literatura sobre gestão de riscos no setor de construção.

Embora a gestão de riscos seja utilizada em outras indústrias, o setor de construção tem abordado o risco em termos de intuição individual, julgamento e experiências observadas. Akintoye e Macleod (1997) apontam que entre as razões informadas por construtores do Reino Unido para a não utilização de ferramentas de gestão de riscos estão: falta de familiaridade com as técnicas; grau de sofisticação elevado das ferramentas; falta de informações e conhecimentos robustos para dar confiabilidade às análises; dúvidas sobre a aplicação das técnicas ao setor de construção; os riscos normalmente são bastante subjetivos, portanto, eles são melhor tratados com base em experiências anteriores.

No contexto do setor de construção brasileiro, Santos *et al.* (2015), com base em revisão bibliográfica e em estudo de caso, citam que enquanto a literatura identifica ferramentas complexas que garantem uma maior confiabilidade na análise dos riscos, há dificuldades na adoção destas ferramentas na prática, com a abordagem dos riscos nas empresas ocorrendo de maneira informal a partir de julgamentos subjetivos e das experiências dos responsáveis. Da mesma forma, Azevedo; Ensslin e Jungles (2014) e Barreto e Andery (2014) citam que a aplicação de processos formais e sistematizados de análise de riscos em empresas construtoras e incorporadoras brasileiras ocorre de modo muito limitado.

Nos próximos anos, tal situação deve ser alterada tendo em vista as empresas construtoras e incorporadoras que adotam a norma NBR ISO 9001 como base para seus sistemas de gestão da qualidade, que apresenta um requisito específico voltado para a abordagem de riscos (ABNT, 2015), e do alinhamento esperado do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade no Habitat – PBQP-H com esta norma.

A partir de um mapeamento sistemático da literatura sobre gestão de riscos aplicada no setor de construção, Piña *et al.* (2017) apontam que as principais dificuldades de implantação dos processos analisados nas publicações são relacionados à complexidade do método proposto, às dificuldades para obtenção de dados, a restrições na aplicação do método e na falta de implementação do método para validação.

A utilização da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* como base para a análise de riscos pode amenizar tais dificuldades. A abordagem dos riscos no setor de construção a partir de números *fuzzy* se apresenta como uma linha de pesquisa robusta. A Tabela 3.1 apresenta trabalhos que tratam da análise deste assunto.

<i>Referência Bibliográfica</i>	<i>Assunto Tratado</i>
Paek; Lee e Ock (1993)	Proposta de análise de riscos relacionados à definição de preços em contratos de construção baseada em matemática <i>fuzzy</i>
Baloi e Price (2003)	Análise dos fatores globais que afetam o desempenho econômico de obras com base em matemática <i>fuzzy</i>
Oliveros e Fayek (2005)	Desenvolvimento de modelo baseado em matemática <i>fuzzy</i> para análise de riscos relacionados aos prazos de construção
Dikmen; Birgonul e Han (2007)	Proposta de um método de análise de riscos em projetos internacionais de construção relacionados a custos baseado na Teoria dos Conjuntos <i>Fuzzy</i>
Zeng; An e Smith (2007)	Aplicação de Processo de Análise Hierárquica (AHP) baseada em números <i>fuzzy</i> para identificação de fatores de risco relacionados a empreendimentos de construção
Zhang e Zou (2007)	Desenvolvimento de modelo para análise de riscos em projetos de construção estabelecidos em <i>joint venture</i> baseado em AHP e matemática <i>fuzzy</i>
Buzzi (2010)	Pesquisa brasileira com desenvolvimento de ferramenta para análise de riscos em empresas incorporadoras baseada em lógica <i>fuzzy</i>
Abdelgawad e Fayek (2011)	Aplicação da Análise de Árvore de Falhas (FTA) com a caracterização das probabilidades dos eventos de base com números <i>fuzzy</i>
Nieto-Morote e Ruz-Vila (2011)	Aplicação de um modelo de AHP baseada em matemática <i>fuzzy</i> para análise de riscos em sistemas de transportes
Azari <i>et al.</i> (2011)	Aplicação da técnica TOPSIS baseada em números <i>fuzzy</i> para caracterização de fatores de risco mais importantes ligados a empreendimentos de construção
Liu e Tsai (2012)	Uso de números <i>fuzzy</i> para análise de riscos ocupacionais relacionados à segurança no trabalho em atividades de construção
Pinto (2014)	Aplicação de Modelo de Avaliação Qualitativa de Riscos (QRAM) com auxílio de números <i>fuzzy</i> para análise de riscos ocupacionais relacionados à segurança no trabalho em atividades de construção
Yazdani-Chamzini (2014)	Apresentação de um modelo de análise de riscos na construção de túneis baseado na lógica <i>fuzzy</i>
Gunduz; Nielsen e Ozdemir (2015)	Desenvolvimento de modelo baseadas em matemática <i>fuzzy</i> para análise de riscos relacionados aos prazos de construção
Silva <i>et al.</i> (2015)	Pesquisa brasileira com avaliação de riscos relacionados a empreendimentos de habitação de interesse social baseada em AHP e matemática <i>fuzzy</i>
Elbarkouky <i>et al.</i> (2016)	Desenvolvimento de modelo para análise dos riscos relacionados aos custos de construção, a partir dos níveis de riscos associados a fatores relevantes calculados a partir de números <i>fuzzy</i>
Pawan e Lorterapong (2016)	Desenvolvimento de modelo baseado em matemática <i>fuzzy</i> para análise de riscos relacionados aos prazos de construção de obras
Beltrão (2017)	Pesquisa realizada na Universidade de Brasília com foco na análise de riscos em obras públicas com base em AHP e matemática <i>fuzzy</i>

Tabela 3.1 – Publicações sobre análise de riscos aplicada ao setor de construção com uso da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* (fonte: autor)

Chan; Chan e Yeung (2009), Rezakhani (2012) e Islam *et al.* (2017) apresentam revisões de literatura envolvendo modelos de análise de riscos baseados na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* aplicados o setor de construção. Suresh; Babar e Venkat Raj (1996), Nachtmann e Needy (2003) e Mansour-Rezaei; Naser e Sadiq (2012) apontam a validade do uso da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* em análises de incertezas, comparando-o com outras ferramentas tradicionais.

Na aplicação da análise de riscos baseada em conjuntos *fuzzy*, dados probabilísticos sobre problemas de desempenho identificados durante a assistência técnica pós-entrega, nos moldes daqueles utilizados por Brito; Formoso e Echeveste (2011), Carraro e Dias (2014) e Cupertino e Brandstetter (2015), assim como resultados de avaliações pós-ocupação, como propostas por Ono *et al.* (2015), podem ser utilizados como um referencial para identificação de riscos, das probabilidades e consequências associadas, e para análise crítica dos resultados da avaliação de riscos, inclusive quando referentes a amostras pequenas ou não cobrirem todos os riscos ligados ao desempenho das edificações.

Devem ser ressaltados alguns trabalhos brasileiros que buscam tratar a questão do desempenho em edificações em termos dos riscos envolvidos, num enfoque que os aproxima do tema desta tese:

- Barreto e Andery (2014), que apresentam um diagnóstico da aplicação da análise de riscos em empresas de incorporação durante a etapa de desenvolvimento de projetos;
- Silva *et al.* (2015), que analisam riscos relacionados a empreendimentos de habitação popular;
- Alves *et al.* (2017), com o desenvolvimento de modelos de análise de riscos para aplicação durante a elaboração de projetos de arquitetura, com foco no atendimento às normas de desempenho;
- Firmo; Paulo e Santos (2017), com a avaliação da aplicação da gestão de risco em empresas construtoras e incorporadoras com foco no processo de projeto;
- Machado e Andery (2017), com o desenvolvimento de ferramenta de análise de riscos para análise de projetos quanto ao atendimento às normas NBR 15575;
- Milhomem; Melo e Silva (2017), com revisão de literatura voltada para o levantamento de riscos globais em empreendimentos de habitação social;

- Silva e Souza (2017), que avaliam a aplicação da gestão de risco em empresas construtoras e incorporadoras brasileiras.

3.2 – TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

3.2.1 – Conceitos e aspectos gerais

Toda informação traz em si certo grau de incerteza. Ao mesmo tempo em que toda incerteza reflete alguma deficiência nas informações associadas a determinado evento. Informações podem ser incompletas, imprecisas, fragmentadas, não plenamente confiáveis, vagas, contraditórias ou deficientes de algum outro modo, o que resulta em diferentes tipos de incertezas (KLIR; YUAN, 1995).

A Teoria Clássica dos Conjuntos define com clareza e exatidão se um dado elemento pertence ou não a determinado conjunto. Entretanto há determinados grupos de elementos que não podem ser descritos com base em critérios absolutos de classificação. A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* vem estabelecer uma lógica para processamento matemático de tais conjuntos, onde a presença de determinado elemento em um conjunto pode ser caracterizada dentro de uma regra gradual e não somente como pertencente ou não a este conjunto (ZADEH, 1965; SILER; BUCKLEY, 2005; JANTZEN, 2013).

À medida que a complexidade de determinado fenômeno aumenta, a capacidade de se estabelecer afirmações precisas e, ao mesmo tempo, relevantes sobre seu comportamento diminui até alcançar um horizonte no qual a precisão e a relevância se tornam aspectos mutuamente excludentes (ZADEH, 1973).

A solução tradicional para questões envolvendo sistemas complexos passa pela definição de um modelo matemático, pelo levantamento de dados, simulação ou resolução do modelo até determinado nível de precisão e análise dos resultados. No entanto, diversos tipos de falhas e limitações podem surgir neste processo, entre eles: não haver modelo matemático que se ajuste aos dados levantados ou modelos distintos se ajustarem a estes dados, porém determinando resultados contraditórios; a simulação do modelo matemático se apresentar de difícil implementação em função de limitações computacionais; o modelo matemático não apresentar solução possível; dificuldades no levantamento de dados ou

identificação de dados contraditórios, vagos ou, simplesmente, inexistentes; existência de dados aleatórios caóticos em todo o sistema; as partes do modelo não se encaixarem em conjunto (WIERMAN, 2010).

Quando lida com problemas reais, a solução dada por pessoas a questões complexas, que envolvem informações vagas e incompletas, passa pela abstração, pela simplificação e pelo uso de símbolos, que acabam por serem traduzidos por meio da linguagem, de palavras, que, por referenciar entidades abstratas idealizadas, nem sempre são precisas (WIERMAN, 2010). Ao se trabalhar com questões complexas ou que envolvem informações deficientes, torna-se natural recorrer a variáveis linguísticas, cujos valores não são números, mas sim palavras ou sentenças estabelecidas em linguagem natural ou artificial, num processo que, ao mesmo tempo, se mostra menos preciso, porém mais coerente e adequado na caracterização do fenômeno (ZADEH, 1975).

A Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* permite que conceitos expressos em termos linguísticos, subjetivos, sejam representados matematicamente, estabelecendo a possibilidade de que tais conceitos sejam tratados em relações, funções e equações, com a *fuzzificação* de diversas áreas da matemática clássica, facilitando aplicações com os mais diferentes propósitos (KLIR; YUAN, 1995).

O conhecimento pode ser diferenciado em conhecimentos objetivos, gerados a partir de modelos e informações matemáticas e estatísticas, e conhecimentos subjetivos, os quais representam informações linguísticas, muitas vezes obtidas junto a especialistas, que usualmente se apresentam difíceis de abordar por meio de métodos matemáticos tradicionais. Os dois tipos de conhecimento podem ser utilizados de modo coordenado para a resolução de problemas com base em conjuntos *fuzzy* (MENDEL, 1995). Neste sentido, a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* se coloca como alternativa para situações em que dados estatísticos são insuficientes para análises probabilísticas, permitindo uma caracterização matemática de informações imprecisas e aproximadas.

É importante sublinhar que a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* se apresenta como uma teoria matemática formal para representação da incerteza e que, embora trate de situações imprecisas, a caracterização de conjuntos *fuzzy* ocorre com base em um ferramental matemático bem estabelecido e fundamentado (WIERMAN, 2010).

3.2.1.1 – Funções de pertinência

Um conjunto *fuzzy* é definido como um grupo de elementos que se relacionam individualmente a um determinado atributo, representados por funções que estabelecem para cada um destes elementos um grau de associação à característica que o identifica, um grau de pertinência, cujos valores variam entre zero e um em uma escala contínua. Em termos matemáticos, havendo um conjunto *fuzzy* no universo X , tem-se que cada elemento A deste conjunto é definido por uma função de pertinência $\mu_A(x)$, em que se associa cada ponto x em X a um número real no intervalo de 0 a 1, que representa o grau de pertinência de x ao elemento A . Quanto mais próximo $\mu_A(x)$ for de 1, maior o grau de pertinência de x ao elemento A (ZADEH, 1965).

A representação adequada de um conjunto *fuzzy* se fundamenta em cinco elementos conceituais relacionados entre si:

- O universo formado pelos elementos $x \in X$;
- Uma variável linguística V que define um atributo dos elementos x ;
- Um termo linguístico A relacionada à variável linguística V dentro de determinado contexto;
- Um intervalo numérico e mensurável definido no universo X que identifica um conjunto referencial suficiente para tratamento do atributo relacionado à variável linguística V ;
- Uma função numérica subjetiva $\mu_A(x)$ que estabelece valores graduais de pertinência para os elementos $x \in X$, representativos do nível em que cada um destes elementos x pertence ao conjunto de elementos identificados pelo termo linguístico A (TURKSEN, 1991).

Não há procedimentos formais para determinação das funções de pertinência, que devem se fundamentar em métodos heurísticos a partir de conhecimentos de especialistas, devendo ser arbitradas a partir de uma análise racional, plausível e validadas em seu uso (SINGER, 1990). O aumento do nível de informação sobre determinado aspecto, com a identificação de fatos relevantes, levantamento de resultados de experimentos ou ações correlatas, recebimento de informações de terceiros e a análise de dados históricos, entre

outras ações, podem reduzir os níveis de incerteza envolvidos na definição das funções de pertinência (KLIR; YUAN, 1995).

A representação do conceito depende do contexto em que ele se aplica, com a possibilidade de alteração da função de pertinência aplicado a um termo linguístico quanto relacionado a diferentes situações (KLIR; YUAN, 1995).

A definição de funções de pertinência apropriadas e representativas para a caracterização de um termo linguístico se coloca como um ponto crítico para o uso de conjuntos *fuzzy* (KLIR; YUAN, 1995). Embora conjuntos *fuzzy* sejam utilizados para representar incertezas e não pretendam estabelecer representações precisas, se tais representações forem realizadas sem critérios apropriados, com funções de pertinência distorcidas frente aos valores reais envolvidos, sua aplicação deixa de ser útil a qualquer propósito (WIERMAN, 2010).

3.2.2 – Números *fuzzy*

Cálculos algébricos que considerem conjuntos *fuzzy* baseados no universo dos números reais representam um papel fundamental no desenvolvimento de aplicações para a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*. Estes conjuntos, cujas funções de pertinência envolvem valores reais que os caracterizam, são denominados números *fuzzy* (DUBOIS; PRADE, 1978).

Números *fuzzy*, por convenção, correspondem a conjuntos *fuzzy* convexos e normalizados, definidos a partir do universo dos números reais (DUBOIS; PRADE, 1978; SILER; BUCKLEY, 2005; BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). Também é citado que sua função de pertinência é semicontínua superior e seu intervalo de base representa um conjunto fechado, limitado por valores finitos (GRZEGORZEWSKI; MRÓWKA, 2005; YEH, 2008; BEDE, 2013).

Números *fuzzy* podem apresentar funções de pertinência com diferentes formas, o que acabam lhes caracterizando como números triangulares, trapezoidais, quadráticos ou normais (SILER; BUCKLEY, 2005). Números *fuzzy* triangulares, ao lado dos números *fuzzy* trapezoidais, são aqueles mais comumente utilizados, principalmente por permitirem um tratamento matemático mais simples e poderem ser interpretados de modo mais

intuitivo. Sua aplicação se mostra universal, alcançando controladores *fuzzy*, gestão da tomada de decisão, ciências sociais, finanças e negócios, entre outras, sendo que sua representação gráfica e as operações que os envolvem são bastante simples (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Além disso, a determinação de um número *fuzzy* triangular pode ser fundamentado em poucas informações. Ao se identificar valores máximos e mínimos esperados para um determinado termo, delimita-se o intervalo de base da função, ao mesmo tempo que a identificação do valor mais plausível pode determinar seu ponto de topo (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007). O gráfico apresentado na Figura 3.2 representa um número *fuzzy* triangular A.

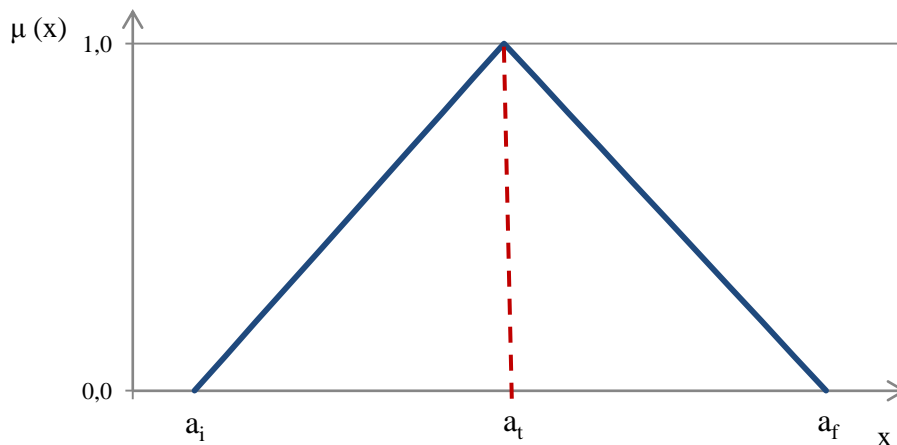


Figura 3.2 – Representação de um número *fuzzy* triangular A (a_i , a_t , a_f)
(fonte: BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007)

A função de pertinência de um número *fuzzy* triangular A, definido pela notação A (a_i , a_t , a_f), corresponde às seguintes expressões (GIACHETTI; YOUNG, 1997b; BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007):

$$\mu_A(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a_i \\ (x - a_i) / (a_t - a_i) & \text{se } a_i < x \leq a_t \\ (a_f - x) / (a_f - a_t) & \text{se } a_t < x \leq a_f \\ 0 & \text{se } x > a_f \end{cases} \quad 3.1$$

3.2.3 – Operações matemáticas com números *fuzzy*

As operações matemáticas com números *fuzzy* podem ser desenvolvidas por dois processos distintos: o princípio da extensão, método analítico e generalista baseado na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, ou pelo uso da Aritmética de Intervalos aplicada aos cortes α^9 das funções de pertinência, mais adequado a programas computacionais. Os dois processos apresentam os mesmos resultados para operações convencionais de adição, subtração, multiplicação e divisão, embora em equações mais complexas possam ser estabelecidas soluções distintas (SILER; BUCKLEY, 2005).

A literatura apresenta diversos métodos para realização de operações matemáticas com números *fuzzy*, com a utilização de parâmetros diferenciados para identificação da função de pertinência, pela caracterização padronizada dos diferentes tipos de função e com uso de algoritmos computacionais específicos, assim como trata de aspectos teóricos mais complexos (KLIR; YUAN, 1995). Nesta pesquisa, no entanto, o uso da matemática *fuzzy* permanece em um nível mais simples, sendo adotados somente números *fuzzy* triangulares e operações matemáticas padronizadas.

As operações matemáticas de adição e subtração aplicáveis aos números *fuzzy* triangulares $A (a_i, a_t, a_f)$ e $B (b_i, b_t, b_f)$ são bastante simples, resultando em novos números *fuzzy* triangulares e sendo assim descritas (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007)¹⁰:

$$A \oplus B = (a_i + b_i, a_t + b_t, a_f + b_f) \quad 3.2$$

$$A \ominus B = (a_i - b_f, a_t - b_t, a_f - b_i) \quad 3.3$$

Por outro lado, a multiplicação de dois números *fuzzy* triangulares traz em si uma maior complexidade, não resultando um número *fuzzy* triangular, mas sim uma função cujas linhas correspondem a equações de 2º grau. No caso da multiplicação de n números *fuzzy* triangulares, as linhas da função resultante correspondem a um polinômio de grau n .

⁹ O corte α de um número *fuzzy* é definido como o intervalo dos valores de x para os quais a função de pertinência $\mathbb{Q}(x)$ se apresenta maior ou igual a α , sendo que corte α representa um intervalo fechado e contínuo de números reais (KLIR; YUAN, 1995; SILER; BUCKLEY, 2005).

¹⁰ \oplus , \ominus e \otimes representam os operadores de adição, subtração e multiplicação aplicados a números *fuzzy*.

Gao *et al.* (2009) apresentam o seguinte resultado para a dedução da função de pertinência associada à multiplicação de dois números *fuzzy* triangulares A (a_i, a_t, a_f) e B (b_i, b_t, b_f)¹¹:

$$\mu_{\otimes}(x) = \begin{cases} 0 & \text{se } x \leq a_i \cdot b_i \\ \frac{-(a_i b_t + b_i a_t - 2a_i b_i) + \sqrt{(a_i b_t - b_i a_t)^2 + 4(a_t - a_i)(b_t - b_i).x}}{2(a_t - a_i)(b_t - b_i)} & \text{se } a_i \cdot b_i < x \leq a_t \cdot b_t \\ \frac{-(a_f b_t + b_f a_t - 2a_f b_f) - \sqrt{(a_f b_t - b_f a_t)^2 + 4(a_t - a_f)(b_t - b_f).x}}{2(a_t - a_f)(b_t - b_f)} & \text{se } a_t \cdot b_t < x < a_f \cdot b_f \\ 0 & \text{se } x \geq a_f \cdot b_f \end{cases} \quad 3.4$$

A fim de simplificar esta operação de multiplicação, sem incorrer em um erro significativo em seus resultados, diversos autores fazem uso de uma aproximação linear para o produto de números *fuzzy* triangulares (MISRA; WEBER, 1990; CHEN, 1994; TYAGI; PANDEY; TYAGI, 2010; AZARI *et al.*, 2011; ZHOU; SHIA; SUN, 2015)¹², definindo o produto dos números *fuzzy* triangulares A (a_i, a_t, a_f) e B (b_i, b_t, b_f) por:

$$A \otimes B \cong (a_i \times b_i, a_t \times b_t, a_f \times b_f) \quad 3.5$$

Esta aproximação representa um erro com relação ao valor do produto de números *fuzzy*, fazendo com que centro geométrico da função resultante se desloque à direita, no sentido de um valor maior. Giachetti e Young (1997a) apontam que este erro decorrente do uso da aproximação linear no produto de números *fuzzy* triangulares pode se tornar significativo quando há um número grande de fatores na multiplicação. Por outro lado, Tanaka *et al.* (1983) demonstram que a adoção desta aproximação linear gera um número *fuzzy* maior do que o valor original, o que, no caso da caracterização de probabilidades de falhas, acarreta um resultado mais conservador, com uma maior margem de segurança.

Giachetti e Young (1997b); Grzegorzewski e Mrówka (2005); Fodor e Bede (2006) e Yeh (2008) apresentam propostas de métodos simplificados para cálculo deste produto com um menor erro, contudo todos apontam para propostas computacionalmente mais complexas.

¹¹ A equação publicada em Gao *et al.* (2009) foi corrigida no termo ' $4(a_t - a_i)(b_t - b_i).x$ ' referente ao lado esquerdo da função, sendo que no original a_i se encontra identificado como a_f .

¹² Tanaka *et al.* (1983), Ferdous *et al.* (2009) e Nieto-Morote; Ruz-Vila (2011) utilizam o mesmo procedimento de aproximação, só que com números *fuzzy* trapezoidais.

3.2.3.1 – Defuzzificação de resultados

Após a realização de todas as operações com números *fuzzy*, o resultado, que também se apresenta como um número *fuzzy*, muitas vezes tem que ser sintetizado e expresso por um valor único que melhor o represente, de modo a fundamentar determinada ação ou a tomada de decisão, num processo de decodificação denominado defuzzificação. A defuzzificação se apresenta como a definição de um número correspondente e representativo do número *fuzzy* resultante de um conjunto de operações realizadas (SILER; BUCKLEY, 2005).

Existem diferentes métodos para defuzzificação, os quais podem levar em consideração a forma do número *fuzzy* envolvido, a extensão do intervalo de base, as alturas dos triângulos e trapézios associados na função de pertinência, a simetria da forma estabelecida pelo número *fuzzy*, assim como a complexidade e a dificuldade de processamento dos cálculos resultantes. São exemplos:

- Método do centro de gravidade, apontado como o método mais utilizado, por ser entendido de modo natural, identifica como valor representativo aquele relativo ao centro da área formada pela função de pertinência e o eixo de base;
- Método da média do máximo, para números *fuzzy* que possuem topos achatados, tais como números trapezoidais ou triangulares segmentados, o valor representativo é dado pela média dos valores limítrofes do intervalo definido pelo segmento achatado de maior altura;
- Método de defuzzificação por altura, também aplicado a números *fuzzy* que possuem topos achatados, o valor não considera aquele de maior altura, mas todos eles, sendo definido pela média ponderada das médias dos intervalos de projeção destes topos, com ponderação pela altura de cada um deles (BOJADZIEV; BOJADZIEV, 2007).

Utiliza-se nesta tese o método do centro de gravidade, cuja expressão de cálculo para o número *fuzzy* triangular $A(a_i, a_t, a_f)$ é definida por:

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3}$$

3.6

3.3 – ANÁLISE DE ÁRVORE DE FALHAS – FTA

3.3.1 – Conceitos e informações gerais

O método de análise de árvore de falhas, desenvolvido por H. A. Watson, dos laboratórios da *Bell Telephone*, permite a avaliação das relações de causas e efeitos relativos a eventos, possibilitando o aprofundamento do conhecimento sobre o funcionamento dos sistemas analisados e de possíveis mecanismos de falhas (SAKURADA, 2001).

A Análise de Árvore de Falhas, reconhecida pela sigla FTA (do inglês *Fault Tree Analysis*), se apresenta como uma ferramenta lógica e pictográfica para identificação e análise dos fatores que podem contribuir para a ocorrência de um evento indesejado (denominado evento de topo), com a caracterização de sequências e combinações de eventos básicos e suas relações com o evento final. Normalmente, este método faz uso de informações sobre as probabilidades relacionadas a cada um destes eventos básicos e, por meio de operadores lógicos, propaga estas incertezas para definir a probabilidade do evento indesejado (SURESH; BABAR; VENKAT RAJ, 1996; PAN; YUN, 1997; ABNT, 2012).

O método FTA oferece informações para suporte a processos de tomada de decisões relacionadas a: entendimento da lógica de origem de um evento indesejado; classificação em termos de relevância dos eventos que contribuem para o evento indesejado de topo; ações proativas para prevenção do evento indesejado; monitoramento do desempenho do sistema envolvido; minimização e otimização de recursos empregados; suporte no desenvolvimento de um sistema, e; identificação e correção das causas de um evento indesejado (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

A árvore de falhas em si corresponde a um modelo gráfico contendo as várias combinações sequenciais e em paralelo de eventos que podem resultar na ocorrência de um determinado evento negativo, caracterizando as inter-relações lógicas entre estes eventos básicos que levam ao evento indesejado de topo. Estes eventos de origem podem estar associados a

falhas em equipamentos, erros humanos, erros de software ou quaisquer outros que possam levar ao evento indesejado (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

O método FTA provê informações para caracterização da importância dos eventos indesejáveis que contribuem para determinada falha, identificando claramente aqueles de maior relevância e que devem ser priorizados. Em função de sua estrutura lógica, sistemática e compreensível, este método tem se provado capaz de identificar fragilidades operacionais e de projeto, inclusive situações de alta probabilidade cujos impactos são isoladamente inexpressivos, mas que, quando combinadas entre si, acabam por gerar consequências extremamente significativas (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

A FTA é um método dedutivo¹³ de análise, no qual se parte de determinado evento de falha para a identificação dos eventos e mecanismos que o originaram, para a identificação de suas causas. O processo básico de construção de uma árvore de falhas se define pela identificação dos eventos imediatos necessários e suficientes para originar determinado evento subsequente, suas causas imediatas, estabelecendo-se passos para trás a partir do evento de topo. Estes pequenos passos para trás garantem que as relações e causas primárias entre eventos sejam esclarecidas, assim como propiciam ao analista o entendimento daquilo que é necessário e suficiente para a ocorrência do evento de topo da árvore de falhas. A estruturação da árvore de falhas não é exaustiva no que se relaciona aos eventos básicos, sendo que são incluídos apenas os eventos de falha considerado realistas pelo analista (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

Um dos métodos auxiliares mais comuns para identificação de causas, muito utilizado em diagramas de Ishikawa, é conhecido por 6M, no qual se abrange os seguintes grupos de fatores: máquinas, métodos, materiais, monitoramento e medições, recursos humanos (do inglês *man power*) e meio ambiente. Em alguns casos, outros aspectos podem ser adicionados: manutenção e gerenciamento (do inglês *management*) (LARSSON; SAGAR, 2014). Esta estrutura pode ser adaptada em função das características dos processos envolvidos, inclusive com a completa modificação dos agrupamentos de fatores (SAKURADA, 2001).

¹³ Outro método de análise seria o indutivo, no qual, a partir de determinada falha ou condição inicial, se busca identificar as consequências desta falha ou condição no sistema analisado (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

O principal resultado qualitativo da análise de árvore de falhas é a caracterização dos conjuntos mínimos de corte para um evento indesejado. Um conjunto mínimo de corte corresponde à combinação lógica de eventos básicos que, considerando suas interações, levam à ocorrência do evento indesejado de topo, sendo que esta combinação se restringe ao menor número possível de eventos (ou seja, não inclui eventos que não contribuem para o evento de topo), ao mesmo tempo em que estes eventos são suficientes para induzir a ocorrência do evento indesejado. Cuidados especiais devem ser determinados para conjuntos mínimos de corte com apenas um evento ou contendo eventos de mesma natureza, que podem gerar o evento indesejado repentinamente (STAMATELATOS *et al.*, 2002; SILVA, 2013).

Já as avaliações quantitativas baseadas em árvores de falhas são a determinação das probabilidades do evento indesejado de topo e a caracterização da importância relativa dos eventos básicos, sendo que as probabilidades relacionadas a eventos intermediários também podem ser identificados. Com a determinação das probabilidades associadas aos eventos básicos e intermediários e aos conjuntos mínimos de corte, ações e recursos podem ser priorizados para abordagem dos eventos de maior relevância para a ocorrência do evento de topo. Com relação à probabilidade do evento de topo, também pode ser identificada sua redução quando determinado evento básico ou intermediário for abordado, assim como seu aumento quando verifica-se que determinado evento efetivamente ocorreu (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

A FTA utiliza operadores lógicos¹⁴ na construção das árvores de falhas: o operador E, que indica que todos os eventos ligados devem ocorrer para que o resultado seja estabelecido; e o operador OU, para o qual a ocorrência de qualquer dos eventos ligados ao operador gera o resultado (SINGER, 1990). A Figura 3.3 ilustra o uso destes operadores.

¹⁴ Na literatura sobre análise de árvore de falhas, estes operadores lógicos também são denominados portas lógicas, do inglês *gate*.

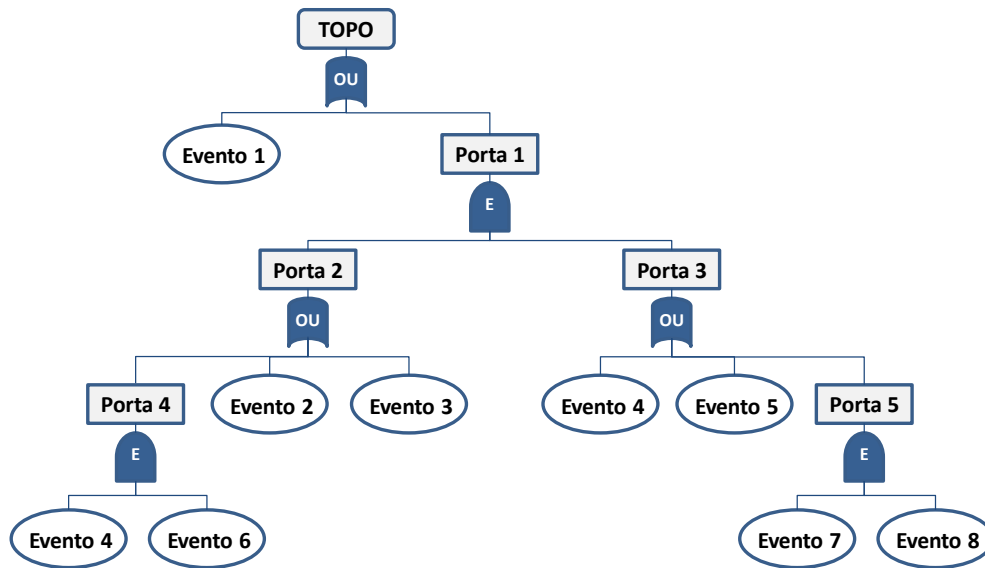


Figura 3.3 – Exemplo de uma estrutura de árvore de análise de falhas
(fonte: adaptado de SURESH; BABAR; VENKAT RAJ, 1996)

Sendo p_i a probabilidade relacionada a cada um dos eventos básicos ligados a determinado operador, a probabilidade P do evento resultante de cada operação se fundamenta nas seguintes expressões matemáticas relacionadas aos operadores E e OU (SINGER, 1990)¹⁵:

$$P^e = \prod_i p_i \quad 3.7$$

$$P^{ou} = 1 - \prod_i (1 - p_i) \quad 3.8$$

3.3.2 – FTA baseada em matemática *fuzzy*

A técnica da Análise de Árvore de Falhas, em sua abordagem probabilística tradicional, utiliza valores únicos para as probabilidades relacionadas aos eventos básicos. Tendo em vista que dados sobre estas probabilidades podem envolver informações incompletas e imprecisas, de difícil caracterização ou mesmo de natureza variável, este procedimento acaba por desconsiderar eventuais incertezas na determinação destas probabilidades. Uma alternativa para solução desta situação seria o uso da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* para

¹⁵ O π maiúsculo Π representa o operador matemático denominado produtivo, que estabelece a multiplicação de todos os termos envolvidos na expressão, semelhante ao que o operador somatório, representado pelo sigma maiúsculo Σ , faz em relação à adição.

caracterização das probabilidades associadas aos eventos base da árvore de falhas (FERDOUS *et al.*, 2011).

No sentido de incorporar estas incertezas na Análise de Árvore de Falhas, Tanaka *et al.* (1983), Furuta e Shiraishi (1984), Misra e Weber (1989) e Singer (1990) apresentam os primeiros trabalhos nos quais se realiza a substituição das probabilidades relacionadas aos eventos de base da FTA por números *fuzzy* representativos de distribuições de probabilidade associadas a cada evento.

A Tabela 3.2 apresenta outros trabalhos que utilizam a FTA baseada em matemática *fuzzy*. Mahmood *et al.* (2013) apresentam os conceitos e aplicações da FTA baseada em matemática *fuzzy* a partir de uma revisão de literatura.

<i>Referência Bibliográfica</i>	<i>Assunto Tratado</i>
Kim; Ju e Gens (1996)	Proposta de realização da análise FTA baseada simultaneamente em perspectivas distintas, uma otimista e uma negativa
Lin e Wang (1997)	Proposta de análise FTA a partir de um processo híbrido, utilizando dados estatísticos ou números <i>fuzzy</i> de acordo com a disponibilidade de informações para cada variável.
Pan e Yun (1997)	Desenvolvimento de um algoritmo simplificado para processamento de FTA baseada em números <i>fuzzy</i>
Dokas; Karras e Panagiotakopoulos (2009)	Desenvolvimento de programa para análise e monitoramento de riscos em operações de aterros de resíduos sólidos baseado em FTA e sistemas especialistas <i>fuzzy</i>
Al-Humaidi e Tan (2010)	Desenvolvimento de modelo para análise de atrasos em obra com base em FTA e matemática <i>fuzzy</i>
Tyagi; Pandey e Tyagi (2010)	Desenvolvimento de um algoritmo para definição de um número <i>fuzzy</i> único para caracterização da probabilidade de um evento base em FTA a partir dos números <i>fuzzy</i> definidos por diferentes especialistas
Abdelgawad e Fayek (2011)	Apresentação de um programa desenvolvido para análise e monitoramento de riscos relacionados à indústria da construção baseado em FTA e matemática <i>fuzzy</i>
Purba <i>et al.</i> (2014)	Desenvolvimento de método para definição de probabilidades relacionadas a eventos base de FTA a partir de opiniões de diferentes especialistas definidas em termos linguísticos, com base na teoria dos conjuntos <i>fuzzy</i>
Yiu; Cheung e Lok (2015)	Proposta de estrutura de FTA baseada em matemática <i>fuzzy</i> para análise de falhas em negociações para contratação de empreendimentos de construção
Yazdi (2017)	Desenvolvimento de procedimento híbrido utilizando FTA e AHP baseado em matemática <i>fuzzy</i> para análise de riscos em processos industriais

Tabela 3.2 – Publicações sobre Análise de Árvore de Falhas baseada em matemática *fuzzy*
(fonte: autor)

Diversos trabalhos relacionados à técnica de árvore de falhas fazem uso de números *fuzzy* triangulares e retangulares para representar as distribuições de probabilidade relativas aos eventos básicos. Chen (1994), Ferdous *et al.* (2009), Tyagi; Pandey e Tyagi (2011) e Zhou; Shia e Sun (2015) utilizam o processo de aproximação linear para o produto de números *fuzzy* triangulares, citado em 3.2.3, na definição das equações para os cálculos de probabilidade referentes aos operadores lógicos E e OU. Ao trabalhar com números *fuzzy* triangulares

$P_i (p_{ii}, p_{ti}, p_{fi})$ para caracterizar as possibilidades associadas a cada evento i , identificam que estas operações são expressas por:

$$P^e(p_i, p_t, p_f) = \left(\prod_i p_{ii}, \prod_i p_{ti}, \prod_i p_{fi} \right) \quad 3.9$$

$$P^{ou}(p_i, p_t, p_f) = \left(1 - \prod_i (1 - p_{ii}), 1 - \prod_i (1 - p_{ti}), 1 - \prod_i (1 - p_{fi}) \right) \quad 3.10$$

A fim de validar o uso da FTA baseada em conjuntos *fuzzy*, Suresh; Babar e Venkat Raj (1996) comparam os resultados alcançados na propagação de incertezas em uma árvore de falhas com uso de números *fuzzy* e com a simulação de probabilidades pelo método de Monte Carlo¹⁶, tendo o método *fuzzy* estabelecido menores amplitudes de valores e demandado um tempo de processamento computacional muito menor. Ferdous *et al.* (2009), em uma análise similar, apontam que em determinados contextos os resultados com matemática *fuzzy* podem ser mais precisos que os de simulações de Monte Carlo.

3.3.2.1 – Probabilidade *fuzzy*

A teoria da probabilidade trata de processos randômicos, cujos resultados exatos em experimentos únicos são indeterminados, mas cujos comportamentos em prazos mais longos, com repetições dos experimentos, podem ser descritos (WIERMAN, 2010).

Quando aplicada a situações reais, a abordagem convencional retrata probabilidades por meio de números conhecidos e específicos. No entanto, muitas vezes tal pressuposto se

¹⁶ Simulações de Monte Carlo são métodos probabilísticos para análise de incertezas, baseados na modelagem do sistema, com a identificação das incertezas correlatas, representadas por meio de distribuições de probabilidade baseadas em dados históricos ou subjetivos. O modelo definido, com seus parâmetros de incerteza, passa por múltiplas replicações, gerando informações sobre resultados finais possíveis para o sistema modelado e as probabilidades associadas a tais resultados. (NACHTMANN; NEEDY, 2003).

mostra questionável, visto que os dados para estimativa de probabilidades normalmente são incompletos, imprecisos ou não completamente confiáveis. Zadeh (1984) propõe uma abordagem alternativa para caracterização destas probabilidades, na qual são retratadas como números *fuzzy*.

Durante o desenvolvimento da pesquisa desta tese, no que se refere às consequências relacionadas aos riscos, foi identificada a necessidade de utilização do conceito de probabilidade condicional, que corresponde à probabilidade de determinado evento vir a ocorrer de modo condicionado à ocorrência de outro evento. A notação utilizada para probabilidade condicional é $\text{Prob}(A|B)$, lida como a probabilidade de A dado B (COLETTI; SCOZZAFAVA, 2004).

Zadeh (1984) coloca que, sendo X e Y variáveis que assumem valores em conjuntos distintos e A e B valores *fuzzy* possíveis para X e Y, respectivamente, e sendo FProb a probabilidade *fuzzy* relacionada a determinado evento, tem-se que:

$$\text{FProb}\{X = A, Y = B\} = \text{FProb}\{Y = B\} \otimes \text{FProb}\{X = A | Y = B\} \quad 3.11$$

Coletti e Scozzafava (2004) apontam que a probabilidade do evento condicional $A|B$ deve ser avaliado como algo integral e autônomo, não de modo fragmentado a partir das probabilidades de A e B.

4 – METODOLOGIA DE PESQUISA

O método aplicado para realização desta pesquisa fundamenta-se no *Design Science Research*, metodologia proposta para aplicação em estudos com foco no desenvolvimento de soluções e produtos. Este capítulo apresenta os principais conceitos relacionados a tal metodologia, seguido do relato do método de pesquisa utilizado.

4.1 – DESIGN SCIENCE RESEARCH

Métodos tradicionais de pesquisa são utilizados com o propósito de descrever e explicar processos e fenômenos, não se adequando completamente a pesquisas voltadas para a solução de problemas práticos e para elaboração de métodos e produtos. Por este motivo, buscou-se na literatura uma metodologia mais apropriada para fundamentação desta pesquisa, com a identificação do método denominado *Design Science Research* ou *Constructive Research*¹⁷.

Simon (1996), num trabalho intitulado *The Sciences of the Artificial*, com primeira edição de 1969, estabelece uma diferenciação entre elementos de origem natural e aqueles produzidos pelo homem, artificiais, com propósitos específicos, e questiona se as mesmas formas de racionalização apropriadas para as ciências naturais, ocupadas em estabelecer como elementos naturais funcionam, devem ser aplicadas a ciências de *design*, que tratam de como os elementos artificiais¹⁸.

Enquanto as ciências naturais buscam entender a realidade, desenvolvendo conceitos para caracterizar fenômenos, o *design science* tem por finalidade a criação de algo que colabore em propósitos humanos; enquanto as ciências naturais são baseadas nas atividades de descoberta e justificativa, com a criação de descrições e teorias, o *design science* consiste na construção de artefatos com um propósito específico, com caráter prescritivo, e na avaliação do desempenho destes artefatos no que concerne a tal finalidade, sendo seus resultados analisados mediante critérios de valor e utilidade (MARCH; SMITH, 1995).

¹⁷ Segundo Rocha (2011) e Fazenda (2013), o *Design Science Research* equivale ao que também se denomina na literatura por *Constructive Research*.

¹⁸ Segundo Simon (1996), não existem uma contraposição entre elementos naturais e artificiais, sendo que enquanto os artefatos são adaptados para propósitos humanos específicos, eles necessariamente permanecem respeitando leis naturais, especialmente quanto a sua estrutura e aos ambientes nos quais são implementados.

O propósito do *design science* é a geração de conhecimentos para criação e uso de artefatos na solução de problemas e para melhoria do desempenho das soluções existentes (VAN AKEN, 2004). A pesquisa em *design science* enfatiza a exploração do conhecimento por meio da prática do desenvolvimento de soluções, buscando identificar novas alternativas para solução dos problemas, explicar o próprio processo de exploração e melhorar o método de solução de problemas aplicado (HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009).

Pesquisas efetivas em *design science* devem apresentar contribuições claras relacionadas ao artefato desenvolvido, ao conhecimento envolvido em sua construção e/ou ao conhecimento para sua avaliação (HEVNER *et al.*, 2004). Além disso, o *Design Science Research* deve buscar produzir dois tipos de conhecimento: primeiro, diretrizes e recomendações claras e completas que possam orientar as ações de profissionais na seleção entre soluções e tecnologias diferentes e alternativas, assim como na implementação de sua escolha; segundo, informações claras, precisas e completas sobre o conhecimento criado de modo que este possa ser testado e aprimorado por outros pesquisadores (VENABLE, 2006).

O *Design Science Research* tem se desenvolvido desde a década de 1990, principalmente em pesquisas voltadas para a área de tecnologia da informação, apresentando-se atualmente como uma metodologia de aplicação bem mais abrangente, existindo diversos trabalhos publicados nas áreas de gestão e engenharia (VENABLE, 2006; PEFFERS *et al.*, 2007; HOLMSTRÖM; KETOKIVI; HAMERI, 2009; OYEGOKE, 2011; SILVA; ARANTES, 2016). Neste sentido, Dresch (2013), Fazenda (2013) e Lacerda *et al.* (2013) são autores brasileiros que apresentam o *Design Science Research* para aplicação em pesquisas de engenharia, enquanto Rocha (2011), Cotta (2017) e Gonçalves (2018) apresentam pesquisas de mestrado e doutorado na área de engenharia civil baseadas nesta metodologia implementadas no Brasil.

4.1.1 – *Design Science Research* como método científico

As pesquisas construtivas em *design science* devem ser fundamentadas no arcabouço teórico existente e apresentar relevância prática, assim como a solução desenvolvida precisa se mostrar inovadora e possuir funcionamento prático efetivo e as pesquisas em si

devem gerar contribuições teóricas para o campo de conhecimento envolvido (KASANEN; LUKKA; SIITONEN, 1993).

Segundo Kasanen; Lukka e Siitonen (1993), as características gerais que definem as ciências são a objetividade, o espírito crítico, a autonomia e a progressividade, os quais são atendidos dentro do *Constructive Research* a partir do registro e da avaliação de cada passo estabelecido na construção da solução, o que permitiria a análise crítica e obtenção de resultados similares por outros pesquisadores, e da avaliação dos resultados da solução desenvolvida. Esta avaliação de resultados também responde a critérios de relevância, simplicidade e facilidade de uso, tipicamente utilizados em ciências aplicadas.

A pesquisa em *design science* é uma atividade inerentemente iterativa e incremental. Durante sua implementação, ocorre um aprendizado no qual se buscam maiores informações para fundamentação do próprio processo de desenvolvimento, ao mesmo tempo em que se aperfeiçoam os métodos e o artefato resultante. Ou seja, são originadas informações de retroalimentação, que possibilitam melhorias tanto para o artefato produzido quanto para seu processo de construção (HEVNER *et al.*, 2004).

O trabalho teórico no *design science* é iniciado por uma centelha de ideia sobre um novo conceito para uma tecnologia inexistente ou ainda não aplicada na solução de determinado tipo de problema, em geral originada na recombinação de ideias e conceitos na área do problema, na percepção de novas possibilidades para soluções, na recombinação de tecnologias e soluções existentes, na imaginação de novas tecnologias e na percepção de novas aplicações para tecnologias existentes (VENABLE, 2016).

Durante seus estágios de construção, esta ideia é desenvolvida em detalhes, com o artefato sendo projetado e executado, suas características sendo adicionadas ou suprimidas, novos modelos e representações sendo criados, sempre considerando os objetivos da pesquisa e outros artefatos existentes. Novas compreensões, conceitos e constructos podem surgir dentro campo de aplicação da pesquisa, devendo ser acrescidos e integrados na solução desenvolvida, assim como podendo haver reconceituações do próprio problema estudado (VENABLE, 2016).

O desenvolvimento de soluções não deve se basear somente na experiência do pesquisador, mas deve ser fundamentado de modo rigoroso no conhecimento teórico existente, utilizando a literatura que retrata o estado da arte. As pesquisas de caráter acadêmico envolvendo a solução de problemas devem fazer uso da teoria disponível de um modo:

- Compreensivo, com uma revisão sistemática da literatura existente sobre os aspectos em questão buscando a compreensão do problema e seu contexto;
- Crítico, com a avaliação do valor e das limitações do conhecimento presente na literatura, entre outras coisas, frente às evidências levantadas no ambiente organizacional;
- Criativo, em que não apenas se aplica o conhecimento teórico disponível, mas se busca também construir sobre este conhecimento, transformá-lo, utilizá-lo e acrescentar-lhe de modo a produzir uma solução interessante e diferenciada (VAN AKEN; BERENDS; VAN DER BIJ, 2012).

Além disso, o *Design Science Research* deve se distinguir de processos rotineiros de desenvolvimento de projetos por meio da produção de conhecimento novo e verdadeiro, assumindo o risco intelectual decorrente das situações desconhecidas que extrapolam o estado da arte, e voltado para o interesse de uma comunidade, não tratando somente de um problema pontual, particular, mas buscando soluções para uma classe generalizada de problemas que seja relevante para um conjunto de entes interessados (VAISHNAVI; KUECHLER, 2004).

4.1.2 – Implementação de *Design Science Research*

De acordo com Hevner (2007), o *Design Science Research* se estabelece com a junção de três ciclos de atividades: o ciclo da relevância, que busca os requisitos do ambiente organizacional para a pesquisa e leva os artefatos produzidos para aplicação em campo; o ciclo do rigor, que traz, da base de conhecimentos, teorias e métodos que, junto com experiência, conhecimentos especializados e informações sobre artefatos e processos existentes, fundamentam a pesquisa e depois acrescenta novos conhecimentos ao estado da arte; e o ciclo central de *design*, que mantém iterações envolvendo construção e avaliação dos artefatos e processos.

Com o objetivo de orientar a condução, avaliação e apresentação de pesquisas em *design science*, Hevner *et al.* (2004), partindo do princípio de que “o conhecimento e a compreensão de um problema e sua solução podem ser adquiridos na construção e aplicação de um artefato”, estabelecem uma estrutura conceitual, um conjunto de diretrizes, apresentado no Quadro 4.1.

<i>Linhas de Orientação</i>	<i>Descrição</i>
Diretriz 1 Projeto envolvendo artefato	Pesquisas em <i>design science</i> devem produzir artefatos inovadores, viáveis e com propósito específico na forma de constructos, modelos, métodos ou instanciações.
Diretriz 2 Relevância do problema	O objetivo da pesquisa em <i>design science</i> é desenvolver soluções baseadas em tecnologia para problemas gerenciais importantes e pertinentes.
Diretriz 3 Avaliação do projeto	A utilidade, qualidade e eficácia do artefato desenvolvido devem ser demonstradas rigorosamente por meio de métodos de avaliação bem realizados.
Diretriz 4 Contribuições da pesquisa	Pesquisas efetivas em <i>design science</i> devem prover contribuições claras e verificáveis nas áreas de desenvolvimento do artefato, de sua fundamentação ou da metodologia envolvida, com inovações voltadas tanto para a solução de problemas até então não resolvidos quanto para melhoria da eficácia ou eficiência da solução conhecida.
Diretriz 5 Rigor na pesquisa	A confiança em pesquisas em <i>design science</i> depende da aplicação de métodos rigorosos tanto na construção como na avaliação dos artefatos desenvolvidos, sendo que o artefato deve ser definido, formalmente representado, teoricamente coerente e internamente consistente.
Diretriz 6 Projeto como um processo de busca	A busca por um artefato efetivo requer a disponibilidade e utilização de meios para alcançar os propósitos desejados, em um processo que incorpora ou habilita mecanismos para busca de soluções, ao mesmo tempo em que são satisfeitas as leis relacionadas ao contexto do problema.
Diretriz 7 Comunicação da pesquisa	Os resultados de pesquisas em <i>design science</i> devem ser efetivamente comunicados tanto ao público interessado em seus aspectos técnicos (pesquisadores que podem dar continuidade à pesquisa e profissionais voltados para sua implementação) quanto àquele voltado para as questões gerenciais enfocadas (pesquisadores ligados ao contexto do problema e profissionais responsáveis pela decisão sobre a implementação do artefato em suas organizações).

Quadro 4.1 – Linhas de orientação em *Design Science Research* (fonte: HEVNER *et al.*, 2004)

Tratando de sua aplicação no âmbito da tecnologia da informação, March e Smith (1995) apontam que os artefatos criados no *Design Science Research* podem ser caracterizados em

quatro tipos: constructos, modelos, métodos e implementações¹⁹. Generalizando as definições apresentadas nesta publicação, tem-se:

- Constructos – Elementos básicos em uma determinada disciplina, representando o vocabulário, os conceitos e conhecimentos aplicados para descrição de problemas e especificação de soluções em um dado campo de aplicação;
- Modelos – Conjuntos de proposições ou afirmações que expressam relações entre constructos, buscando descrever e representar problemas e soluções em análise; embora possa apresentar simplificações e imprecisões nos detalhes envolvidos, a *Design Science Research* propõe que os modelos desenvolvidos devem capturar a estrutura da realidade de modo a se mostrarem, principalmente, úteis;
- Métodos – Conjuntos de atividades sequenciais orientados para a realização de atividades específicas, baseados em constructos e modelos correlatos, podendo ser identificados como criações características de *design science*;
- Implementações – Estabelecem-se a partir da aplicação dos artefatos em seu contexto, buscando demonstrar a viabilidade e efetividade dos constructos, modelos e métodos envolvidos na execução de determinada tarefa; as implementações podem ser operacionalizadas mesmo antes da completa definição dos artefatos que o fundamentam, servindo como base para o desenvolvimento destes.

Com base na análise de publicações sobre teoria e prática na aplicação do *Design Science Research*, tanto na área de sistemas de informação como em engenharia, Peffers *et al.* (2007) identifica seis etapas comuns nos métodos apresentados²⁰. São eles:

¹⁹ March; Smith (1995) também utiliza o termo *instantiation*, normalmente aplicado na área de tecnologia da informação. Segundo Lacerda *et al.* (2013), a instanciação “consiste no conjunto coerente de regras que orientam a utilização dos artefatos (constructos, modelos e métodos) em um determinado ambiente real”, informando “como implementar ou utilizar determinado artefato e seus possíveis resultados”.

²⁰ Os trabalhos que fundamentam Peffers *et al.* (2007) na definição destas etapas são Hevner *et al.* (2004) e: ARCHER, L.B. Systematic method for designers. In: N. Cross (ed.), **Developments in Design Methodology**, p.57-82. London: John Wiley, 1984. EEKELS, J.; ROOZENBURG, N.F.M. A methodological comparison of the structures of scientific research and engineering design: Their similarities and differences. **Design Studies**, v. 12, n. 4, p. 197-203, 1991. NUNAMAKER, Jay F., Jr.; CHEN, Minder; PURDIN, Titus D. M. Systems development in information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 7, n. 3, p. 89-106, Winter 1990-1991. M. E. Charpe, 1991. ROSSI, M.; SEIN, M.K. Design research workshop: A proactive research approach. Paper presented at the **Twenty-Sixth Information Systems Research Seminar in Scandinavia**, Information Systems Research in Scandinavia Association, Haikko, Finland, August 9-12, 2003.

- Identificação de problema e motivação: definição do problema relacionado à pesquisa, com a caracterização de seu contexto, e justificativa do valor de sua solução, tanto na motivação da pesquisa como no esclarecimento das razões do pesquisador no entendimento do problema;
- Definição de objetivos para uma solução: definição dos objetivos da solução envolvida na pesquisa a partir do problema identificado e do conhecimento disponível e aplicável, inclusive sobre o contexto atual do problema e sobre soluções existentes e sua eficácia;
- Projeto e desenvolvimento: criação do artefato, incluindo atividades de determinação de suas funcionalidades desejadas, sua arquitetura e, então, o artefato em si, tomando por base o conhecimento teórico existente;
- Demonstração: uso do artefato para solução de uma ou mais circunstâncias do problema, podendo envolver experimentos, simulações, estudos de caso, provas ou outras atividades apropriadas, com a demonstração de sua aplicação;
- Avaliação: observação, monitoramento e medição de como o artefato proporciona solução ao problema, envolvendo a comparação dos objetivos definidos para a solução e os resultados alcançados na demonstração do uso do artefato; ao final desta etapa, deve ser decidido se a pesquisa deve retornar à etapa de “projeto e desenvolvimento” para busca de melhorias na efetividade do artefato, ou se pode ser concluída, passando à etapa de “comunicação”, com eventuais melhorias deixadas para pesquisas futuras;
- Comunicação: divulgação do problema e sua importância, o artefato, sua utilidade e inovação, o rigor de seu desenvolvimento e sua efetividade, para pesquisadores e outros públicos pertinentes, inclusive profissionais das áreas relacionadas ao problema.

A pesquisa em *design science* possui um caráter iterativo e incremental, ocorrendo um aprendizado originado nos resultados da avaliação, com melhorias tanto para o artefato quanto para seu processo de desenvolvimento (HEVNER *et al.*, 2004). A atividade de construção do artefato em si gera um ganho de entendimento, com ciclos envolvendo as

TAKEDA, Hideaki; VEERKAMP, Paul; TOMIYAMA, Tetsuo; YOSHIKAWA, Hiroyuki. Modeling design processes. **AI Magazine**, v. 11, n. 4 (Winter 1990), p. 37-48. American Association for Artificial Intelligence, 1990.

WALLS, Joseph G.; WIDMEYER, George R.; EL SAWY, Omar A. Building an information system design theory for vigilant EIS. **Information Systems Research**, v. 3, n. 1, p. 36-59. Institute of Management Sciences, 1992.

atividades de avaliação e desenvolvimento assim como a revisão de aspectos relacionados ao problema (VAISHNAVI; KUECHLER, 2004).

Nesta direção, Van Aken; Berends e Van Der Bij (2012) apresentam o termo “*redesign reflexivo*”, que busca generalizar uma solução inicialmente desenvolvida para determinado tipo de problema, específico de uma organização ou setor de negócio, para proposições sobre um escopo mais amplo relacionado ao problema em questão (ver Figura 4.1). Venable (2006) aponta a importância para pesquisas em *design science* da generalização dos artefatos produzidos, com sua aplicação em outros contextos.

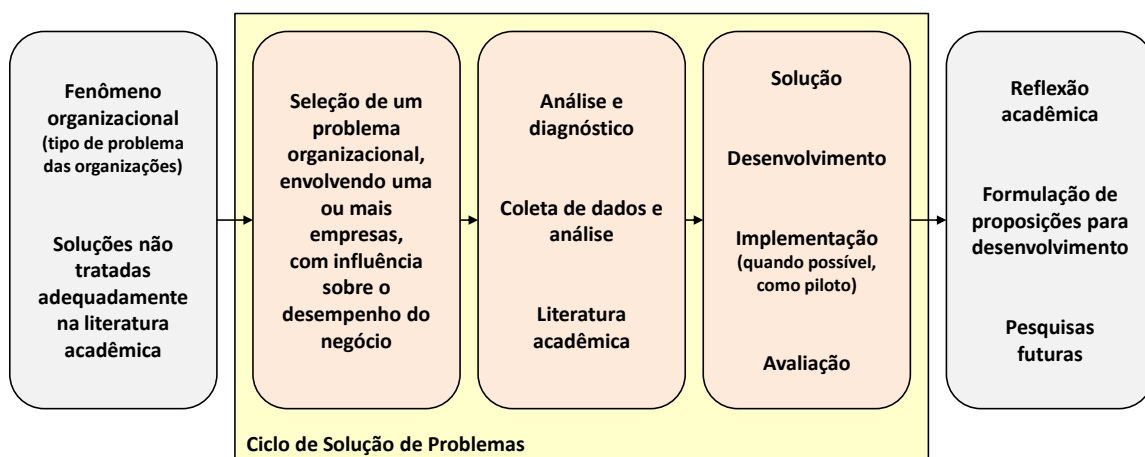


Figura 4.1 – Redesign reflexivo (fonte: VAN AKEN; BERENDS; VAN DER BIJ, 2012)

A avaliação é um componente crucial do processo de pesquisa, sendo que a utilidade, qualidade e eficácia do artefato desenvolvido devem ser demonstradas a partir de métodos de avaliação bem aplicados, incluindo aspectos relacionados a funcionalidade, completude, consistência, acurácia, desempenho, confiabilidade, facilidade de uso, adequação e integração às organizações e outros atributos de qualidade pertinentes (HEVNER *et al.*, 2004). O artefato também pode ser avaliado quanto a seus custos, praticidade organizacional e outros critérios, inclusive com relação a outras potenciais soluções tecnológicas para alívio dos mesmos problemas enfocados (VENABLE, 2006).

Hevner *et al.* (2004) apresentam diversos métodos disponíveis para avaliação de artefatos criados em *design science*, sumarizados no Quadro 4.2, e aponta que a seleção do método de avaliação deve ser condizente com o artefato desenvolvido e com a métrica de avaliação selecionada.

<i>Tipos de Avaliação</i>	<i>Métodos de Avaliação</i>
Observacional	Estudos de caso – Estudo do artefato em profundidade no ambiente relacionado ao problema
	Estudos de campo – Monitoramento do uso do artefato em múltiplos projetos
Analítico	Análise estática – Exame da estrutura do artefato quanto a aspectos estáticos (por exemplo, complexidade)
	Análise estrutural – Estudo de adequação do artefato quanto a sua arquitetura técnica
	Otimização – Demonstração das propriedades ótimas inerentes ao artefato ou caracterização dos limites de excelência em sua aplicação
	Análise dinâmica - Estudo do artefato em uso quanto a aspectos dinâmicos (por exemplo, desempenho)
Experimental	Experimento controlado – Estudo do artefato em ambiente controlado quanto a suas qualidades (por exemplo, utilidade)
	Simulação – Uso do artefato com dados artificiais
Testes	Teste funcional – Aplicação do artefato em suas interfaces para identificação de falhas e defeitos
	Teste estrutural – Aplicação de testes quantitativos para análise de resultados na implementação do artefato
Descritivo	Argumento informado – Uso de informações relevantes da base de conhecimento disponível para construção de argumentos convincentes sobre a utilidade do artefato
	Cenários – Construção de cenários detalhados para aplicação do artefato a fim de demonstrar sua utilidade

Quadro 4.2 – Métodos de avaliação empregados em *Design Science Research*
(fonte: HEVNER *et al.*, 2004)

Segundo Hevner *et al.* (2004), métodos descritivos de avaliação devem ser utilizados para artefatos particularmente inovadores para os quais outras formas de avaliação não possam ser aplicadas, sendo que avaliações quantitativas dependem sempre da existência de uma métrica de análise apropriada.

4.2 – CARACTERIZAÇÃO DO MÉTODO DE PESQUISA

De modo condizente com os princípios estabelecidos por Hevner *et al.* (2004), baseada nas etapas definidas por Peffers *et al.* (2007), complementadas pelas informações de Kasanen; Lukka e Siitonen (1993), Hevner *et al.* (2004) e Van Aken; Berends e Van Der Bij (2012), a pesquisa foi realizada segundo as atividades esquematizadas na Figura 4.2.

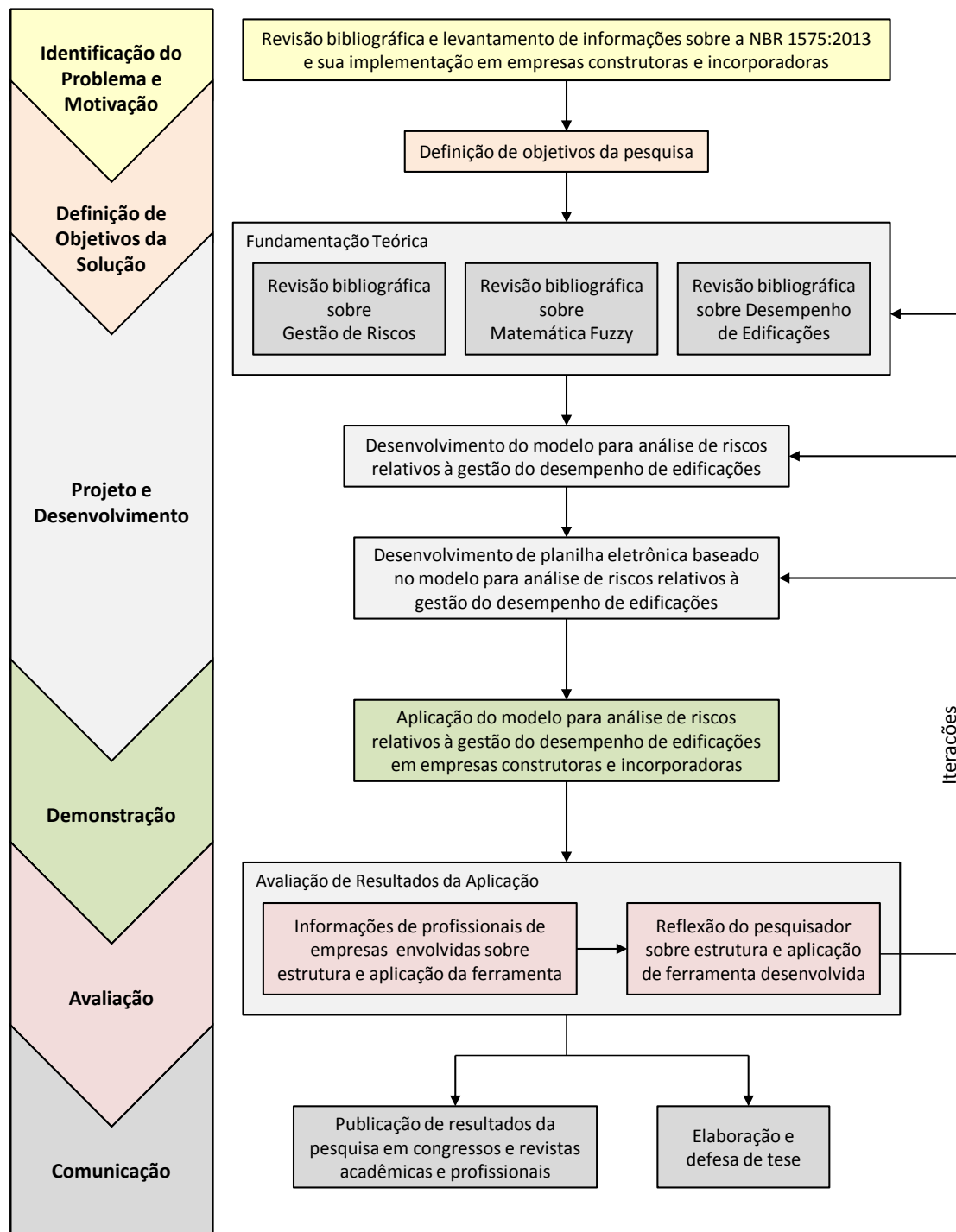


Figura 4.2 – Estrutura e atividades referentes ao método de pesquisa aplicado (fonte: autor)

A primeira etapa, de identificação do problema e motivação, foi iniciada com uma análise da bibliografia disponível a respeito das normas NBR 15575 e sua aplicação por empresas construtoras e incorporadoras, especialmente quanto às dificuldades identificadas neste processo.

Influenciada pelo paralelo entre desempenho e requisitos de clientes apontado por Souza *et al.* (1994), a revisão bibliográfica buscou, num primeiro momento, avaliar como sistemas de gestão da qualidade implementados por empresas construtoras e incorporadoras poderiam ser utilizados para garantir o desempenho das edificações habitacionais executadas. Parte deste estudo inicial resultou em um artigo publicado em congresso acadêmico nacional, sobre a possibilidade de utilização de processos de sistemas de gestão da qualidade para atendimento às normas NBR 15575 (OTERO; SPOSTO, 2014).

Colaborou na fundamentação desta etapa, a atividade profissional do pesquisador, envolvendo consultoria e auditoria de sistemas de gestão da qualidade em empresas construtoras e incorporadoras no estado de Goiás e no Distrito Federal, que permitiu caracterizar, de uma maneira geral, o comportamento e a situação destas organizações perante as normas de desempenho. Parte dos resultados desta caracterização também foi publicada em artigo, com uma caracterização da atuação de empresas construtoras e incorporadoras de Goiânia – GO frente às normas de desempenho (OTERO; SPOSTO, 2016a).

A partir desta análise inicial, verificou-se a abrangência e complexidade das ações relacionadas à garantia do desempenho de edifícios habitacionais, ao mesmo tempo em que pode ser observada a adoção, por parte de empresas construtoras e incorporadoras, de soluções fragmentadas e pontuais, comumente definidas sem conhecimento adequado do requisito de desempenho, da real necessidade de alteração dos processos construtivos anteriores, nem da efetividade da solução adotada. Também foram identificadas sérias limitações de informações e recursos nestas empresas.

Algumas questões surgidas durante esta análise estabeleceram a temática desta pesquisa, envolvendo: como aplicar as normas NBR 15575 de modo sistemático e fundamentado; como estabelecer prioridades em sua aplicação, buscando identificar as fragilidades das empresas construtoras e incorporadoras e seus processos, assim como os níveis de relevância relacionados aos diversos requisitos; como selecionar ações para garantia do desempenho das edificações considerando aspectos técnicos e financeiros, especialmente quanto à efetividade destas ações.

Ao atuar em um grupo de trabalho para revisão da norma NBR ISO 9001, durante a elaboração de sua versão 2015, o pesquisador inteirou-se da inclusão do pensamento baseado em risco como um dos fundamentos para sistemas de gestão da qualidade (ABNT, 2015) e, com isso, surgiu a ideia de se utilizar a gestão de riscos como base para a tomada de decisões para a garantia do desempenho de edificações.

Após uma revisão bibliográfica sobre gestão de riscos, incluindo a norma NBR ISO 31000, se estabeleceu o objetivo geral desta pesquisa: o desenvolvimento de uma ferramenta para auxiliar empresas construtoras e incorporadoras na tomada de decisões para garantia do desempenho de suas edificações baseada na gestão dos riscos correlatos, considerando a identificação de aspectos prioritários, para melhor uso de recursos disponíveis, e o planejamento, implantação e controle das ações definidas. Posteriormente, este objetivo inicial foi detalhado, resultando nos objetivos geral e específicos citados no item 1.2 desta tese.

As etapas subsequentes de projeto e desenvolvimento, demonstração e avaliação foram desenvolvidas em três ciclos, em concordância com o caráter iterativo e incremental da pesquisa em *design science* apontado por Hevner *et al.* (2004) e Vaishnavi e Kuechler (2004). Estas atividades foram estabelecidas com foco na definição do modelo de análise de riscos a ser aplicado para fundamentar a ferramenta de gestão do desempenho de edificações e no desenvolvimento de uma ferramenta baseada em planilha eletrônica para aplicação deste modelo, a partir da identificação de situações práticas que requeriam alterações e novas características para o objeto em desenvolvimento.

Durante o primeiro ciclo, houve um aprofundamento da análise bibliográfica referente à gestão de riscos, a fim de se construir um modelo teórico para estruturação da ferramenta de análise, e às normas de desempenho, especialmente quanto a aspectos jurídicos sobre a responsabilidade de empresas construtoras e incorporadoras e sobre a disponibilidade de informações sobre o desempenho de sistemas de vedações verticais.

Foi evidenciado que dados históricos sobre características e riscos associados ao desempenho de edificações eram limitados, concentrados em trabalhos sobre patologia de construções, assistência técnica e avaliação pós-ocupacional. Todavia, também foi

identificada a alternativa de se fazer uso da Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, com uso de conhecimentos especializados dos profissionais envolvidos nas análises de risco.

Com base no modelo de gestão de riscos definido pela norma NBR ISO 31000 e utilizando a Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, foi elaborado um modelo de gestão de riscos relacionados ao desempenho de edificações para estruturação da ferramenta a ser desenvolvida e, em sequência, a primeira versão da ferramenta em si.

No segundo ciclo de desenvolvimento, houve a incorporação da técnica de Análise de Árvore de Falhas – FTA ao modelo, em função da necessidade de consideração da interação entre eventos para o cálculo da probabilidade associada ao risco. Também foram introduzidos os coeficientes de efetividade relacionados às ações de contenção e o uso da probabilidade condicional associada às consequências do risco. A ferramenta, conforme desenvolvida até aquele momento, foi apresentada em um congresso acadêmico por meio de artigo (OTERO; SPOSTO, 2016b).

Além disso, ao longo dos três ciclos de desenvolvimento, inclusive no último, antes de sua validação, a ferramenta foi aprimorada, passando por correções pontuais e foram introduzidas planilhas de análise dos dados. As características finais do modelo e da ferramenta desenvolvidos são apresentadas no Capítulo 4.

Os estudos bibliográficos realizados durante esta pesquisa fundamentaram-se nos portais Periódicos CAPES, InfoHab e Google Acadêmico, a partir de revisões bibliográficas e mapeamentos de literatura publicadas, como Chan; Chan e Yeung (2009), Rezakhani (2012) e Taroun (2014), e de palavras-chave ligadas aos temas desempenho de edificações, gestão de riscos em construção e conjuntos *fuzzy*.

Nos três ciclos de desenvolvimento, as atividades de demonstração e avaliação envolveram profissionais de empresas incorporadoras e construtoras. As análises realizadas tinham como base obras reais, situadas na região metropolitana de Goiânia - GO, uma em execução e as demais em fase de projeto, sob responsabilidade de cada empresa. A pesquisa envolveu quatro profissionais, com dois deles atuando nos dois primeiros ciclos de desenvolvimento do modelo e da ferramenta, enquanto outros dois participaram apenas do ciclo final, voltado para validação da ferramenta.

Para embasamento destas avaliações, foram realizadas visitas para apresentação dos conceitos e estrutura relativos ao modelo de gestão de riscos proposto para abordagem do desempenho de edificações habitacionais, assim como sobre o funcionamento da ferramenta desenvolvida, num total de aproximadamente 64 horas. A partir destas apresentações, houve a aplicação da ferramenta, em sua situação de desenvolvimento em cada momento, direcionada para os requisitos estabelecidos na NBR 15575 para sistemas de vedações verticais, buscando uma avaliação do funcionamento, da efetividade e da facilidade de uso da ferramenta como direcionador da tomada de decisões relacionadas à gestão do desempenho dos edifícios.

A seleção de empresas participantes desta pesquisa foi definida com base nos seguintes critérios: atuação na construção de edifícios habitacionais de múltiplos pavimentos; execução de obras na cidade de Goiânia - GO; uso de métodos construtivos característicos das obras executadas nesta localidade; empresas com processos administrativos e de construção controlados, com base na certificação de seus sistemas de gestão da qualidade; demonstração de interesse na implantação de ações voltadas para atendimento às normas NBR 15575; e, disponibilidade de tempo de profissionais com conhecimento relevante e suficiente dos sistemas construtivos utilizados pela empresa e seu desempenho.

Os profissionais que participaram desta pesquisa atuam nas funções de representantes da direção para sistemas de gestão da qualidade (os dois que participaram dos primeiros ciclos de desenvolvimento), de coordenador de projetos e engenheiro e de supervisor de incorporação (estes últimos responsáveis pela validação da ferramenta).

Como última etapa desta pesquisa, foi realizada uma avaliação formal do modelo e da ferramenta desenvolvidos buscando sua validação, envolvendo dois profissionais atuantes em empresas construtoras e incorporadora, sem contato anterior com a ferramenta. Esta avaliação envolveu respostas a questões sobre relevância da ferramenta como parte da gestão do desempenho das edificações; o entendimento do modelo de gestão proposto; a facilidade de uso da ferramenta; as principais dificuldades para aplicação da ferramenta; a utilidade da ferramenta, a confiabilidade de seus resultados e a possibilidade de sua incorporação nas rotinas de análise de empresa. O formulário utilizado nesta avaliação é apresentado no Apêndice B.

Esta avaliação foi realizada somente após aplicação, por parte destes profissionais, da ferramenta a requisitos de desempenho de sistemas de vedações verticais, descritos na parte 4 das normas NBR 15575. A cada profissional avaliador foi solicitada a seleção de cinco requisitos, para os quais deveriam identificar e analisar os riscos correlatos, para só então avaliarem a ferramenta. O Apêndice E desta tese sintetiza aspectos teóricos relacionados aos requisitos selecionados pelos profissionais.

Infelizmente, em função dos períodos comuns no processo de desenvolvimento de projetos e construção de edifícios e do prazo para conclusão desta pesquisa, não foi possível acompanhar a implementação da terceira etapa do modelo proposto, que envolve o monitoramento das ações propostas para abordagem dos riscos.

Além disso, foi realizada uma validação matemática da planilha desenvolvida com a realização dos cálculos de consequências, probabilidades e custos de ações relativos a um dos casos relatados por um dos avaliadores nesta etapa final da pesquisa. O memorial destes cálculos é apresentado no Apêndice D, referenciando o risco identificado na Figura C.1 e apresentando resultados iguais.

Com relação à etapa de comunicação, parte dos requisitos para conclusão deste curso de doutorado se refere à publicação desta tese e ao encaminhamento de artigo para publicação em revista técnica relevante. Além disto, como citado anteriormente, parte dos resultados alcançados têm sido publicados em artigos para congressos técnicos (OTERO; SPOSTO, 2014; 2016a; 2016b).

5 – APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DE RESULTADOS

Este capítulo trata dos resultados alcançados na pesquisa realizada, dividindo-se em dois tópicos: a caracterização do modelo de gestão da qualidade desenvolvido para abordagem do desempenho de edificações habitacionais e da ferramenta à qual ele dá origem, incluindo os critérios para sua aplicação; e, a apresentação dos resultados da aplicação da ferramenta para fundamentação de sua validação e os resultados desta avaliação.

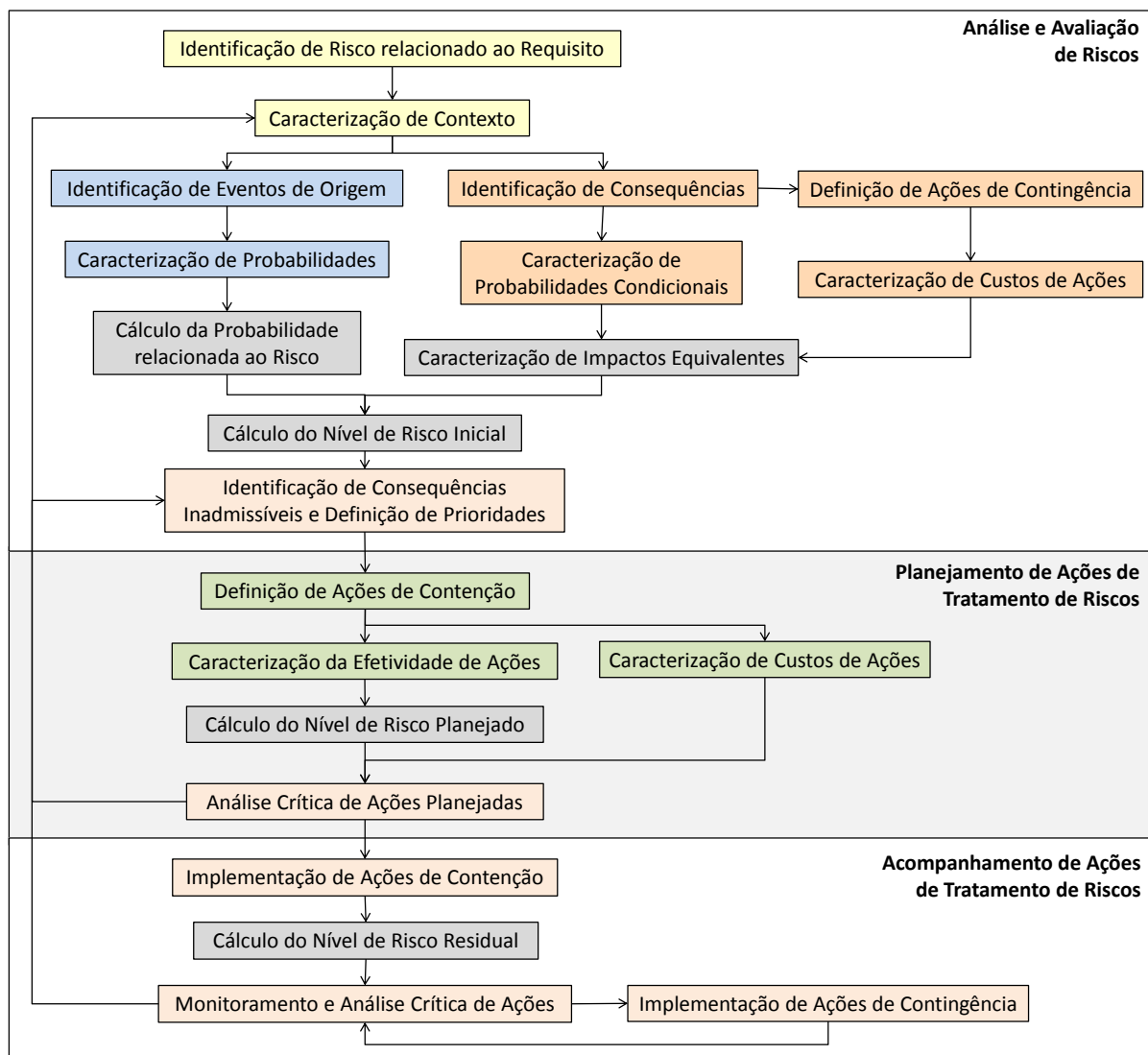
5.1 – DESENVOLVIMENTO DA FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS

A ferramenta de gestão de risco desenvolvida foi construída em duas fases, com a definição do modelo de gestão de risco para fundamentação da ferramenta e, a partir dele, a elaboração da ferramenta em si. As características do modelo e da ferramenta desenvolvidos são retratadas a seguir.

5.1.1 – Modelo de gestão de riscos utilizado

O modelo de gestão de riscos desenvolvido nesta pesquisa se fundamenta naquele definido pela NBR ISO 31000, apresentado na Figura 3.1, embora não sejam incorporados explicitamente aspectos relacionados a alguns dos fundamentos da gestão de riscos propostos, tais como política, objetivos, atribuições, entre outros. O propósito desta pesquisa é o desenvolvimento de uma ferramenta prática que possa fundamentar a análise de riscos em empresas construtoras e incorporadoras que *a priori* não possuem conhecimento organizacional neste sentido e, neste momento, dificilmente determinariam tais fundamentos de modo apropriado e significativo.

O modelo desenvolvido, cujos processos são apresentados na Figura 5.1, reflete as atividades de estabelecimento de contexto e identificação de riscos, análise de riscos, avaliação de riscos e tratamento de riscos, todos monitorados e análise criticamente e subsidiados com informações a partir de comunicação e consulta. Nele são estabelecidas três etapas distintas, cíclicas e relacionadas entre si, correspondentes à identificação, análise e avaliação dos riscos; planejamento de ações para tratamento de riscos, e; acompanhamento das ações de tratamento de riscos.



Relações com Ferramenta Desenvolvida:

- | | |
|---|--|
| Caracterização do Risco / Contextualização | Cálculo e Apresentação de Níveis de Risco |
| Caracterização de Consequências | Planejamento e Monitoramento de Ações de Contenção |
| Caracterização dos Eventos de Origem | Implementação de Atividades (prática na organização) |

Figura 5.1 – Fluxo de processos do modelo de gestão de riscos desenvolvido (fonte: autor)

A etapa de identificação, análise e avaliação dos riscos engloba a identificação dos riscos a serem avaliados, a caracterização dos eventos de origem dos riscos junto com suas probabilidades associadas, a determinação das possíveis ações de contingenciamento e demais consequências relacionadas aos riscos, ao cálculo dos níveis de risco e da avaliação dos riscos para definição de prioridades na tomada de ações de contenção para tratamento dos riscos.

Ao se definir pela tomada de ações de contenção frente a determinado risco, a etapa de planejamento de ações para tratamento do risco envolve o levantamento das possíveis ações de contenção cabíveis, seus custos e os níveis de efetividade esperados para tais ações, de modo a se definir quais as ações devem ser implementadas e qual o nível de risco esperado como resultado deste planejamento.

A terceira etapa trata do acompanhamento da implantação das ações de contenção planejadas, com o monitoramento de seus custos e de sua efetividade, de maneira que se possa caracterizar o nível de risco residual efetivamente alcançado. Com base neste monitoramento, pode se decidir pela necessidade de outras ações para contenção do risco ou pela abordagem de outros riscos, estabelecendo assim o caráter cíclico e incremental da ferramenta.

Neste modelo se prevê a utilização da matemática *fuzzy* para definição de probabilidades e consequências associadas aos riscos, com o cálculo dos níveis de risco resultantes, e dos custos e níveis de efetividade relacionados às ações de mitigação, assim como em índices de apoio a decisões sobre planejamento e controle das ações de tratamento.

Todos os números *fuzzy* a serem utilizados no modelo são caracterizados por funções de pertinência triangulares e as operações aritméticas devem ser realizadas conforme as equações 3.2 e 3.3. Nas operações de multiplicação, deve ser feito uso do método de aproximação dos resultados para números *fuzzy* triangulares, conforme equação 3.5. A definição das funções de pertinência relacionadas a probabilidades e efetividade das ações de contenção ocorre inicialmente de modo arbitrário pelo pesquisador, com base nos critérios citados por Klir e Yuan (1995), havendo a possibilidade de ajuste²¹.

Já as funções de pertinência relacionadas a valores financeiros de consequências esperadas e de custos de ações de contenção e contingência são definidas, também arbitrariamente, pelos profissionais responsáveis pela análise, em um processo de visualização horizontal, com a definição do intervalo de base e da identificação do viés do valor de topo (menor valor, médio ou maior valor).

²¹ As alterações das funções de pertinência devem ser realizadas na planilha “valores de referência”, última planilha do arquivo da ferramenta desenvolvida.

5.1.2 – Caracterização da ferramenta de gestão de riscos

Com base neste modelo, a ferramenta de gestão de riscos foi estruturada em uma planilha eletrônica, padrão *.xlsx*, elaborada com o *software* Microsoft Office Excel 2007. Em sua interface com o usuário, a ferramenta se apresenta como formulários, com campos a serem preenchidos com diferentes informações relativas aos riscos analisados, sendo que os valores numéricos utilizados para cálculo permanecem ocultos.

Existem outras alternativas computacionais com aplicações específicas baseadas em lógica *fuzzy*. Sivanandam; Sumathi e Deepa (2007), Debnath *et al.* (2016) e Elbarkouky *et al.* (2016) utilizam o *software* MATLAB, por exemplo. A opção pela planilha eletrônica decorreu da previsão de um nível reduzido de complexidade na estruturação da ferramenta; da possibilidade de adaptações específicas, especialmente quanto à apresentação de informações para análise e avaliação dos riscos; do conhecimento universal sobre seu uso e de sua disponibilidade para o público que poderá utilizar a ferramenta desenvolvida.

A versão final da planilha desenvolvida encontra-se disponível no endereço eletrônico <https://drive.google.com/open?id=18nWmxRXPscASIJTF377WJTDmqIWi4_s->. A fim de impedir alterações não intencionais que prejudiquem seu funcionamento, esta planilha está bloqueada de modo a permitir apenas seu preenchimento e visualização. Caso haja interesse na edição de seu formato e do conteúdo lógico, a senha para seu desbloqueio é *rmsposto*.

O arquivo disponibilizado para uso permite a avaliação simultânea de 40 riscos distintos, tendo em conta o número de planilhas de gestão de riscos nele inclusas. Este número foi limitado em razão do tamanho do arquivo, que se apresenta com cerca de 13 MB. Caso o usuário busque analisar um número maior de riscos, a planilha pode ser ampliada ou, preferencialmente, pode ser considerada a fragmentação da análise para grupos de riscos correlatos, tendo as ações de contenção envolvidas como referência principal para definição destes grupos.

A ferramenta desenvolvida é composta por planilhas de gestão de riscos, que retratam o modelo desenvolvido e são voltadas para a análise e acompanhamento de riscos específicos. Há também planilhas auxiliares para planejamento de ações de contenção de

riscos e para subsídio de avaliações dos riscos. As planilhas de gestão de risco foram construídas em seis blocos de informações, apresentados na Tabela 5.1. O Apêndice A desta tese apresenta um espelho desta planilha.

<i>Bloco de Informações</i>	<i>Descrição</i>
Bloco 1 Caracterização do Risco	Campos para registro do requisito normativo analisado e para descrição do risco correlato identificado.
Bloco 2 Contextualização	Campos para caracterização do sistema construtivo envolvido, detalhado em termos de materiais e componentes, recursos humanos, máquinas e equipamentos, projetos e informações de referência, métodos operacionais e executivos, medição e controle, fatores ambientais e manutenção, conforme pertinente, e para caracterização do nível de conhecimento da organização com relação ao risco analisado.
Bloco 3 Consequências relacionadas ao Risco	Campos para registro das consequências identificadas e das ações de contingência planejadas, detalhadas quanto tipo de impacto ou ação, seu impacto financeiro equivalente e sua probabilidade condicionada à ocorrência do risco.
Bloco 4 Eventos de Origem do Risco	Campos para determinação destes eventos, com a caracterização do tipo de evento, suas probabilidades e suas conexões com os demais eventos, refletindo a árvore de falhas determinada para o risco.
Bloco 5 Níveis de Risco	No qual são apresentados todos os resultados obtidos na ferramenta, incluindo os níveis de risco original, planejado e efetivado, as probabilidades e os custos das ações de tratamento associadas ao risco.
Bloco 6 Ações de Contenção para Eventos de Origem	Campos para identificação das ações para tratamento do risco, com a caracterização de sua efetividade e de seus custos, assim como sua situação de planejamento e implantação.

Tabela 5.1 – Blocos de formação da planilha de gestão de riscos desenvolvida
(fonte: autor)

A estrutura lógica e matemática destes blocos de informação das planilhas de gestão de riscos, seus campos de preenchimento e a sua relação com as planilhas auxiliares, assim como os critérios para sua aplicação, são apresentados em seguida.

A análise dos riscos deve ser realizada considerando o contexto de uma obra específica, sendo que informações relacionadas a sua situação de desenvolvimento e sobre o desempenho de obras similares anteriores deverão ser utilizadas para fundamentação desta análise. A aplicação da ferramenta pode se dar em qualquer momento do ciclo de construção da obra analisada, no entanto, quanto mais tarde a análise for realizada, mais restritas e dispendiosas se tornam as ações para abordagem dos riscos.

Os exemplos apresentados nos itens a seguir se referem a uma das aplicações da ferramenta pelos profissionais responsáveis por sua validação, com pequenas alterações e complementações para facilidade de leitura. Todas as aplicações realizadas para validação encontram-se sintetizadas no item 5.2.1 e, em suas configurações originais, estão disponíveis para análise no Apêndice C.

5.1.2.1 – Caracterização do risco

Os dois primeiros blocos da planilha de gestão de riscos têm por finalidade registrar o contexto considerado no momento da análise de cada risco. O primeiro deles inclui campos para caracterização do requisito de desempenho da NBR 15575 abordado e do risco correlato selecionado para análise, como apresentado no Quadro 5.1.

1 – CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 – Requisito Normativo	
NBR15575-4, 12.3.2 Desempenho acústico para ruídos aéreos	
1.2 – Descrição do Risco	
Não atendimento ao desempenho acústico para conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($R_w < 45\text{dB}$)	
2 – CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 – Caracterização de Sistema Construtivo	
Parede de bloco de concreto espessura 9 cm, revestida com argamassa de cal, cimento e areia espessura 1,5cm para cada lado com acabamento final em pintura acrílica sobre massa com porta de vedação sarrafeada sem preenchimento.	
2.1.1 - Materiais e Componentes	Bloco de concreto, argamassa de cal-cimento-areia, porta-pronta com portal maciço e porta sarrafeada sem preenchimento total
2.1.2 - Recursos Humanos	Mão de obra de pedreiro de alvenaria, de pedreiro de reboco, de pintor e de instalador de portas, instruídos por procedimento documentado de sistema de gestão de qualidade (PE's e FI's)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Projeto de arquitetura e de marcação e elevação de alvenaria
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Convencional, com foco na estanqueidade externa (água), e na produtividade da equipe
2.1.6 - Medição e Controle	Por ficha de inspeção de serviço (FI's específicas para cada tipo de serviço)
2.1.7 - Fatores Ambientais	-
2.1.8 - Manutenção	-
2.2 – Nível de Conhecimento	
Alto	Participação em palestras e contatos com projetistas

Quadro 5.1 – Exemplo da identificação de riscos e contextualização em planilha (fonte: autor)

O risco analisado deve ser determinado, preferencialmente, a partir do histórico de desempenho de obras similares e de preocupações específicas do avaliador quanto ao desempenho da obra analisada. Para fundamentar a seleção dos riscos a serem analisados, podem ser utilizadas análises preliminares, de caráter qualitativo ou semi-qualitativo, com uso de técnicas como *brainstorming*, Delphi, Análise Preliminar de Riscos – APR, matriz de probabilidade e consequência e Análise de Modos de Falhas e Efeitos – FMEA, entre outros (ABNT, 2012).

Durante esta definição, os riscos mais prontamente identificáveis são aqueles que refletem falhas diretas no cumprimento de requisitos, que podem ser fracionados em função de sua natureza e complexidade. No caso do desempenho acústico de sistemas de vedação verticais para ruídos aéreos, por exemplo, que envolve diferentes critérios de desempenho para diferentes situações (ABNT, 2013b), poderia ser analisado o risco de “não atendimento aos requisitos de desempenho acústico para paredes internas” ou, de modo mais específico, o risco de “não atendimento ao requisito de desempenho acústico para parede entre unidades habitacionais autônomas quando envolver pelo menos um dormitório”. Em alguns casos, a avaliação dos requisitos de desempenho pode envolver mais de uma das partes das normas NBR 15575, como nos casos de segurança em incêndios e desempenho térmico.

5.1.2.2 – Contextualização da análise do risco

O segundo bloco de informações, conforme apresentado no Quadro 5.1, traz campos para descrição dos sistemas construtivos e outros aspectos relacionados com o risco analisado. Numa adaptação da estrutura de identificação de causas denominada 6M, apresentam-se campos para caracterização de materiais e componentes, recursos humanos, máquinas e equipamentos, projetos e informações de referência, métodos executivos e de operação, métodos de medição e controle, fatores ambientais e aspectos de manutenção e uso.

A caracterização do contexto serve como referencial para análise do risco, devendo ser realizada por meio da descrição da situação da obra, das soluções construtivas adotadas e dos processos implementados na empresa no que se refere aos principais aspectos relacionados ao risco analisado, incluindo principalmente informações que fundamentem a

determinação dos eventos de origem do risco, suas probabilidades, das consequências associadas ao risco e das ações de mitigação correlatas.

Esta caracterização do contexto tem por finalidade trazer à lembrança dos avaliadores aspectos importantes que possam influenciar o desempenho, especialmente sobre histórico e referencial bibliográfico existente, assim como sobre o nível de confiança que repousa sobre projetos e informações de referência, métodos executivos e de operação, materiais e componentes, mão de obra, máquinas e equipamentos, métodos de medição e controle, aspectos ambientais e manutenção e uso.

Além disso, tem a função de registrar as informações utilizadas na definição das probabilidades e consequências relacionadas ao risco. No caso apresentado no Quadro 5.1, por exemplo, não foram identificadas informações relativas a máquinas e equipamentos, fatores ambientais e manutenção, consideradas não pertinentes ao risco analisado.

Além disso, como parte deste contexto, com base no conceito de incerteza epistemológica e na recomendação de Taroun (2014) para que o nível de conhecimento e experiência dos especialistas responsáveis pela análise seja incorporado na avaliação dos riscos, também se estabelecem campos para caracterização do nível de conhecimento do profissional avaliador sobre o requisito de desempenho analisado. Neste sentido, torna-se importante a caracterização das experiências, treinamentos e quaisquer fontes de informação utilizadas pelo avaliador sobre o risco analisado.

5.1.2.3 – Consequências associadas ao risco

O terceiro bloco de informações se refere às consequências esperadas para a ocorrência do risco determinado. Nele devem ser identificadas as consequências negativas associadas ao risco, com a caracterização do tipo de impacto (financeiro, legal ou institucional) e com a determinação de valores financeiros equivalentes para cada uma delas, conforme ilustrado no Quadro 5.2.

A definição dos valores financeiros equivalentes pode se fundamentar numa avaliação direta nos casos de impactos financeiros, tais como multas ou reduções de preço do imóvel, ou em análises subjetivas em casos de impactos legais e institucionais. Por exemplo, a

ocorrência de determinada falha de desempenho no edifício pode trazer danos à imagem da empresa construtora responsável, aos quais pode ser atribuído valor financeiro.

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		
				Mínimo	Máximo	Tendência
C01	Alteração de soluções construtivas para reclamações específicas	Contingenciamento	Muito Baixa	2.000,00	6.000,00	Menor Valor
C02	Alteração de soluções construtivas no edifício como um todo	Contingenciamento	Extremamente Baixa	120.000,00	360.000,00	Menor Valor
C03	Reclamação judicial coletiva	Legal	Praticamente Nula	240.000,00	780.000,00	Menor Valor
C04	Dano à imagem da construtora	Institucional	Praticamente Nula	0,00	27.000,00	Regular

Quadro 5.2 – Exemplo da caracterização das consequências associadas ao risco em planilha (fonte: autor)

Na planilha, estes valores financeiros equivalente devem ser indicados a partir de valores mínimo e máximo previstos, acompanhados de uma tendência. Assim, este valor financeiro equivalente corresponde ao número *fuzzy* triangular VF, definido por:

$$VF = (\min, [f \times (\max - \min) + \min], \max) \quad 5.1$$

, onde min é o valor mínimo e max é valor máximo previstos para o impacto financeiro equivalente e *f* assume valor igual a 0,2 para tendência ao menor valor, 0,8 para tendência ao maior valor ou 0,5 para tendência regular, sem viés previsto.

A ocorrência das consequências associadas ao risco não se apresenta como algo certo, inevitável, e possui caráter probabilístico. Com base no conceito estabelecido na NBR ISO 31000 de que as consequências podem ser incertas perante o risco (ABNT, 2018), foi introduzida no modelo a necessidade de caracterização das probabilidades de ocorrência de cada consequência a partir do instante em que o risco se torna fato. Estas probabilidades devem ser consideradas dentro do conceito de probabilidade condicional, com a aplicação do ferramental matemático citado em 3.3.2.1.

Dentro da ferramenta, estas probabilidades condicionadas à ocorrência do risco devem ser determinadas pelo avaliador com base nos termos linguísticos relacionados a números *fuzzy* triangulares PC, indicados na Tabela 5.2. As funções de pertinência destes números *fuzzy* foram arbitradas preliminarmente, sendo que tanto os termos linguísticos associados quanto seus valores podem ser alterados em função do interesse do usuário da ferramenta, como reflexo de seus critérios de análise.

<i>Valor Linguístico</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Número Fuzzy</i>
Praticamente Nula	Cerca de 1 em 100, 1%	(0, 0,01, 0,02)
Extremamente Baixa	Cerca de 1 em 20, 5%	(0,01, 0,05, 0,09)
Muito Baixa	Cerca de 1 em 10, 10%	(0,05, 0,1, 0,15)
Baixa	Cerca de 1 em 4, 25%	(0,1, 0,25, 0,4)
Regular	Cerca de 1 em 2, 50%	(0,25, 0,5, 0,75)
Alta	Cerca de 3 em 4, 75%	(0,6, 0,75, 0,9)
Muito Alta	Cerca de 9 em 10, 90%	(0,85, 0,9, 0,95)
Extremamente Alta	Cerca de 19 em 20, 95%	(0,9, 0,95, 1)
Praticamente Certa	99 em 100, 99%	(0,98, 0,99, 1)

Tabela 5.2 – Números *fuzzy* triangulares correspondentes às probabilidades para consequências condicionadas a ocorrência do risco (fonte: autor)

Neste modelo de gestão de riscos definido, são incorporados dois tipos de ação para tratamento dos riscos: ações de contenção, para redução das probabilidades associadas a seus eventos de origem, e ações de contingência, que visam reduzir seus impactos, considerando estes termos segundo definido por Alencar e Schmitz (2012).

As ações de contingência devem ser identificadas neste terceiro bloco de informações, sendo consideradas complementarmente às consequências identificadas, inclusive quanto à determinação de suas probabilidades condicionais associadas. Os custos das ações de contingência também devem ser retratados como impactos associados ao risco, sendo caracterizados como números *fuzzy* de acordo com a equação 5.1.

Para caracterização das consequências associadas ao risco, foi definido o termo expectativa de consequências EC. A expectativa de consequências associadas ao risco se define pelo somatório dos produtos destas probabilidades condicionais com o impacto financeiro

equivalente de cada uma das consequências e ações de contingência identificadas. A expectativa de consequências deve ser calculada por meio da seguinte expressão *fuzzy*:

$$EC = \sum PC_i \otimes VF_i \quad 5.2$$

, onde i representa cada uma das consequências e ações de contingência relacionadas ao risco.

No uso da planilha, o preenchimento dos campos para identificação dos itens ocorre automaticamente, sendo que o lançamento de informações neste bloco se inicia diretamente pela coluna de descrição das consequências. A planilha desenvolvida permite a caracterização de até 12 consequências, o que pode ser ampliado por meio de sua reestruturação.

5.1.2.4 – Eventos de origem do risco e suas probabilidades

Após a definição do risco a ser analisado, deve ser realizada a identificação dos possíveis eventos de origem deste risco, com a caracterização de suas probabilidades e com o cálculo da probabilidade resultante associada ao risco.

Inicialmente, os eventos de origem do risco deveriam ser identificados como causas alternativas, todas elas suficientes para a ocorrência do risco, com base em diagramas de Ishikawa. No entanto, logo nas primeiras visitas para aplicação da ferramenta, então nestes termos, foi evidenciada a inadequação deste método para cálculo de probabilidades associadas ao risco, como constatado posteriormente em revisão bibliográfica (ABNT, 2012).

Desta forma, a identificação dos eventos de origem do risco passou a se fundamentar no método de Análise de Árvore de Falhas – FTA, segundo conceitos e critérios apresentados no item 3.3. Neste método, todos os eventos de origem são inter-relacionados, por meio de combinações sequenciais ou em paralelo, de modo que resultam na ocorrência do risco.

A árvore de falhas em si corresponde a um modelo gráfico contendo as várias combinações sequenciais e em paralelo de eventos que podem resultar na ocorrência de um determinado evento negativo, caracterizando as inter-relações lógicas entre estes eventos básicos que levam ao evento indesejado de topo. A Figura 5.2 exemplifica árvore de falhas elaborada com relação a um dos riscos analisados na ferramenta.

Como descrito por Stamatelatos *et al.* (2002), a construção da árvore de falhas se dá pela identificação dos eventos imediatamente anteriores necessários e suficientes para originar determinado evento subsequente, que seriam suas causas imediatas, estabelecendo-se passos para trás a partir do evento de topo até os eventos primários que lhe dariam origem. Na análise de árvore de falhas, o evento de topo corresponde à ocorrência do risco analisado. A estruturação da árvore de falhas não precisa ser exaustiva no que se relaciona aos eventos básicos, sendo que devem ser incluídos apenas os eventos básicos considerados realistas pelo analista.

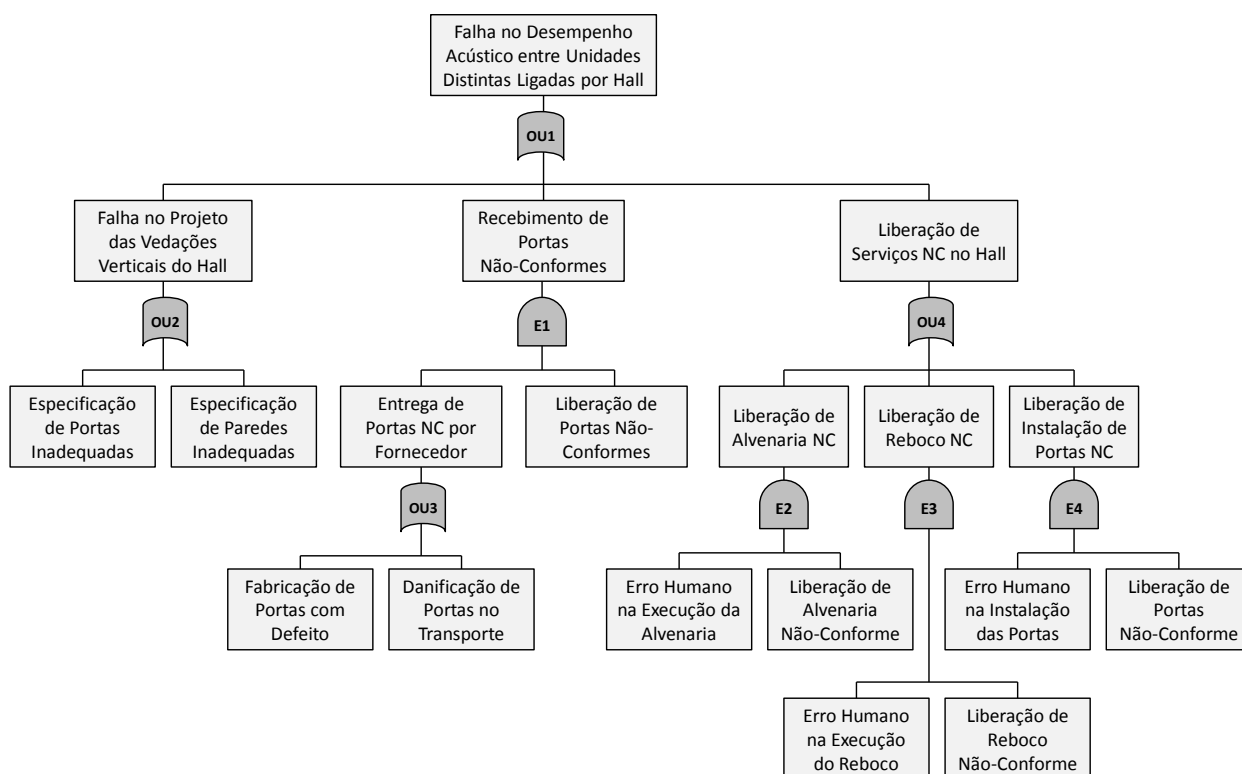


Figura 5.2 – Exemplo de representação de Análise de Árvore de Falhas (fonte: autor)

Estes eventos de origem podem estar associados a projeto e informações, materiais e componentes, mão de obra, máquinas e equipamentos, operações e métodos, medição e controle, condições ambientais e manutenção e uso, o que deve ser registrado na planilha.

Para cada um destes eventos também deve ser definido um valor de probabilidade e um tipo de conexão com outros eventos. Estas probabilidades são retratadas como números *fuzzy* triangulares, definidos por valores linguísticos, como apresentados na Tabela 5.3. As funções de pertinência destes números *fuzzy* foram arbitradas preliminarmente, sendo que tanto os termos linguísticos associados quanto seus valores podem ser modificados de acordo como interesse do usuário da ferramenta.

<i>Valor Linguístico</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Número Fuzzy</i>
Praticamente Nula	Cerca de 1 em 10.000, 0,01%	(0, 0,0001, 0,0002)
Extremamente Baixa	Cerca de 1 em 1.000, 0,1%	(0,0005, 0,001, 0,0015)
Muito Baixa	Cerca de 1 em 100, 1%	(0,005, 0,01, 0,015)
Baixa	Cerca de 1 em 20, 5%	(0,025, 0,05, 0,075)
Regular	Cerca de 1 em 10, 10%	(0,05, 0,1, 0,15)
Alta	Cerca de 1 em 5, 20%	(0,1, 0,2, 0,3)
Muito Alta	Cerca de 1 em 3, 30%	(0,15, 0,3, 0,45)
Extremamente Alta	Cerca de 1 em 2, 50%	(0,25, 0,5, 0,75)
Praticamente Certa	Quase 1 em 1, 90%	(0,8, 0,9, 1)

Tabela 5.3 – Números *fuzzy* triangulares correspondentes às probabilidades de ocorrência de eventos de origem do risco (fonte: autor)

A identificação dos eventos de origem do risco e a determinação das probabilidades associadas devem considerar as informações apontadas durante a contextualização do risco, citado em 5.1.2.2. Caso durante esta identificação sejam levantados aspectos inicialmente não retratados ou detalhados na caracterização do contexto, tais informações devem ser complementadas.

Ao descrever a árvore de falhas na planilha, cada evento de origem deve estar relacionado a um conector lógico, enquanto cada um destes conectores pode estar ligado a outros conectores ou ao evento de topo. A identificação destes conectores se dá pela identificação do tipo de porta, E ou OU, seguido de um número entre 1 e 6 que diferencia o conector

associado, e o evento de topo é apontado com a indicação TOPO. O Quadro 5.3 apresenta a caracterização da árvore de falha descrita na Figura 5.2.

A probabilidade relativa ao risco é calculada a partir das probabilidades apontadas para os eventos básicos e dos conectores E e OU que estabelecem suas ligações, conforme definidas na árvore de falhas. A probabilidade total, identificada na ferramenta como probabilidade original PO, é determinada a partir do uso das equações 3.9 e 3.10, inseridas na planilha.

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO				
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade
E01	Especificação errada de porta	OU2	Projeto e Informações	Alta
E02	Especificação errada da parede de alvenaria	OU2	Projeto e Informações	Regular
E03	Fabricação defeituosa de portas	OU3	Materiais e Componentes	Extremamente Baixa
E04	Danos a portas no transporte	OU3	Materiais e Componentes	Baixa
E05	Falha no controle de recebimento de portas não-conformes	E1	Medição e Controle	Extremamente Baixa
E06	Falha humana na execução da alvenaria	E2	Mão de Obra	Regular
E07	Falha no controle de alvenaria não-conforme	E2	Medição e Controle	Baixa
E08	Falha humana na execução do reboco	E3	Mão de Obra	Praticamente Nula
E09	Falha no controle de reboco não-conforme	E3	Medição e Controle	Praticamente Nula
E10	Falha humana na execução da porta	E4	Mão de Obra	Baixa
E11	Falha no controle de instalação de porta não-conforme	E4	Medição e Controle	Praticamente Nula
E1	Recebimento de porta não-conforme por fornecedor	OU1		
E2	Liberação de alvenaria não-conforme	OU4		
E3	Liberação de reboco não-conforme	OU4		
E4	Liberação de porta instalada não-conforme	OU4		
OU1	Falha no desempenho acústico	TOPO		
OU2	Falha de projeto de soluções construtivas	OU1		
OU3	Entrega de porta não-conforme por fornecedor	E1		
OU4	Liberação de serviços não-conformes no hall	OU1		

Quadro 5.3 – Exemplo do lançamento em planilha da caracterização dos eventos de origem e probabilidades associadas ao risco (fonte: autor)

A planilha desenvolvida permite a construção de árvores de falhas com até 12 eventos básicos de origem do risco, que podem ser relacionados por meio de 6 portas E e 6 portas

OU. Este dimensionamento foi determinado em função das análises realizadas nos dois primeiros ciclos de desenvolvimento da ferramenta, que não demandaram árvores maiores. Caso haja a necessidade de árvores de falhas mais complexas, esta limitação pode ser corrigida com a reestruturação da planilha.

No uso da planilha, o preenchimento dos campos para identificação dos itens ocorre automaticamente, sendo que o lançamento de informações neste bloco se inicia pela coluna para descrição dos eventos de origem.

5.1.2.5 – Avaliação dos riscos

Com base nas informações sobre os eventos de origem, com o cálculo da probabilidade relacionado ao risco, e das consequências do risco, definidas pela expectativa de consequências, em valor financeiro, todos retratados como números *fuzzy* triangulares na planilha, calcula-se o nível de risco original relativo ao risco analisado. A probabilidade, a expectativa de consequências e o nível de risco, que também correspondem a números *fuzzy* triangulares, são defuzzificados e apresentados no quinto bloco de informações da planilha, como mostra o Quadro 5.3.

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	8.011,72
Probabilidade Original	28,05%
Consequências (condicionado ao risco)	21.011,67
Nível de Risco Planejado	
Redução Planejada do Nível de Risco	
Probabilidade Planejada	
Custo de Ações de Contenção Planejadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

Quadro 5.4 – Exemplo de resultados iniciais da análise de risco apresentadas na planilha
(fonte: autor)

Este nível de risco, denominado nível de risco original NRO é definido pelo produto *fuzzy* entre a probabilidade original PO e a expectativa de consequência EC, conforme a equação:

$$\text{NRO} = \text{PO} \otimes \text{EC}$$

5.3

A defuzzificação dos resultados dentro da ferramenta desenvolvida utiliza o conceito do centro de gravidade do triângulo definido pelo número *fuzzy* $A(a_i, a_t, a_f)$, expresso pela equação 3.6. Para os casos de produtos de probabilidades e do cálculo dos níveis de risco, nos quais se realiza a aproximação linear efetuada para o produto de dois números *fuzzy* triangulares (equação 3.5), o centro de gravidade resultante é ligeiramente maior que do produto original (equação 3.4), o que gera uma diferença no sentido de tornar as análises mais conservadoras, aumentando as probabilidades e níveis de risco calculados.

Com o cálculo do nível de risco original, tem-se a etapa de avaliação do risco, na qual há a comparação do nível de risco deste com o de outros riscos relativos a outros requisitos de desempenho a fim de se definir prioridades no tratamento dos riscos. Neste momento, também devem ser identificadas consequências inadmissíveis relacionadas ao risco, como recomendado por Godfrey (1996) e Kunreuther (2001).

Um aspecto útil definido no modelo de gestão de risco proposto é a apresentação do nível de risco como um valor financeiro. Este nível de risco, retratado em termos financeiros, permite o balizamento dos custos das ações de mitigação a serem implementadas, fundamentando a tomada de ações ou a retenção do risco, assim como propicia uma avaliação mais precisa das diferenças existentes nos níveis de riscos para diferentes situações avaliadas.

Todas as avaliações de risco, relacionadas com a conclusão de cada uma das etapas do modelo proposto, são fundamentadas neste quinto bloco de informações. A partir dele podem ser avaliados os níveis de risco relacionados a cada momento, inclusive quanto aos riscos residuais, os custos envolvidos com ações para tratamento dos riscos e com as consequências associadas ao risco, permitindo a identificação da necessidade de novas ações ou definição pela retenção do risco. As informações disponibilizadas para análise são apresentadas no Quadro 5.4.

5.1.2.6 – Planejamento de ações para abordagem do risco

Quando se decide pelo tratamento de determinado risco, inicia-se a segunda etapa do modelo desenvolvido, envolvendo o planejamento de ações de contenção para redução das probabilidades relativas aos eventos de origem dos riscos priorizados, com a previsão de seus custos e sua efetividade, com reflexos na probabilidade resultante associada ao risco. Este planejamento envolve o sexto bloco de informações, conforme exemplificado no Quadro 5.5. A planilha desenvolvida permite a caracterização de até 12 ações de contenção por evento de origem, o que pode ser ampliado por meio de sua reestruturação.

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM						
E01	Especificação errada de porta		Probabilidade Original	Probabilidade Planejada	Probabilidade Alcançada	
			20,00%	0,57%	20,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado			Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo	Máximo	Tendência	
PA1	Contratação de consultoria sobre desempenho acústico	Extremamente Efetivo	3.500,00	15.000,00	Regular	Planejado, Não Executado
PA2	Contratação de ensaios em campo para o desempenho acústico	Pouco Efetivo	2.000,00	5.000,00	Menor Valor	Não Planejado
E02	Especificação errada da parede de alvenaria		Probabilidade Original	Probabilidade Planejada	Probabilidade Alcançada	
			10,00%	0,29%	10,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado			Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo	Máximo	Tendência	
PA1	Contratação de consultoria sobre desempenho acústico	Extremamente Efetivo	3.500,00	15.000,00	Regular	Planejado, Não Executado
PA2	Contratação de ensaios em campo para o desempenho acústico	Pouco Efetivo	2.000,00	5.000,00	Menor Valor	Não Planejado

Quadro 5.5 – Exemplo do lançamento em planilha das ações para tratamento do risco
(fonte: autor)

O lançamento das ações de contenção na ferramenta desenvolvida deve ser realizado por meio de uma planilha auxiliar, na qual são inseridos um código de identificação da ação, sua descrição, seu custo e sua situação de planejamento e implantação. Em seguida, por meio do código de identificação da ação, se faz no sexto bloco de informações da planilha

de gestão de riscos a relação entre o evento de origem e a ação planejada. A planilha auxiliar para lançamento das ações é apresentada no Apêndice A, Figura A.2.

A situação de planejamento e implantação da ação pode ser caracterizada em quatro situações distintas: não planejado; planejado, não executado; executado parcialmente, e; execução concluída.

As ações de tratamento normalmente apresentam um caráter pontual, atacando somente os eventos de origem aos quais se relaciona. Esta situação limita o alcance destas ações quanto à redução da probabilidade final associada ao risco, sendo às vezes insuficientes para uma redução significativa do nível de risco. Por exemplo, ações voltadas para projeto podem não ter reflexos nos processos de compras e de execução de serviços.

Neste sentido, é importante que as ações de tratamento sejam focadas nos eventos que mais contribuem para a probabilidade final do risco. A contribuição de determinado evento decorre tanto da magnitude de sua probabilidade como do tipo de relação que ele estabelece com os demais eventos. Enquanto os conectores OU têm um caráter de soma, combinando as probabilidades dos eventos em uma probabilidade maior, os conectores E possuem um caráter redutivo, com as probabilidades dos eventos de origem resultando numa probabilidade final menor em função das relações entre eles. Em casos de relações com conectores OU, devem ser tomadas ações para todos os eventos com probabilidades elevadas, ao passo que para relações com conectores E, geralmente basta a minimização da probabilidade de um dos eventos envolvidos.

No exemplo apresentado nos Quadros 5.3 e 5.5, verifica-se que foram tomadas ações para abordagem apenas dos eventos ligados unicamente a conectores OU. Com relação aos demais eventos, o avaliador optou pela retenção do risco. Como citado no Quadro 5.6, mais a frente, esta abordagem foi suficiente para reduzir a probabilidade do risco de 28,05% para 1,43%.

Geralmente, as ações de tratamento estabelecidas são insuficientes para eliminar completamente a probabilidade de ocorrência de um evento de origem, permanecendo um risco residual. A fim de permitir um tratamento matemático para a redução alcançada na probabilidade, foi estabelecido o conceito de efetividade da ação, definida pela redução da

probabilidade de falha relacionada ao evento de origem. Na ferramenta desenvolvida, esta efetividade corresponde a um fator, na forma de um número *fuzzy* triangular, que deve ser multiplicado pela probabilidade relacionada ao evento tratado. Os valores relacionados à efetividade das ações são identificados na Tabela 5.4.

<i>Valor Linguístico</i>	<i>Detalhamento</i>	<i>Número Fuzzy</i>
Extremamente Efetivo	Anulação do risco	(0,001, 0,01, 0,05)
Muito Efetivo	Redução a 10% do original	(0,05, 0,1, 0,15)
Efetividade Regular	Redução a 50% do original	(0,3, 0,5, 0,7)
Pouco Efetivo	Redução a 75% do original	(0,65, 0,75, 0,85)
Muito Pouco Efetivo	Redução a 90% do original	(0,85, 0,9, 1)

Tabela 5.4 – Fatores de efetividade relacionados a ações de contenção (fonte: autor)

Uma mesma ação pode ser utilizada para abordagem de diversos eventos de origem do risco, mas deve ser considerado que os fatores de efetividade de uma mesma ação podem ser diferentes para cada um dos eventos tratados. Diferente das demais informações relacionadas à ação, sua efetividade deve ser identificada no bloco 6 da planilha de gestão de riscos para cada evento de origem ao qual ela se relaciona.

Após a multiplicação dos fatores de efetividade para as ações planejadas para tratamento do risco, com a modificação das probabilidades relacionadas aos diferentes eventos que o originam, deve ser realizado novo cálculo da probabilidade relacionada ao risco, com base nas relações estabelecidas na árvore de falhas e com uso das equações 3.9 e 3.10, e o nível de risco planejado, com multiplicação desta probabilidade planejada pela expectativa de consequência (similar à equação 5.3).

A previsão dos custos das ações planejadas também é caracterizada por números *fuzzy* triangulares, lançados na planilha auxiliar e definidos a partir de valores mínimo e máximo previstos, acompanhados de uma tendência, conforme a equação 5.1. Os custos das ações são somados para definição do custo total das ações de tratamento.

Deve ser realizada uma análise crítica das ações planejadas, verificando sua efetividade, os custos previstos e o equilíbrio entre estes custos e a redução do nível de risco alcançada, assim como a avaliação dos riscos remanescentes, com a verificação da necessidade de

ações adicionais ou modificação das ações planejadas para se alcançar um nível de risco tolerável. A fim de facilitar tais avaliações, a ferramenta apresenta coeficientes relacionados à diferença e à razão entre a redução do nível de risco e os custos das ações de tratamento planejadas. Estas informações, junto com a probabilidade, o nível de risco planejados e o custo das ações planejadas, são apresentadas no quinto bloco de informações da planilha, como ilustrado no Quadro 5.6.

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	8.011,72
Probabilidade Original	28,05%
Consequências (condicionado ao risco)	21.011,67
Nível de Risco Planejado	585,82
Redução Planejada do Nível de Risco	7.425,91
Probabilidade Planejada	1,43%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	18.500,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	-11.074,09
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	0,40
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

Quadro 5.6 – Exemplo dos resultados da análise de risco para tratamentos planejados apresentados na planilha (fonte: autor)

A seleção destas ações deve considerar o balanceamento entre estes termos, com uso de indicadores relativos à razão e à diferença entre a redução do nível de risco alcançada e os custos das ações envolvidas.

No exemplo apresentado no Quadro 5.5, foram delineados pelo avaliador duas ações: PA1 – Contratação de consultoria sobre desempenho acústico e PA2 – Contratação de ensaios de campo para desempenho acústico. Mesmo sendo mais caro, a ação PA1 foi escolhida como planejada por parecer muito mais efetiva. A ação PA2 aparece como não planejada, com o argumento de que um ensaio apontando baixo desempenho não resolve o problema.

Neste exemplo também deve ser considerado que a previsão de redução no nível de risco de R\$ 7.425,91 é menor que o custo de ações, no valor R\$ 18.500,00, como apresentado no Quadro 5.6. Como regra geral, os custos das ações de tratamento devem ser menores que a redução do nível de risco, sendo que, quando as ações envolvem custos mais elevados,

tornam-se economicamente equilibradas somente quando apresentam efetividade alta e são aplicadas a eventos relacionados a níveis de risco elevados. Também contribui para este equilíbrio o fato de uma mesma ação abordar diferentes riscos, tornando estas ações viáveis por meio do compartilhamento de seus custos. Neste, a contratação de consultor como ação de tratamento pode ter seu custo compartilhado em outras situações de risco relacionadas ao desempenho acústico. A planilha divide automaticamente os custos de uma ação entre os diferentes eventos que ela aborda.

5.1.2.7 – Monitoramento de ações para abordagem do risco

A terceira etapa do modelo corresponde ao acompanhamento da implantação das ações planejadas, especialmente com relação à efetividade e custos das ações implantadas. Quaisquer desvios observados nos custos e na efetividade das ações de tratamento devem levar à revisão de seus valores e, com isso, refletir na alteração da probabilidade final alcançada e do nível de risco.

Na planilha, ao se fazer a alteração da situação de planejamento e implantação de alguma das ações ligadas ao risco para uma situação de “execução concluída”, por meio da planilha auxiliar, passam a ser apresentados dados para o último campo do bloco 5 de informações (ver Quadro 5.6). Além disso, a partir da análise crítica de cada ação executada, seu custo e sua efetividade devem ser revisadas na planilha de gestão do risco.

Com base no nível de risco caracterizado após a implementação das ações de tratamento do risco, deve ser realizada a avaliação do risco residual, caracterizado pelo nível de risco alcançado, com a avaliação de que este nível de risco se encontra em um patamar tolerável ou da necessidade de ações adicionais. Isto pode incluir uma nova análise do risco, com a modificação do contexto envolvido, dos eventos de origem e suas probabilidades e das consequências relacionadas, ou a seleção de outros riscos como prioridade, definindo assim o caráter cíclico do modelo.

No caso dos exemplos apresentados nesta seção (ver Quadro 5.5), as ações planejadas para tratamento de risco ainda não foram implementadas.

5.2 – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DA FERRAMENTA

Para validação da ferramenta desenvolvida, foi solicitado a dois profissionais atuantes em empresas construtoras e incorporadoras que, tendo como referência uma obra sob sua responsabilidade, realizasse a aplicação da planilha, analisando riscos associados a requisitos de desempenho de sistemas de vedações verticais, estabelecidos na parte 4 das normas NBR 15575. Estes profissionais não haviam tido contato anterior com a ferramenta, não tendo participado das etapas anteriores da pesquisa.

Além disso, o Apêndice D apresenta os resultados dos cálculos de consequências, probabilidades e custos de ações relativos a um dos casos relatados por um destes avaliadores com o objetivo de validar matematicamente a planilha desenvolvida. Este memorial se refere ao risco identificado na Figura C.1, apresentando resultados iguais.

A seguir são apresentados os resultados desta aplicação da planilha e das avaliações da ferramenta realizadas após sua aplicação.

5.2.1 – Análise dos resultados da aplicação da ferramenta de gestão de risco

Após um treinamento sobre os conceitos e o funcionamento da planilha de gestão de riscos, os profissionais avaliadores selecionaram requisitos de seu interesse, relativos ao desempenho de sistemas de vedações verticais, baseados na norma NBR 15575-4. Os riscos identificados, junto com as probabilidades e consequências associadas e com os níveis de risco calculados dentro da planilha, são apresentados na Tabela 5.5.

Os dados apresentados apontam os riscos relacionados a requisitos de desempenho acústico, 1.2 e 2.1, como aqueles com maiores probabilidades de falha, o que pode ser reflexo da falta de conhecimento, das incertezas epistemológicas relativas a tal aspecto, como apontado por Otero e Sposto (2016a) e Machado e Andery (2017). Neste sentido, quase de maneira óbvia, um maior conhecimento sobre o desempenho das soluções construtivas adotadas imediatamente estabelece uma redução na probabilidade de falhas.

Também pode ser notado que as análises dos dois avaliadores apontam para probabilidades similares para o risco de não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas, 1.3 e

2.3, que apresentam valores de 12,3% e 10,9% respectivamente, o que pode ser uma demonstração da consistência da análise.

	<i>Risco Identificado</i>	<i>Probabilidade</i>	<i>Consequência</i>	<i>Nível de Risco Original</i>
Avaliador 1				
1.1	Não atendimento de requisitos de capacidade térmica e transmitância de paredes	14,7%	40.257,33	8.611,55
1.2	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachadas	59,2%	102.343,33	77.908,12
1.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	12,3%	36.170,00	6.694,95
1.4	Não atendimento ao requisito de resistência a ações transmitidas por portas	0,8%	16.753,33	218,96
Avaliador 2				
2.1	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico para ruído aéreo entre unidades separadas por hall	28,0%	21.011,67	8.011,72
2.2	Não atendimento ao requisito de resistência a cargas suspensas em paredes	3,1%	25.875,00	1.087,22
2.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	10,9%	9.423,33	1.340,05
2.4	Não atendimento ao requisito de resistência a impactos de corpo mole em guarda-corpos	6,0%	682.126,67	52.878,26

Tabela 5.5 – Riscos originais identificados por avaliadores (fonte: autor)

Quanto às consequências identificadas para os riscos, verifica-se que o risco relacionado a segurança apresenta um valor financeiro equivalente quase sete vezes maior que o segundo mais elevado, de 682.126,67 para 102.343,33. Estes dados refletem as diferenças entre requisitos absolutos e aqueles de caráter relativo, como apontadas por Mitidieri Filho e Helene (1998) e Borges (2008).

Ao se observar as consequências e os níveis de risco apontados por cada um dos avaliadores, verifica-se que o primeiro deles apresenta uma postura mais conservadora que o segundo. Com exceção do risco sobre segurança em guarda-corpos, pode ser constatado que as consequências indicadas pelo primeiro profissional são maiores que as do segundo. Ademais, ao comparar os níveis de risco estabelecidos com relação à estanqueidade da fachada, 1.3 e 2.3, o valor determinado pelo primeiro avaliador é cinco vezes maior que o

do segundo. Tais situações salientam como diferenças na perspectiva e no comportamento do responsável pela análise dos riscos podem afetar seus resultados.

Como demonstrado, estas informações geradas no uso da ferramenta desenvolvida se mostram consistentes, relevantes e suficientes para a avaliação dos riscos analisados, permitindo a definição de prioridades no planejamento e na utilização de recursos em ações para abordagem dos riscos associados ao desempenho de edificações habitacionais.

Por se tratar de um exercício de avaliação da ferramenta, todos os riscos selecionados pelos profissionais foram objeto de ações de contenção visando reduzir as probabilidades originais identificadas, sem uma seleção de prioridades entre elas. A Tabela 5.6 mostra as reduções nas probabilidades e nos respectivos níveis de risco a partir das ações planejadas.

Estes dados apontam a eficácia das ações de contenção planejadas na redução dos níveis de risco. Como exemplo, os riscos 1.2 e 2.4, que apresentam os maiores níveis de risco originais, alcançam uma ordem de magnitude equivalente à dos outros riscos, apesar de ainda apresentarem valores maiores, com seus níveis de risco reduzidos em 97,2% e 95,7%. Verifica-se que quanto menores os níveis de risco originais, menores é a redução percentual de seus valores, variando de 66,9% a 92,7% para os demais riscos analisados.

No caso do risco 2.4, relacionado a questões de segurança e obviamente uma situação prioritária, deve ser ressaltado como o profissional avaliador levou sua probabilidade planejada a um valor praticamente nulo.

<i>Risco Identificado</i>	<i>Nível de Risco Original</i>	<i>Probabilidade Original</i>	<i>Nível de Risco Planejado</i>	<i>Probabilidade Planejada</i>	
Avaliador 1					
1.1	Não atendimento de requisitos de capacidade térmica e transmitância de paredes	8.611,55	14,7%	1.109,57	1,8%
1.2	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachadas	77.908,12	59,2%	2.150,88	1,1%
1.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	6.694,95	12,3%	1.083,16	1,8%
1.4	Não atendimento ao requisito de resistência a ações transmitidas por portas	218,96	0,8%	65,09	0,2%
Avaliador 2					
2.1	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico para ruído aéreo entre unidades separadas por hall	8.011,72	28,0%	585,82	1,4%
2.2	Não atendimento ao requisito de resistência a cargas suspensas em paredes	1.087,22	3,1%	359,73	0,9%
2.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	1.340,05	10,9%	333,38	2,4%
2.4	Não atendimento ao requisito de resistência a impactos de corpo mole em guarda-corpos	52.878,26	6,0%	2.295,55	0,2%

Tabela 5.6 – Riscos originais e riscos resultantes do planejamento de ações de contenção
(fonte: autor)

Como citado em 5.1.2.6, o planejamento das ações de contenção deve considerar sua efetividade, os custos previstos e o equilíbrio entre estes custos e a redução do nível de risco alcançada, assim como a avaliação dos riscos remanescentes. Tais informações referentes aos riscos analisados são retratadas na Tabela 5.7.

<i>Risco Identificado</i>	<i>Nível de Risco Original</i>	<i>Nível de Risco Planejado</i>	<i>Redução do Nível de Risco</i>	<i>Custo de Ações</i>	
Avaliador 1					
1.1	Não atendimento de requisitos de capacidade térmica e transmitância de paredes	8.611,55	1.109,57	7.501,98	475,60
1.2	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachadas	77.908,12	2.150,88	75.757,24	51.910,00
1.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	6.694,95	1.083,16	5.611,80	10.725,00
1.4	Não atendimento ao requisito de resistência a ações transmitidas por portas	218,96	65,09	153,87	3.450,00
Avaliador 2					
2.1	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico para ruído aéreo entre unidades separadas por hall	8.011,72	585,82	7.425,91	18.500,00
2.2	Não atendimento ao requisito de resistência a cargas suspensas em paredes	1.087,22	359,73	727,49	980,00
2.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	1.340,05	333,38	1.006,67	280,00
2.4	Não atendimento ao requisito de resistência a impactos de corpo mole em guarda-corpos	52.878,26	2.295,55	50.582,71	5.530,00

Tabela 5.7 – Riscos originais e riscos resultantes do planejamento de ações de contenção
(fonte: autor)

Pode ser verificado que o balanceamento entre os custos das ações e sua efetividade, refletida na redução do nível de risco, não foi considerado em boa parte dos casos. Os custos das ações de contenção relativas aos riscos 1.3, 1.4, 2.1, 2.2 e 2.3, relacionados com os menores níveis de risco, superaram os valores de redução estabelecidos para os níveis de risco planejados. Os custos destas ações podem não se justificar.

Por outro lado, em um exemplo de planejamento efetivo, os custos das ações definidas para o risco 2.4 representam apenas 10,9% do valor da redução em seu nível de risco.

As ações de contenção definidas pelos dois avaliadores para tratamento dos riscos identificados são listados na Tabela 5.8. Além disso, tais ações são classificadas em

diferentes tipos, nestes casos envolvendo treinamento de pessoal, controle tecnológico de serviços, procedimentos de inspeção de serviços, consultoria para auxílio em projetos e revisão de manuais de uso e manutenção, conforme Figura 5.3. Todas as ações determinadas pelos profissionais avaliadores estão diretamente ligadas a requisitos das normas PBQP-H SiAC e NBR ISO 9001 (ABNT, 2015; BRASIL, 2017; 2018).

<i>Ações de Contenção</i>
Avaliador 1
<ul style="list-style-type: none"> - Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de serviços - Contratação de testes de arrancamento de reboco - Inclusão de novos critérios para verificação de serviço do reboco - Inclusão de informação sobre mudança da cor da fachada em Manual de Uso e Manutenção - Contratação de assessoria sobre desempenho acústico - Acompanhamento por parte do engenheiro na primeira entrega de blocos - Contratação de ensaio de ações transmitidas por portas - Contratação de projeto específico para especificação de portas - Inclusão de teste de fechamento brusco e conferência da fixação de maçanetas como critérios de verificação de serviços - Contratação de ensaio de corpo duro e corpo mole para guarda-corpos
Avaliador 2
<ul style="list-style-type: none"> - Contratação de consultoria sobre desempenho acústico - Contratação de ensaios em campo para o desempenho acústico - Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco) - Contratação de ensaios de carga suspensa em paredes - Revisão do Manual de Uso e Operação da edificação - Contratar consultoria especializada para especificação de guarda-corpos - Treinamento da equipe de instalação do vidros e guarnições

Tabela 5.8 – Ações de contenção estabelecidas para abordagem de riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)

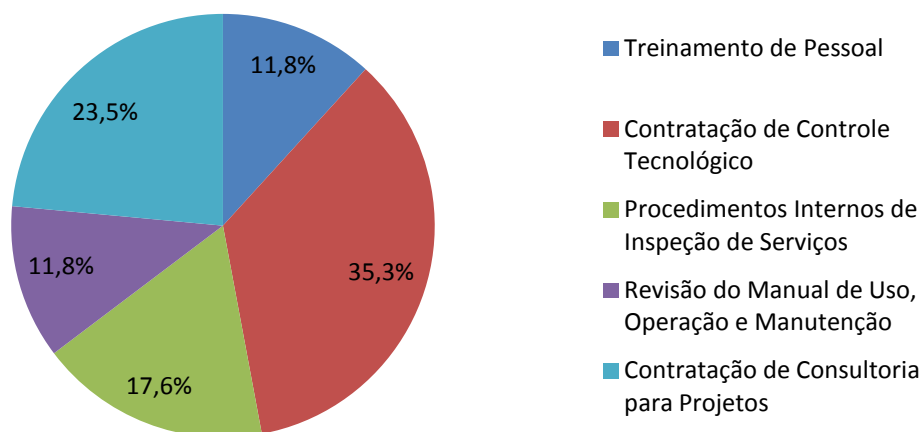


Figura 5.3 – Caracterização dos tipos de ações de contenção estabelecidas para abordagem dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)

Com relação a estes dados, deve ser ressaltado que, somados os itens de controle tecnológico e de procedimentos internos de inspeção, mais da metade das ações correspondem ao controle de serviços realizados, o que ressalta a importância da fase de execução da obra para o desempenho das edificações habitacionais.

A Figura 5.4 e a Tabela 5.9 classificam os eventos de origem identificados pelos profissionais avaliadores, segundo os critérios predeterminados na planilha.

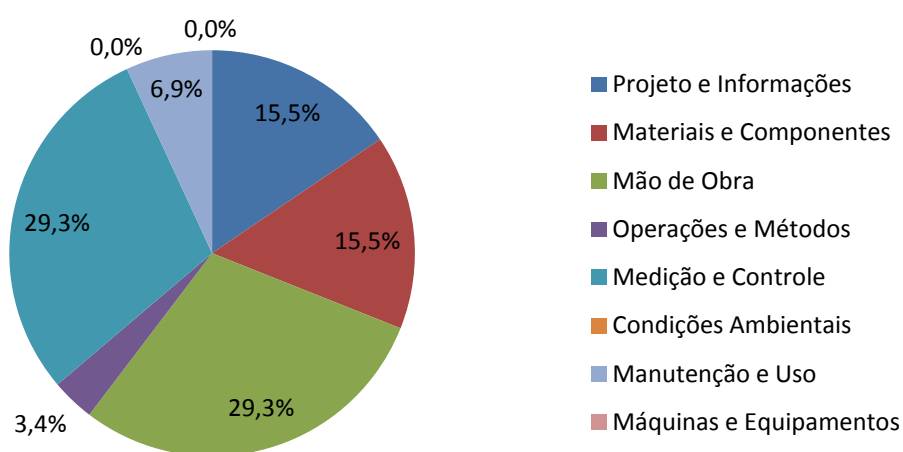


Figura 5.4 – Caracterização dos tipos de evento de origem dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)

<i>Risco Identificado</i>		<i>Tipo de Evento</i>							
		Projeto e Informações	Materiais e Componentes	Mão de Obra	Operações e Métodos	Medição e Controle	Condições Ambientais	Manutenção e Uso	Máquinas e Equipamentos
Avaliador 1									
1.1	Não atendimento de requisitos de capacidade térmica e transmitância de paredes	1	2	1	1	1	-	1	-
1.2	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachadas	2	1	2	-	3	-	-	-
1.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	1	1	2	1	2	-	-	-
1.4	Não atendimento ao requisito de resistência a ações transmitidas por portas	1	1	2	-	3	-	1	-
Avaliador 2									
2.1	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico para ruído aéreo entre unidades separadas por hall	2	2	3	-	4	-	-	-
2.2	Não atendimento ao requisito de resistência a cargas suspensas em paredes	-	1	3	-	-	-	-	-
2.3	Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	-	1	2	-	2	-	2	-
2.4	Não atendimento ao requisito de resistência a impactos de corpo mole em guarda-corpos	2	-	2	-	2	-	-	-
Totais		9	9	17	2	17	-	4	-

Tabela 5.9 – Classificação dos diferentes tipos de eventos de origem de riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)

Estes dados enfatizam a relevância das falhas relacionadas a projetos e informações e aos materiais, ambos representando 15,5% dos eventos de origem identificados, mas principalmente de falhas em mão de obra e em processos de medição e controle, que respondem por 29,3% dos eventos cada. Tais informações vão ao encontro de Preiser e Schramm (2005), Silva; Barros e Fagundes Neto (2016) e Barbosa e Andery (2017), quando afirmam que o desempenho é resultado dos erros e acertos estabelecidos ao longo de todas as fases do ciclo de construção da edificação.

Com relação às consequências apontadas para os riscos selecionados, a Tabela 5.10 caracteriza os números de ações de contingenciamento e de consequências classificadas por tipo: financeiro, legal ou institucional.

<i>Risco Identificado</i>	<i>Tipo de Consequência</i>			
	<i>Ações de Contingenciamento</i>	<i>Financeiro</i>	<i>Legal</i>	<i>Institucional</i>
Avaliador 1				
1.1 Não atendimento de requisitos de capacidade térmica e transmitância de paredes	1	-	1	1
1.2 Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachadas	1	1	-	1
1.3 Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	1	1	1	1
1.4 Não atendimento ao requisito de resistência a ações transmitidas por portas	2	-	1	-
Avaliador 2				
2.1 Não atendimento ao requisito de desempenho acústico para ruído aéreo entre unidades separadas por hall	2	-	1	1
2.2 Não atendimento ao requisito de resistência a cargas suspensas em paredes	-	1	1	1
2.3 Não atendimento ao requisito de estanqueidade em fachadas	2	1	-	1
2.4 Não atendimento ao requisito de resistência a impactos de corpo mole em guarda-corpos	1	2	4	1

Tabela 5.10 – Classificação dos diferentes tipos de consequências dos riscos relacionados ao desempenho de edificações (fonte: autor)

Com uma única exceção, todos os riscos tiveram ações de contingenciamento definidos, relativos a recuperação e correção dos elementos construtivos relacionados à falha no desempenho.

Consequências financeiras, legais e institucionais apresentam-se balanceados, devendo ser ressaltado o risco 2.4, relativo a requisito de segurança em guarda-corpos, para os quais houve mais consequências de caráter legal. As consequências financeiras foram associadas à redução do valor dos imóveis e à reposição de perdas materiais de usuários, do condomínio e de terceiros. As consequências legais foram declaradas em situações envolvendo reclamações judiciais e processos relativos a danos à integridade física e morte de usuários e terceiros. Consequências institucionais foram ligadas a danos à imagem da empresa construtora e incorporadora.

5.2.2 – Observações sobre a aplicação da ferramenta de gestão de risco

Como citado, a versão final da ferramenta de gestão de risco foi aplicada por dois profissionais atuantes em empresas construtoras e incorporadoras, que não haviam tido contato anterior com a planilha durante seu desenvolvimento. Após a realização de um treinamento sobre os conceitos envolvidos e sobre os procedimentos para aplicação da ferramenta, os avaliadores realizaram sua aplicação e aplicaram a ferramenta e, com base em suas experiências, relataram suas avaliações sobre a pertinência, adequação, utilidade e facilidade de uso da ferramenta.

Estas avaliações foram baseadas no questionário apresentado no Apêndice B e em informações solicitadas posteriormente pelo pesquisador para complementação e detalhamento.

A primeira questão colocada envolve a utilidade e a dificuldade para utilização da ferramenta desenvolvida, com referência a cada um dos blocos de informações citados em 5.1.2. Estas características foram avaliadas com notas de 0 a 5 sobre níveis de utilidade e de dificuldade de uso de cada bloco, com os resultados apresentados nas Figuras 5.5 e 5.6.

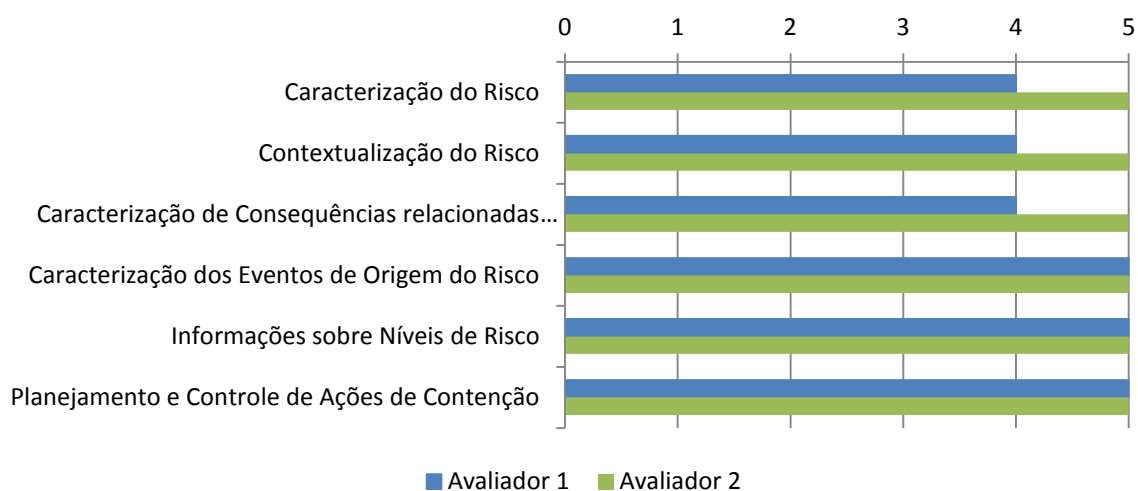


Figura 5.5 – Níveis de utilidade apontados para atividades da ferramenta (fonte: autor)

Quanto ao primeiro item, os dois avaliadores concordam com a utilidade de todos os blocos de informações da ferramenta, em especial aqueles que tratam da identificação dos eventos de origem do risco, do planejamento e controle das ações de contenção

estabelecidas e das informações de síntese de níveis de risco, probabilidades e consequências.

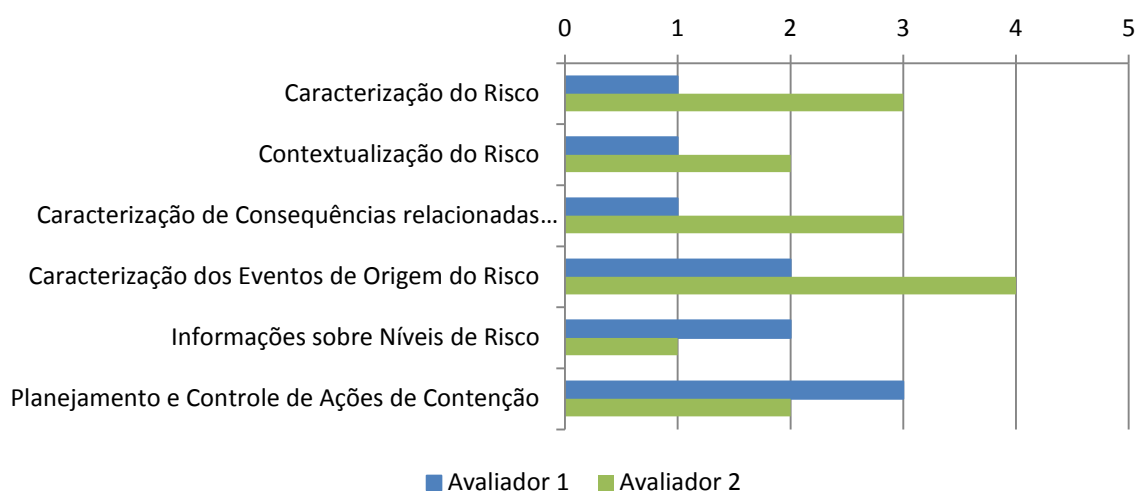


Figura 5.6 – Níveis de dificuldade de uso apontados para atividades da ferramenta
(fonte: autor)

Sobre a dificuldade na utilização da ferramenta, o primeiro avaliador indicou uma maior complexidade no planejamento das ações de contenção, enquanto o segundo considerou a caracterização dos eventos de origem como o bloco mais difícil, seguido pela identificação do risco e da caracterização das consequências. Contudo, deve ser ressaltado que estas avaliações permaneceram em valores intermediários na escala, com uma exceção apresentando nível de dificuldade 4, o que pode ser interpretado como um nível de dificuldade moderado para a ferramenta.

Ao ser entrevistado, o avaliador 1 relatou que sua maior facilidade na identificação das probabilidades e consequências associadas ao risco decorre de sua atuação no processo de assistência técnica pós-entrega, sendo que, apesar de não haver estatísticas relacionadas a todos os requisitos de desempenho, há informações suficientes para fundamentar seu julgamento.

Durante o desenvolvimento da ferramenta, um dos profissionais que participaram das etapas iniciais considerou que as escalas de números *fuzzy* associados às probabilidades continham opções em demasia. De outra forma, durante entrevista, o avaliador 1

considerou adequadas as escalas predefinidas. Como indicado em 5.1.2.3 e 5.1.2.4, tais escalas podem ser alteradas na ferramenta conforme entendimento e interesse do usuário.

A principal dificuldade relatada pelo avaliador 2 foi a estruturação das árvores de falhas relacionadas ao risco, citando no questionário a necessidade de um treinamento mais profundo e intensivo sobre a aplicação da FTA. O fato de ser o primeiro contato com a ferramenta por parte dos profissionais acabou gerando dificuldades na concepção de árvores de falhas para ambos os avaliadores, sendo que uma das análises apresentadas pelo avaliador foi descartada em função de um erro lógico nas ligações entre os eventos de origem.

Outra dificuldade citada pelo avaliador 2 se refere à determinação dos valores referentes às consequências do risco e aos custos das ações de contenção, afirmando que um embasamento em cotações e composições de custo traria maior consistência às análises. Foi esclarecido ao profissional que a ferramenta busca lidar com as informações disponíveis no momento da análise e que, a partir do surgimento de outros dados, as avaliações realizadas poderiam ser analisadas criticamente e revisadas. Como definido no modelo desenvolvido, a gestão de riscos é um processo cíclico e interativo, cujos resultados ganham em efetividade com uma maior base de informações.

O avaliador 2 cita ainda que a construção da ferramenta a partir de uma planilha eletrônica estabelece uma interface pouco amigável com o usuário, recomendando o desenvolvimento de um aplicativo de uso mais visual e intuitivo.

Um segundo questionamento apresentado aos avaliadores tratou dos reflexos da aplicação da ferramenta sobre os processos de análise de riscos e planejamento de ações para garantia do desempenho de edificações habitacionais nas empresas. Foram solicitadas avaliações em uma escala com notas de 0 a 5, com a apresentação de afirmações para as quais 0 corresponde a discordar em absoluto e 5 se refere a concordar completamente, cujos resultados são apresentados na Figura 5.7.

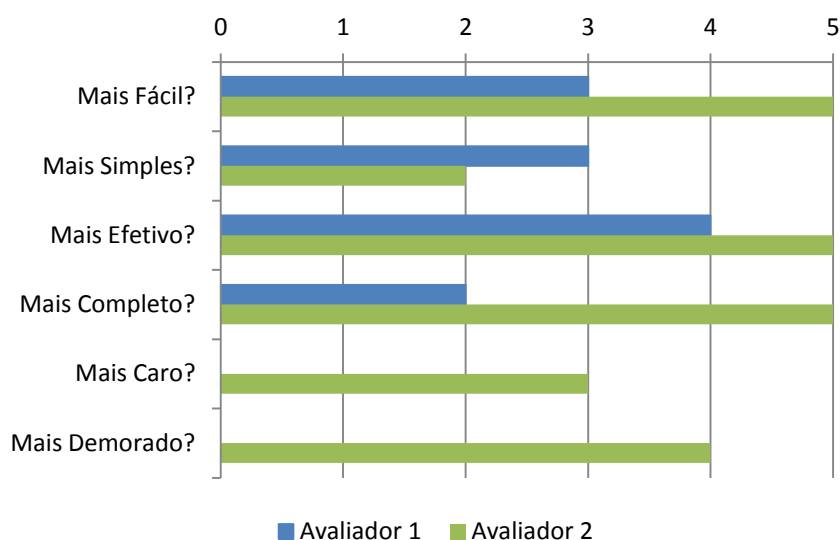


Figura 5.7 – Contribuição da ferramenta para análise e planejamento de ações relativas ao desempenho de edificações (fonte: autor)

Os avaliadores concordam que a ferramenta torna a abordagem do desempenho em edificações um pouco mais simples, atribuindo pontuações intermediárias, embora discordem quanto à facilitação e completude desta abordagem. Posteriormente, ao entrevistar os profissionais, ambos citaram a complexidade da ferramenta como um ponto negativo, relacionado a uma dificuldade de alcançar todos os requisitos normativos, ao mesmo tempo em relataram que a fundamentação lógica e baseada em termos financeiros disponibilizada pela ferramenta permite uma discussão mais objetiva sobre como cada requisito de desempenho deve ser tratado.

Neste sentido, ambos concordam com a efetividade de ferramenta, tendo apontado em entrevistas que as análises realizadas permitiram alcançar todas as etapas do processo construtivo, incluindo a execução da obra e o uso e manutenção do edifício, assim contribuíram no direcionamento da busca de informações sobre o desempenho da edificação e na fundamentação da seleção de ações a serem implementadas para dar maior tranquilidade à empresa quanto ao atendimento dos requisitos de desempenho.

No intuito de examinar a possibilidade de generalização do uso da ferramenta de gestão de riscos desenvolvida, como considerado por Venable (2006) e Van Aken; Berends e Van Der Bij (2012) para pesquisas baseadas em *Design Science Research*, um terceiro item apresentado questiona a possibilidade de sua aplicação para a gestão do desempenho de

edificações, sistemas de gestão da qualidade e outros sistemas de gestão. Também foram solicitadas avaliações em uma escala com notas de 0 a 5, as quais 0 corresponde a discordar em absoluto e 5 se refere a concordar completamente, sendo os resultados apresentados na Figura 5.8.

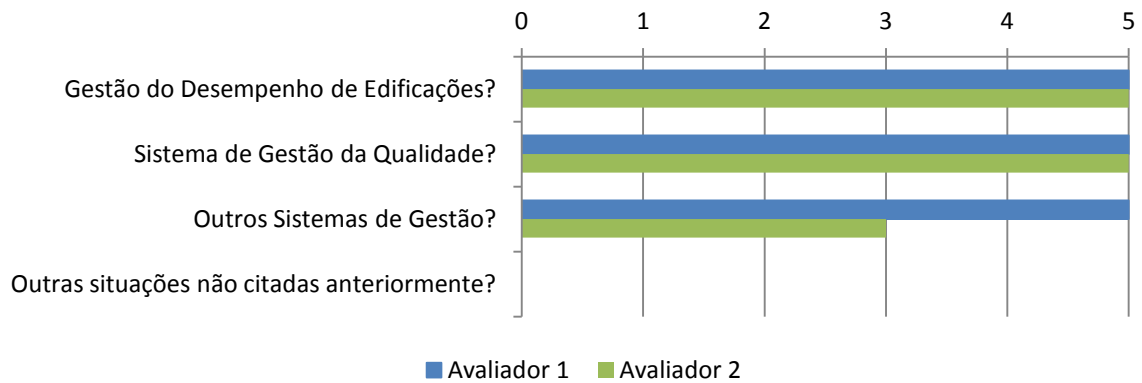


Figura 5.8 – Possibilidade de uso da ferramenta em outras áreas (fonte: autor)

Os dois profissionais avaliadores concordam absolutamente com a aplicação da ferramenta de gestão de riscos na abordagem de situações relacionadas com a gestão do desempenho de edificações e com sistemas de gestão da qualidade, enquanto indicam uma possibilidade menor para aplicação em outros sistemas de gestão.

6 – CONCLUSÕES

6.1 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Esta pesquisa foi realizada com o objetivo de desenvolver uma ferramenta de gestão de riscos, utilizada por empresas construtoras e incorporadoras, baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, com o intuito de permitir a identificação de riscos prioritários, o planejamento e monitoramento de ações voltadas para garantia do desempenho de edificações habitacionais segundo as normas NBR 15575.

Com base nos resultados apresentados e analisados no Capítulo 5, verifica-se que tal objetivo foi alcançado, sendo que:

- Foi desenvolvido um modelo de gestão de riscos, baseado na NBR 31000, envolvendo a definição de níveis de risco, planejamento e controle de ações para garantia do desempenho de edificações habitacionais;
- Este modelo foi estruturado em uma planilha eletrônica, baseada em números fuzzy e na técnica de Análise de Árvore de Falhas – FTA, e aprimorado por meio de sua aplicação em empresas construtoras e incorporadoras, com a criação de uma ferramenta de gestão de riscos com enfoque no desempenho de edificações;
- Esta ferramenta foi validada por profissionais de empresas construtoras e incorporadoras, com sua aplicação para edifícios de múltiplos pavimentos na região metropolitana de Goiânia - GO, sendo caracterizada sua efetividade como base para análise dos riscos e tomada de ações relacionados aos requisitos de desempenho estabelecidos nas normas NBR 15575.

Com base na pesquisa realizada pôde ser verificado que a gestão de riscos, baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy*, pode ser utilizada de forma efetiva para auxiliar na avaliação lógica e objetiva da situação de empresas construtoras e incorporadoras no que concerne ao atendimento aos requisitos de desempenho de edificações habitacionais conforme estabelecido nas normas NBR 15575, particularmente quanto à identificação de aspectos prioritários e ao planejamento e controle de ações voltados para a garantia do desempenho.

Neste sentido, os profissionais que validaram a ferramenta apontam que as análises realizadas contribuíram no direcionamento da busca de informações sobre o desempenho da edificação e na fundamentação da discussão sobre as providências a serem implementadas a fim de dar maior tranquilidade à empresa quanto ao atendimento dos requisitos de desempenho.

A ferramenta desenvolvida, particularmente ao incorporar a FTA, proporciona uma visão mais abrangente da aplicação das normas de desempenho NBR 15575, permitindo que todos os processos do ciclo de construção sejam envolvidos. Os eventos de origem e as ações de contenção estabelecidas durante a aplicação da ferramenta para sua validação apontam a importância da etapa de execução de obra, trazendo mais clareza para empresas construtoras e incorporadoras quanto ao papel de seus processos administrativos e de produção com relação à garantia do desempenho das edificações.

A partir desta aplicação da ferramenta, também pôde ser evidenciado o papel de sistemas de gestão da qualidade para a garantia do desempenho de edificações, tendo em vista a natureza das ações de contenção estabelecidas, todas relacionadas a requisitos normativos do PBQP-H SiAC e da NBR ISO 9001.

O modelo de gestão de riscos baseado em matemática *fuzzy* e em FTA foi estruturado de modo lógico e funcionalmente efetivo em uma planilha eletrônica de uso comum, permitindo seu uso sem a necessidade de programas computacionais de disponibilidade mais restrita e, assim, contribuindo para a comunicação e aplicação prática desta pesquisa.

Por outro lado, esta opção pelo uso da planilha eletrônica como base para a estruturação da ferramenta de gestão de riscos trouxe limitações e dificuldades para sua utilização. Entre outras melhorias, há espaço para aperfeiçoamento da ferramenta com relação aos seguintes aspectos:

- Aprimoramento da interface da planilha com o usuário, tornando-a mais amigável, com a redução de espaços de rolagem, incorporação de avisos e sinalizadores para direcionamento dos passos de uso da ferramenta e adoção de uma programação visual mais intuitiva;

- Uso de uma base matemática e lógica que permita retirar as limitações impostas à ferramenta desenvolvida em termos de quantidades de consequências, eventos de origem da FTA e ações de contenção, assim como do número de situações de risco analisadas concomitantemente;
- Facilidade para alteração dos números *fuzzy* arbitrados preliminarmente relacionados a probabilidades associadas aos eventos de origem e às consequências do risco, a efetividade das ações de contenção e dos valores de custos de ações de contenção e equivalentes financeiros de consequências, segundo necessidades e interesses do usuário da ferramenta.

Não obstante, considerando os resultados da avaliação da ferramenta para sua validação, a principal dificuldade identificada no uso da ferramenta desenvolvida se refere à aplicação da Análise de Árvore de Falhas – FTA. Como citado por um dos avaliadores, verifica-se a necessidade de um treinamento mais aprofundado sobre a implementação desta técnica, sendo que erros lógicos em sua aplicação podem desqualificar seus resultados.

Com relação ao método de pesquisa, o *Design Science Research* representa uma metodologia fundamental para pesquisas cujo propósito seja a elaboração de um processo, ferramenta ou produto. Até o início de sua aplicação nesta pesquisa, a tentativa de utilizar metodologias tradicionais redundou em trabalho improdutivo, na busca de justificativas teóricas para soluções na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e na gestão de riscos, o que, no âmbito do *design science*, representam artefatos validados anteriormente. Na opinião deste pesquisador, a promoção desta metodologia dentro de cursos de engenharia é fundamental para alavancar o desenvolvimento de pesquisas com caráter mais prático, com maior utilidade para a sociedade.

Com base no método iterativo e cíclico proposto pelo *Design Science Research*, alguns aspectos significativos vieram à luz durante esta pesquisa: a necessidade do uso do método da análise de árvore de falhas, a definição de probabilidades condicionais relacionadas às consequências decorrentes de um risco e a aplicação do coeficiente de efetividade das ações de tratamento de riscos para monitoramento do risco residual, entre outros desenvolvimentos menores.

Com relação à originalidade desta pesquisa e sua contribuição para o conhecimento, podem ser ressaltados os seguintes pontos:

- Desenvolvimento de uma ferramenta que propicia um procedimento lógico, objetivo, sistemático e efetivo voltado para a garantia do atendimento aos requisitos definidos nas normas de desempenho NBR 15575, que pode ser aplicada por empresas construtoras e incorporadoras;
- Abordagem dos riscos associados aos requisitos de desempenho de edificações habitacionais de uma forma ampla, com a possibilidade de envolvimento de todas as etapas do ciclo de construção, extrapolando os processos relacionados ao desenvolvimento de projetos;
- Aplicação da gestão de riscos baseada na Teoria dos Conjuntos *Fuzzy* e no método de Análise de Árvore de Falhas para abordagem de riscos relacionados ao desempenho de edificações habitacionais.

A generalização do artefato produzido deve ser uma das propostas em pesquisas de *design science*, como afirmado por Venable (2006) e Van Aken; Berends e Van Der Bij (2012). Neste sentido, os profissionais responsáveis pela validação da ferramenta de gestão de riscos desenvolvida relataram concordar completamente com a possibilidade de sua aplicação efetiva tanto na gestão do desempenho de edificações como em sistemas de gestão da qualidade.

6.2 – RECOMENDAÇÕES PARA PESQUISAS FUTURAS

Os resultados desta pesquisa, especialmente aqueles relacionados ao modelo de análise de riscos proposto e à planilha eletrônica desenvolvida, podem proporcionar uma série de outros trabalhos correlatos, entre eles:

- Análise dos riscos relacionados aos diversos requisitos de desempenho a partir de árvores de falhas pré-estruturadas e de consequências preestabelecidas, de modo a se partir de uma análise que englobe todas as possibilidades e permita a comparação das perspectivas de diferentes profissionais e empresas;

- Inclusão no modelo de um coeficiente de efetividade relacionado a ações de contingenciamento, de maneira que possa ser caracterizada uma redução nas consequências associadas ao risco;
- Aplicação do modelo de análise de riscos propostos para outros sistemas construtivos além do sistema de vedações verticais, tratado neste estudo;
- Aplicação do modelo de análise de riscos proposto para análise das prioridades frente às normas de desempenho NBR 15575 e das consequentes ações implementadas para empresas atuantes em diferentes tipologias de edifícios (casas, edifícios de até 5 pavimentos, edifícios com mais de 5 pavimentos, entre outros), para diferentes padrões econômicos de imóvel (habitações populares, edifícios de padrões de acabamento baixo, médio e alto) e diferentes regiões geográficas do país;
- Avaliação do modelo de análise de riscos proposto, com a adaptação da planilha eletrônica desenvolvida, para sua aplicação em sistemas de gestão da qualidade, segundo abordagem mencionada pela norma NBR ISO 9001;
- Avaliação do modelo de análise de riscos proposto, com a adaptação da planilha eletrônica desenvolvida, para sua aplicação de maneira ampla em sistemas de gestão ambiental, de saúde e segurança ocupacional e de responsabilidade social;
- Alteração do modelo proposto com o uso de números *fuzzy* com formas mais complexas, com a aplicação de diferentes métodos relativos a operações matemáticas, assim como com a inclusão das interdependências entre eventos básicos no cálculo de probabilidades, com a verificação de possíveis modificações nos resultados alcançados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABDELGAWAD, Mohamed; FAYEK, Aminah Robinson. Fuzzy reliability analyzer: quantitative assessment of risk events in the construction industry using fuzzy fault-tree analysis. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 137, n. 4, p. 294-302. ASCE, Apr. 2011.

_____. Comprehensive hybrid framework for risk analysis in the construction industry using combined failure mode and effect analysis, fault trees, event trees, and fuzzy logic. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 138, n. 5, p. 642-651. ASCE, May 2012.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 14718**: Guarda-corpos para edificações. Rio de Janeiro, 2008.

_____. **NBR ISO 31000**: Gestão de riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

_____. **NBR 10821-2**: Esquadrias externas para edificações – Parte 2: Requisitos e classificação. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR ISO/IEC 31010**: Gestão de riscos – Técnicas para o processo de avaliação de riscos. Rio de Janeiro, 2012.

_____. **NBR 15575-1**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 1: Requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2013a.

_____. **NBR 15575-2**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 2: Requisitos para os sistemas estruturais. Rio de Janeiro, 2013b.

_____. **NBR 15575-4**: Edificações habitacionais – Desempenho – Parte 4: Requisitos para os sistemas de vedações verticais internas e externas – SVVIE. Rio de Janeiro, 2013c.

_____. **NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade – Requisitos. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR ISO 31000**: Gestão de riscos – Diretrizes. Rio de Janeiro, 2018.

AL-BAHAR, Jamal F.; CRANDALL, Keith C. Systematic risk management approach for construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 116, n. 3. ASCE, sep. 1990.

AL-HUMAIDI, H.M.; TAN, F. Hadipriono. A fuzzy logic approach to model delays in construction projects using rotational fuzzy fault tree models. **Civil Engineering and Environmental Systems**, v. 27, n. 4, p. 329–351. Taylor & Francis, Dec. 2010.

ALENCAR, Antonio Juarez; SCHMITZ, Eber Assis. **Análise de risco em gerência de projetos: com exemplos em @Risk**, 3ª ed. Rio de Janeiro: Brasport, 2012.

ALVES, Bruna; LOURA, Rejane; ANDERY, Paulo; GOMES, Leonardo. Procedimento para redução de riscos no projeto de arquitetura. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa (PB), **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

AKINTOYE, Akintola S.; MACLEOD, Malcolm J. Risk analysis and management in construction. **International Journal of Project Management**, v. 15, n. 1, p. 31-38. Elsevier Science Ltd; IPMA, 1997.

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **Manual setorial orientativo para atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013**, 1ª ed. Fev. 2016.

ANTUNES, Giselle Reis. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – Sistematização de incidência de casos**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, mar. 2010.

ARAÚJO, Almira Mary Cordeiro. **Gerenciamento de riscos em contratos de obras públicas – Estudo de caso: serviços de reforma em imóveis funcionais**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, jul. 2012.

ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15575**. 2016.

AVEN, Terje. The risk concept - historical and recent development trends. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 99, p. 33–44. Elsevier Ltd., 2012.

AVEN, Terje; KROHN, Bodil S. A new perspective on how to understand, assess and manage risk and the unforeseen. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 121, p. 1-10. Elsevier Ltd., 2014.

AZARI, Amir Reza Karimi; MOUSAVI, Neda; MOUSAVI, S. Farid; HOSSEINI, Seyed Bagher. Risk assessment model selection in construction industry. **Expert Systems with Applications**, v. 38, n. 8, p. 9105-9111. Elsevier Ltd., 2011.

AZEVEDO, R. C.; ENSSLIN, L.; JUNGLES, A. E. A review of risk management in construction: opportunities for improvement. **Modern Economy**, v. 5, p. 367-383. 2014.

BALOI, Daniel; PRICE, Andrew D.F. Modelling global risk factors affecting construction cost performance. **International Journal of Project Management**, v. 21, p. 261–269. Elsevier Science Ltd; IPMA, 2003.

BARBOSA, Patrícia; ANDERY, Paulo. Reflexões sobre desafios e tendências na gestão do processo de projeto para adequação à NBR 15.575:2013. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

BARRETO, Felipe; ANDERY, Paulo. Caracterização da concepção de projetos em incorporadoras sob a ótica da gestão de riscos. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE

TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 1167-1176, Maceió (AL), nov. 2014. Marketing Aumentado, 2014.

BEDE, Barnabas. **Mathematics of Fuzzy Sets and Fuzzy Logic**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013.

BELTRÃO, Leandro Modesto Prates. **Priorização de riscos de obras públicas por meio do processo de análise hierárquica fuzzy**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, ago. 2017.

BERNARDINI, Enrica; SPENCE, Seymour M. J.; KWON, Dae-Kun; KAREEM, Ahsan. Performance-based design of high-rise buildings for occupant comfort. **Journal of Structural Engineering**, v. 141, n. 10. ASCE, 2015.

BLACHÈRE, Gérard. **Saber construir: habitabilidad, durabilidad, economía de los edificios**, 3ª. ed. Barcelona (Espanha): Editores Técnicos Associados, 1978.

BÖES, J. S.; PATZLAFF, J. O. Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) aplicada ao controle de qualidade como forma de assegurar desempenho e atendimento da VUP (Vida Útil de Projeto). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, CBPAT 2016, Belém, **anais...**, p. 2089-2099. Belém (PA): ALCONPAT Brasil, abr. 2016.

BOJADZIEV, George; BOJADZIEV, Maria. **Fuzzy logic for business, finance and management**, 2nd ed. World Scientific Publishing Co., 2007.

BOLINA, Fabrício Longhi; PRAGER, Gustavo Luis; RODRIGUES, Eduardo; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 291-305, out./dez. 2015.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**, dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes; SABBATINI, Fernando Henrique. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**, boletim técnico BT/PCC/515. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

BORGES, Raphael Melo. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa – MG**, dissertação de mestrado. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa, jun. 2013.

BRASIL. **Lei nº 8.078**, de 11 de setembro de 1990. Dispõe sobre a proteção do consumidor e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/18078.htm>. Acesso em: 28 fev. 2015. Set. 1990.

_____. Ministério das Cidades. **Desempenho técnico para HIS**. Disponível em: <<http://app.cidades.gov.br/catalogo/>>. Acesso em 2 fev. 2018. 2015.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria nº 13**, de 6 de janeiro de 2017. Dispõe sobre o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC. 2017. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=5dd4812f-bb7e-470e-9cae-15c6d57ffe9d&ext=.pdf&cd=4265>>. Acesso em 5 out. 2017. Jan. 2017.

_____. Ministério das Cidades. **Portaria nº 383**, de 14 de junho de 2018. Dispõe sobre o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção Civil – SiAC. 2018. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=5dd4812f-bb7e-470e-9cae-15c6d57ffe9d&ext=.pdf&cd=4265>>. Acesso em 25 jun. 2018. Jun. 2018.

BRITO, Juliana Nunes de Sá; FORMOSO, Carlo Torres; ECHEVESTE, Márcia Elisa. **Análise de dados de reclamações em empreendimentos habitacionais de interesse social:**

estudo no Programa de Arrendamento Residencial. **Ambiente Construído**, v. 11, n. 4, p. 151-166, Porto Alegre, out./dez. 2011.

BUZZI, Daniele Cristine. **Diretrizes para o gerenciamento de riscos em incorporadoras da construção civil uma abordagem utilizando lógica difusa**, dissertação de mestrado. Florianópolis (SC): Universidade Federal de Santa Catarina, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

CALDEIRA, Daniel Matos. **Diretrizes para o gerenciamento de riscos em contratos de obras públicas: estudo de caso da contratação integrada**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, out. 2015.

CARRARO, Carolina Lemos; DIAS, João Fernando. Diretrizes para prevenção de manifestações patológicas em Habitações de Interesse Social. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 2, p. 125-139, abr./jun. 2014.

CARRARO, Fausto. Análise das informações contidas nos projetos em relação à NBR 15.575. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa – PB, **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

CARVALHO, Michele Tereza Marques. **Metodologia para avaliação da sustentabilidade de habitações de interesse social com foco no projeto**, tese de doutorado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, abr. 2009.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Desempenho de edificações habitacionais: guia orientativo para atendimento à norma ABNT NBR 15575/2013**, 2. ed. Fortaleza: Gadioli Cipolla Comunicação, 2013.

_____. **Dúvidas sobre a norma de desempenho: Especialistas respondem às principais dúvidas e elencam requisitos de suporte para elaboração de projetos**. Brasília, 2015.

_____. **Norma de desempenho: Panorama atual e desafios futuros**, pesquisa setorial, resumo executivo. CBIC, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), abr. 2016.

CHAN, Albert P. C.; CHAN, Daniel W. M.; YEUNG, John F. Y. Overview of the application of “fuzzy techniques” in construction management research. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 11, p. 1241-1252. ASCE, Nov. 2009.

CHAPMAN, Chris; WARD, Stephen. Estimation and evaluation of uncertainty: a minimalist first pass approach. **International Journal of Project Management**, v. 18, p. 369-383. Elsevier Science Ltd; IPMA, 2000.

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

CHEN, Shyi-Ming. Fuzzy system reliability analysis using fuzzy number arithmetic operations. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 64, p. 31-38. Elsevier Science B.V. (North Holland), 1994.

COLETTI, Giulianella; SCOZZAFAVA, Romano. Conditional probability, fuzzy sets, and possibility: a unifying view. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 144, p. 227–249. Elsevier B.V, 2004.

COOPER, Dale; GREY, Stephen; RAYMOND, Geoffrey; WALKER, Phil. **Project risk management guidelines: managing risk in large projects and complex procurements**. Chichester (England): John Wiley & Sons Ltd., 2005.

COTTA, Ana Cláudia. **Contribuição ao estudo dos impactos da NBR 15575:2013 no processo de gestão de projetos em empresas construtoras de pequeno e médio porte**, dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, fev. 2017.

COTTA, Ana Cláudia; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 133-152, jan./mar. 2018.

COTTA, Ana Cláudia; PINHEIRO, Gabriela Becker, ANDERY, Paulo Roberto Pereira. Estudo exploratório sobre o processo de projeto para atender à NBR 151575:2013: Construtoras e Projetistas. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa – PB, **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

CUPERTINO, Daniel; BRANDSTETTER, Maria Carolina Gomes de Oliveira. Proposição de ferramenta de gestão pós-obra a partir dos registros de solicitação de assistência técnica. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 243-265, out./dez. 2015.

DARDENGO, Cássia Figueiredo Rossi. **Identificação de patologias e proposição de diretrizes para manutenção preventiva em edifícios residenciais multifamiliares da cidade de Viçosa – MG**, dissertação de mestrado. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

DEBNATH, Joy; BISWAS, Animesh; SIVAN, Preshobh; SEN, Krishna Nirmalya; SAHU, Subhashis. Fuzzy inference model for assessing occupational risks in construction sites. **International Journal of Industrial Ergonomics**, v. 55, p. 114-128. Elsevier B.V., 2016.

DEL CARLO, Ualfrido. Desempenho de edifícios, ensino de tecnologia da arquitetura, certificação ambiental de edifícios: depoimento [em 1 de outubro, 2007]. **Pós**, n. 22, p. 10-24, dez. 2007. Entrevista concedida a Denise Duarte, Joana Carla Soares Gonçalves e Roberta Consentino Kronka Mülfarth. São Paulo: Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo – FAU-USP, 2007.

DEL MAR, Carlos Pinto. **Direito da construção civil**. São Paulo: Pini; Leud, 2015.

DIEKMANN, James E. Probabilistic estimating: mathematics and applications. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 109, n. 3, p. 297-308. ASCE, Sep. 1983.

DIKMEN, Irem; BIRGONUL, M. Talat; HAN, Sedat. Using fuzzy risk assessment to rate cost overrun risk in international construction projects. **International Journal of Project Management**, v. 25, p. 494–505. Elsevier Ltd; IPMA, 2007.

DOKAS, I.M.; KARRAS, D.A.; PANAGIOTAKOPOULOS, D.C. Fault tree analysis and fuzzy expert systems: Early warning and emergency response of landfill operations. **Environmental Modelling & Software**, v. 24, p. 8–25. Elsevier Ltd, 2009.

DRESCH, Aline. **Design Science e Design Science Research como artefatos metodológicos para engenharia de produção**, dissertação de mestrado. São Leopoldo, RS: Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-graduação em Engenharia de Produção e Sistemas, 2013.

DUBOIS, Didier; PRADE, Henri. Fuzzy real algebra: some results. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 2 (1979), p. 327-348. North Holland, 1978.

ELBARKOUKY, Mohamed M. G.; FAYEK, Aminah Robinson; SIRAJ, Nasir B.; SADEGHI, Naimeh. Fuzzy arithmetic risk analysis approach to determine construction project contingency. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 12. ASCE, 2016.

FAZENDA, Patrícia Tzortzopoulos. **Design Science Research**, vídeo. Palestra realizada no Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU-USP, São Carlos, SP em 12/8/2013. Disponível em: <<http://repositorio.iau.usp.br/handle/RIIAU/52>>. Acesso em: 10 out. 2016. São Carlos (SP): Instituto de Arquitetura e Urbanismo – IAU-USP, jul. 2014.

FERDOUS, Refaul; KHAN, Faisal; VEITCH, Brian; AMYOTTE, Paul R. Methodology for computer aided fuzzy fault tree analysis. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 87, p. 217–226. Elsevier B.V., 2009.

FERDOUS, Refaul; KHAN, Faisal; SADIQ, Rehan; AMYOTTE, Paul; VEITCH, Brian. Fault and event tree analyses for process systems risk analysis: uncertainty handling formulations. **Risk Analysis**, v. 31, n. 1. Society for Risk Analysis, 2011.

FIRMO, Carlos Cesar; PAULO, Andery; SANTOS, Cesar Augusto. Gerenciamento do risco no processo de projeto em construtoras. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa – PB, **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

FODOR, J.; BEDE, B. Arithmetics with fuzzy numbers: a comparative overview. In: The 4th Slovakian-Hungarian Joint Symposium on Applied Machine Intelligence, **proceedings**. Herľany (Slovakia), 2006.

FOLIENSTE, Greg C. Developments in performance-based building codes and standards. **Forest Products Journal**, v. 50, n. 7/8, p. 12-21. Jul./Aug. 2000.

FOLIENSTE, G. C.; LEICESTER, R. H.; PHAM, L. **Development of the CIB Proactive Program on Performance Based Building Codes and Standards**, BCE doc 98/232. Victoria (Australia): CSIRO, Nov. 1998.

FURUTA, Hitoshi; SHIRAIISHI, Naruhito. Fuzzy importance in fault tree analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 12, p. 205-213. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1984.

GAO, Shang; ZHANG, Zaiyue; CAO, Cungen. Multiplication operation on fuzzy numbers. **Journal of Software**, v. 4, n. 4, Jun. 2009. Academy Publisher, 2009.

GIACHETTI, Ronald E.; YOUNG, Robert E.. Analysis of the error in the standard approximation used for multiplication of triangular and trapezoidal fuzzy numbers and the development of a new approximation. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 91, p. 1-13. Elsevier Science B.V., 1997a.

_____. A parametric representation of fuzzy numbers and their arithmetic operators. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 91 (1997), p. 185-202. Elsevier Science B.V., 1997b.

GIBSON, E. J. **Working with the performance approach in building**, CIB report, publication 64. Rotterdam (Netherlands): CIB, Jan. 1982.

GIELINGH, Wim. **General AEC Reference Model (GARM)**, TNO Report IBBC BI-88-150. Delft (Netherlands), 1988.

GODFREY, Patrick S. **Control of risk: a guide to the systematic management of risk from construction**, special publication 125. London (UK): CIRIA – Construction Industry Research and Information Association, 1996.

GONÇALVES, Pedro Henrique. **Automatização do fluxo de informações dentro do processo BIM com foco na avaliação do desempenho térmico, acústico e o custo das decisões projetuais**, tese de doutorado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, jun. 2018.

GRZEGORZEWSKI, Przemysław; MRÓWKA, Edyta. Trapezoidal approximations of fuzzy numbers. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 153, p. 115-135. Elsevier Science B.V., 2005.

GUNDUZ, Murat; NIELSEN, Yasemin; OZDEMIR, Mustafa. Fuzzy assessment model to estimate the probability of delay in turkish construction projects. **Journal of Management in Engineering**, v. 31, n. 4. ASCE, 2015.

HARVETT, Craig Michael. **A study of uncertainty and risk management practice related to perceived project complexity**, PhD thesis. Robina, Queensland (Australia): Bond University, Institute of Sustainable Development and Architecture, May 2013.

HEVNER, Alan R. A Three cycle view of Design Science Research. **Scandinavian Journal of Information Systems**, v. 19, n. 2, p. 87-92, 2007.

HEVNER, Alan R.; MARCH, Salvatore T.; PARK, Jinsoo; RAM, Sudha. Design science in information systems research. **MIS Quarterly**, v. 28, n. 1, p. 75-105, Mar. 2004.

HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz; HESPANHOL, Marcos Zatta; EVANGELISTA, Caroline Lorensato. Caracterização da produção científica relativa à norma brasileira de desempenho. In: SBTIC+SIBRAGEC 2017, 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA

DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 66-73, Fortaleza (CE), nov. 2017.

HOLICKÝ, Milan. Fuzzy probabilistic optimisation of building performance. **Automation in Construction**, v. 8, n. 4, p. 437-443. Elsevier Science B.V, 1999.

HOLMSTRÖM, Jan; KETOKIVI, Mikko; HAMERI, Ari-Pekka. Bridging practice and theory: a design science approach. **Decision Sciences**, v. 40, n. 1, p. 65-87, Feb. 2009. Decision Sciences Institute, 2009.

HOPFE, Christina J.; HENSEN, Jan L.M. Uncertainty analysis in building performance simulation for design support. **Energy and Buildings**, v. 43 (10), p. 2798-2805. Elsevier B. V., 2011.

ISLAM, Muhammad Saiful; NEPAL, Madhav Prasad; SKITMORE, Martin; ATTARZADEH, Meghdad. Current research trends and application areas of fuzzy and hybrid methods to the risk assessment of construction projects. **Advanced Engineering Informatics**, v. 33, p. 112–131. Elsevier Ltd, 2017.

IMBEAH, William; GUIKEMA, Seth. Managing Construction Projects Using the Advanced Programmatic Risk Analysis and Management Model. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 135, n. 8, p. 772-781. ASCE, aug. 2009.

ISO, International Organization for Standardization. **ISO 6241**: Performance standards in building – Principles for their preparation and factors to be considered. London (United Kingdom): ISO, 1984.

_____. **ISO 19208**: Framework for specifying performance in buildings. ISO, 2016.

JANNADI, Osama Ahmed; ALMISHARI, Salman. Risk assessment in construction. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 129, n. 5, p. 492-500. ASCE, Oct. 2003.

JANTZEN, Jan. **Foundations of fuzzy control: a practical approach**, 2nd ed. Somerset, New Jersey (USA): John Wiley & Sons, 2013.

KASANEN, Eero; LUKKA, Kari; SIITONEN, Arto. The constructive approach in management accounting research. **Journal of Management Accounting Research**, v. 5, p. 243-264, Fall 1993.

KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 89-101. São Paulo, 2014.

KIM, C. E.; JU, Y. J.; GENS, M. Multilevel fault tree analysis using fuzzy numbers. **Computers & Operations Research**, v. 23, n. 7, p. 695-703. Elsevier Science Ltd., 1996.

KLIR, George J.; YUAN, Bo. **Fuzzy sets and fuzzy logic: theory and applications**. Upper Saddle River, New Jersey (USA): Prentice Hall PTR, 1995.

KUNREUTHER, Howard. **Risk Analysis and Risk Management in an Uncertain World**. Paper for distinguished achievement award, Society for Risk Analysis Annual Meeting, Seattle, dec. 2001. Philadelphia, Pennsylvania (USA): University of Pennsylvania, Wharton School, Financial Institutions Center, 2001.

LACERDA, Daniel Pacheco; DRESCH, Aline; PROENÇA, Adriano; ANTUNES JÚNIOR, José Antonio Valle. Design Science Research: método de pesquisa para a engenharia de produção. **Gestão e Produção**, v. 20, n. 4, p. 741-761. São Carlos (SP): Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de São Carlos – UFSCar, 2013.

LARSSON, Christian; SAGAR, Vaishak Ramesh. **Quality Parameter Analysis at GKN Aerospace Sweden**, master's thesis. Göteborg (Sweden): Chalmers University of Technology, Department of Product & Production Development, 2014.

LATHAM, Michael. **Constructing the team**: joint review of procurement and contractual arrangements in the United Kingdom construction industry, final report. United Kingdom: Crown, Jul. 1994.

LIN, Ching-Torng; WANG, Mao-Jiun J. Hybrid fault tree analysis using fuzzy sets. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 58, p. 205-213. Elsevier Science Limited, 1997.

LIU, Hao-Tien; TSAI, Yieh-lin. A fuzzy risk assessment approach for occupational hazards in the construction industry. **Safety Science**, v. 50, p. 1067–1078. Elsevier Ltd, 2012.

LORENZI, Luciana Somensi. **Análise crítica e proposições de avanço de metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas**, tese de doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

LORENZI, Luciani Somensi; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto. Impacto da aplicação da ABNT NBR 15575 para os projetos de edificações. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 2372-2382. Maceió: Marketing Aumentado, 2014.

LOURENÇO FILHO, Hamilton. **Análise e proposições de prazos de garantia e planos de manutenção para elementos convencionais de edificações residenciais no Distrito Federal**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, jan. 2009.

MACHADO, Maurício; ANDERY, Paulo. Avaliação do nível de maturidade dos projetos com foco em garantia do desempenho. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa (PB), **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

MAHL, Rosana Elisa; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Aplicabilidade da norma NBR 15.575/2008 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho: estudo de caso e análise crítica. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2010, **anais...**, Canela (RS), out. 2010.

MAHMOOD, Y. A.; AHMADI, A.; VERMA, A. K.; SRIVIDYA, A.; KUMAR, U. Fuzzy fault tree analysis: a review of concept and application. **International Journal of System Assurance Engineering and Management**, v. 4, n. 1, p. 19–32. Springer, Mar. 2013.

MANSOUR-REZAEI, Saheb; NASER, Gholamreza; SADIQ, Rehan. A comparison of various uncertainty models: an example of subsurface contaminant transport. **Journal of Hydro-Environment Research**, v. 6, p. 311-321. Elsevier B.V., 2012.

MARCH, Salvatore T.; SMITH, Gerald F. Design and natural science research on information technology. **Decision Support Systems**, v. 15 (1995), p. 251-266. Elsevier Science B. V., 1995.

MENDEL, Jerry M. Fuzzy logic systems for engineering: a tutorial. **Proceedings of IEEE**, v. 83, n. 3, p. 345-377. IEEE, Mar. 1995.

MILHOMEM, Danilo Alcantara; MELO, André Cristiano Silva; SILVA, Denilson Costa da. Fatores de riscos em projetos de habitação de interesse social: revisão sistemática da literatura. In: SBTIC+SIBRAGEC 2017, 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p.140-148, Fortaleza (CE), nov. 2017.

MISRA, Krishna B.; WEBER, Gunter G. A new method for fuzzy fault tree analysis. **Microelectronics Reliability**, v. 29, n. 2, p. 195-216. Pergamon Press, 1989.

_____. Use of fuzzy set theory for level-I studies in probabilistic risk assessment. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 37, p. 139-160. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990.

MITIDIERI FILHO, Cláudio V.; HELENE, Paulo R. L. **Avaliação de desempenho de componentes e elementos construtivos inovadores destinados a habitações: proposições específicas à avaliação do desempenho estrutural**, boletim técnico BT/PCC/208. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 1998.

MULHOLLAND, B.; CHRISTIAN, J. Risk assessment in construction schedules. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 125, n. 1, p. 8-15. ASCE, Jan/Feb. 1999.

NACHTMANN, Heather; NEEDY, Kim LaScola. Methods for handling uncertainty in Activity Based Costing systems. **The Engineering Economist**, v. 48, n. 3, p. 259-282. Institute of Industrial Engineers, 2003.

NICOLINI, Elda. **A norma de desempenho como orientação para a elaboração do Código de Obras de Santana do Livramento – RS**, dissertação de mestrado. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, abr. 2015.

NIETO-MOROTE, A.; RUZ-VILA, F. A fuzzy approach to construction project risk assessment. **International Journal of Project Management**, v. 29, p. 220–231. Elsevier Ltd; IPMA, 2011.

OKAMOTO, Patricia Seiko. **Os impactos da norma brasileira de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**, dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015.

OKAMOTO, Patricia Seiko; MELHADO, Silvio Burrattino. A norma brasileira de desempenho e o processo de projeto de empreendimentos residenciais. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 1973-1982. Maceió: Marketing Aumentado, 2014.

OLIVEIRA, Luciana Alves; MITIDIERI FILHO, Claudio Vicente. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as

vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 7, n. 1, p. 90-100, mai. 2012. São Carlos, 2012.

OLIVEROS, Adriana V. Ordóñez; FAYEK, Aminah Robinson. Fuzzy logic approach for activity delay analysis and schedule updating. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 131, n. 1, p. 42-51. ASCE, 2005.

ONO, Rosaria; ORNSTEIN, Sheila Walbe; OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; GALVÃO, Walter José Ferreira. Avaliação pós-ocupação: pré-teste de instrumentos para verificação do desempenho de empreendimentos habitacionais em sistemas construtivos inovadores. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 64-78, jan./jun. 2015.

OTERO, Juliano Araújo; SPOSTO, Rosa Maria. Implantação da ABNT NBR 15575:2013 em empresas incorporadoras e construtoras a partir de processos de sistemas de gestão da qualidade. In: XV ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 1247-1256, Maceió (AL), nov. 2014. Marketing Aumentado, 2014.

_____. Caracterização da atuação de construtoras e incorporadoras de Goiânia - GO frente às normas de desempenho ABNT NBR 15575:2013. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2016, **anais...**, p. 3948-3962. São Paulo, set. 2016a.

_____. Modelo de análise de riscos baseada em matemática *fuzzy* para suporte à gestão do desempenho de edificações habitacionais. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2016, **anais...**, p. 3963-3976. São Paulo, set. 2016b.

OYEGOKE, Adekunle. The constructive research approach in project management research. **International Journal of Managing Projects in Business**, v. 4, n. 4, p. 573-595. Emerald Group Publishing, 2011.

PAEK, James H.; LEE, Yong W.; OCK, Jong H. Pricing construction risk: fuzzy set application. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 119, n. 4, p. 743-756. ASCE, Dec. 1993.

PAN, Han Suk; YUN, Won Young. Fault tree analysis with fuzzy gates. **Computers & Industrial Engineering**, proceedings of 1996 ICC&IC, v. 33, n. 3-4, p. 569-572. Elsevier Science Ltd, 1997.

PATÉ-CORNELL, M. Elisabeth. Uncertainties in risk analysis: six levels of treatment. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 54, p. 95-111. Northern Ireland: Elsevier Science Limited, 1996.

PAULA, Nathália de; UECHI, Mônica Emiko; MELHADO, Silvio Burrattino. Novas demandas para as empresas de projeto de edifícios. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 3, p. 137-159, jul./set. 2013. Porto Alegre: ANTAC, 2013.

PAWAN, Pajjit; LORTERAPONG, Pasit. A fuzzy-based integrated framework for assessing time contingency in construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 142, n. 3. ASCE, 2016.

PEDRO, J. B.; BOURERI, J. J. Social housing in Portugal and in the municipality of São Paulo: comparison of space standards. **International Journal for Housing Science**, v. 35, n. 44, p. 233-242. IAHS, 2011.

PEFFERS, Ken; TUUNANEN, Tuure; ROTHENBERGER, Marcus A.; CHATTERJEE, Samir. A design science research methodology for information systems research. **Journal of Management Information Systems**, v. 24 (Winter 2007/2008), n. 3, pp. 45-77. M.E. Sharpe, 2007.

PIÑA, Ana Beatriz Souza; VIANA, Vanessa Lequesteboumes; CARVALHO, Michele Tereza; MERTEN, Henrique Oliveira. Mapeamento sistemático da literatura referente ao gerenciamento de riscos nas fases de projeto. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa (PB), **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

PINTO, Abel. QRAM a qualitative occupational safety risk assessment model for the construction industry that incorporate uncertainties by the use of fuzzy sets. **Safety Science**, v. 63, p. 57–76. Elsevier Ltd, 2014.

PMI, Project Management Institute. **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**, 5th ed. Newton Square, Pennsylvania (USA): Project Management Institute, 2013.

PREISER, Wolfgang F.E.; SCHRAMM, Ulrich. A conceptual framework for building performance evaluation. In: PREISER, Wolfgang F.E.; VISCHER, Jacqueline C. (Ed.). **Assessing Building Performance**. Burlington, Massachusetts (USA): Elsevier Butterworth-Heinemann, 2005.

PURBA, Julwan Hendry; LU, Jie; ZHANG, Guangquan; PEDRYCZ, Witold. A fuzzy reliability assessment of basic events of fault trees through qualitative data processing. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 243, p. 50-69. Elsevier B.V., 2014.

REZAKHANI, Pejman. A review of fuzzy risk assessment models for construction projects. **Slovak Journal of Civil Engineering**, v. XX, n. 3, p. 35-40. Slovak University of Technology, 2012.

ROCHA, Cecília Gavina da. **A conceptual framework for defining customization strategies in the house-building sector**, tese de doutorado. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2011.

RODRIGUES, Marta Filipa Oliveira. **Análise de risco em projectos de construção**, dissertação de mestrado. Porto (Portugal): Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jun. 2009.

RODRÍGUEZ, Gloria Calleja; ANDRÉS, Antonio Carrillo; MUÑOZ, Fernando Domínguez; LÓPEZ, José Manuel Cejudo; ZHANG, Yi. Uncertainties and sensitivity analysis in building energy simulation using macroparameters. **Energy and Buildings**, v. 67, p. 79–87. Elsevier B.V., 2013.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de análise dos modos de falhas e seus efeitos e análise de árvore de falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**, dissertação de mestrado. Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Santa Catarina, abr. 2001.

SANTOS, Flávia Maria Ávila dos. **Impactos da aplicação da ABNT NBR 15.575/2013 nas empresas de edificações**, dissertação de mestrado. Juiz de Fora (MG): Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, mar. 2017.

SANTOS, Flávia Maria Ávila dos Santos; HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz. Gestão da manutenção e a NBR 15.575/2013. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Entac 2016, **anais**, p. 3311-3320. São Paulo, set. 2016.

SANTOS, Rúbia Bernadete Pereira dos; ISATON, Camila; JUNGLES, Antônio Edésio; SILVA JUNIOR, Ovidio Felipe Pereira da. Gerenciamento de risco na construção civil: Teoria x prática. In: SIBRAGEC ELAGEC 2015, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 246-354. São Carlos (SP), out. 2015.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos. **Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em Brasília-DF**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, jun. 2015.

SCHIEG, Martin. Risk management in construction project management. **Journal of Business Economics and Management**, v. VII, n. 2, p. 77–83. 2006.

SILER, Willliam; BUCKLEY, James J. **Fuzzy expert systems and fuzzy reasoning**. Hoboken, New Jersey (USA): John Wiley & Sons, 2005.

SILVA, Adriana Teresinha da. **Comparativo entre os processos de implantação do Código Técnico das Edificações na Espanha e NBR 15575:2008 – Desempenho no**

Brasil, dissertação de mestrado. São Leopoldo (RS): Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, ago. 2011.

SILVA, Cláudio Oliveira. **Manual de desempenho – alvenaria com blocos de concreto**. São Paulo (SP): ABCP, BlocoBrasil, Sinaprocim, 2014.

SILVA, Dennis Wilfredo Roldán. **Análise de falhas e suas consequências na operação de navios transportadores de gás natural liquefeito**, dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2013.

SILVA, Vanessa Fernandes. **Análise de risco na construção – Guia de procedimentos para gestão**, dissertação de mestrado. Porto (Portugal): Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jun. 2012.

SILVA, Flávio; ARANTES, Eduardo. Proposta de verificação automática dos requisitos de projetos pelo uso de ferramentas de análise BIM aplicados a norma de desempenho. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Entac 2016, **anais**, p. 5039-5052. São Paulo, set. 2016.

SILVA, Arthur Santos; GHISI, Enedir. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014a.

_____. Uncertainty analysis of user behaviour and physical parameters in residential building performance simulation. **Energy and Buildings**, v. 76, p. 381–391. Elsevier B.V., 2014b.

SILVA, Nelson Gustavo Monteiro; SOUZA, Flávia Rodrigues de. Processo de gestão de risco para construtoras e incorporadoras. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRuíDO, 2017, João Pessoa (PB), **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

SILVA, Marcus Vinicius Rosário da; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira. Análise da contribuição da ABNT NBR 15.575 para a engenharia diagnóstica. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2016, **anais...**, p. 5440-5452. São Paulo, set. 2016.

SILVA, Adriana Teresinha; KERN, Andrea Parisi; PICCOLI, Rossana; GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção. **Arquiteturarevista**, v. 10, n. 2, p. 105-114, jul/dez 2014a.

SILVA, Arthur Santos; SORGATO, Marcio José; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; GHISI, Enedir. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014b.

SILVA, Denilson Costa da; MILHOMEM, Danilo Alcantara; OLIVEIRA, Tassio Felipe Alves; SAMPAIO, Darlem Marinho. Hierarquização de riscos de projeto pertencente ao programa Minha Casa Minha Vida. In: SIBRAGEC ELAGEC 2015, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 606-613, São Carlos (SP), out. 2015.

SIMON, Hebert A. **The sciences of the artificial**, 3rd ed. Massachusetts Institute of Technology, MIT Press, 1996.

SIMS, B. L.; BAKENS, W. J. P. CIB Performance Based Building (PeBBu) thematic network. In: 9th International Conference on Durability of Building Materials and Components, **proceedings**. Rotterdam (Netherlands), 2002.

SINAENCO, Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva. **NBR 15575:2013 – Os impactos da norma de desempenho no setor da arquitetura e engenharia consultiva**. São Paulo, jul. 2015.

SINGER, D. A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 34, p. 145-155. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1990.

SIVANANDAM, S. N.; SUMATHI, S.; DEEPA, S. N. **Introduction to Fuzzy Logic using MATLAB**. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2007.

SOUZA, Jonas Leonardo Pessanha de. **Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em Novo Hamburgo / RS**, dissertação de mestrado. São Leopoldo (RS): Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, out.2016.

SOUZA, Roberto de. **O conceito de desempenho aplicado às edificações**. São Paulo: O Nome da Rosa, jul. 2015.

SOUZA, Roberto de; MEKBEKIAN, Geraldo; SILVA, Maria Angélica Covelo; LEITÃO, Ana Cristina Munia Tavares; SANTOS, Marcia Menezes. **Sistema de gestão da qualidade para empresas construtoras**. São Paulo: Centro de Tecnologia de Edificações – CTE, Sebrae-SP, Sinduscon-SP, 1994.

SPEKKINK, Dik. **Performance based design of buildings – PeBBu domain 3: final domain report**. Rotterdam (Netherlands): CIB, Oct. 2005.

STAMATELATOS, Michael; VESELY, William; DUGAN, Joanne; FRAGOLA, Joseph; MINARICK III, Joseph; RAILSBACK, Jan. **Fault tree handbook with aerospace applications**, version 1.1. Washington, DC (USA): NASA, Aug. 2002.

SURESH, P.V.; BABAR, A.K.; VENKAT RAJ, V. Uncertainty in fault tree analysis: A fuzzy approach. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 83, p. 135-141. Elsevier Science B.V., 1996.

TANAKA, Hideo; FAN, L. T.; LAI, F. S.; TOGUCHI, K. Fault-tree analysis by fuzzy probability. **IEEE Transactions On Reliability**, v. R-32, n. 5, p. 453-457. IEEE, Dec. 1983.

TAROUN, Abdulmaten. Towards a better modelling and assessment of construction risk: Insights from a literature review. **International Journal of Project Management**, v. 32, p. 101-115. Elsevier Ltd., 2014.

TURKSEN, I.B. Measurement of membership functions and their acquisition. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 40, p. 5-38. Elsevier Science Publishers B.V. (North-Holland), 1991.

TYAGI, Sanjay Kumar; PANDEY, D.; TYAGI, Reena. Fuzzy set theoretic approach to fault tree analysis. **International Journal of Engineering, Science and Technology**, v. 2, n. 5, p. 276-283. MultiCraft Limited, 2010.

VAISHNAVI, Vijay; KUECHLER, Bill. **Design Science Research in information systems**, publicado em 20 jan. 2004, atualizado em 15 nov. 2015. Disponível em: <http://www.desrist.org/design-research-in-information-systems>. Acesso em: 20 jan. 2015. Jan. 2004.

VAN AKEN, Joan Ernst. Management research based on the paradigm of the design sciences: the quest for field-tested and grounded technological rules. **Journal of Management Studies**, v. 41, n. 2, p. 219-246, Mar. 2004. Blackwell Publishing, 2004.

VAN AKEN, Joan Ernst; BERENDS, Hans; VAN DER BIJ, Hans. **Problem solving in organizations: a methodological handbook for business and management students**, 2nd ed. New York (USA): Cambridge University Press, 2012.

VENABLE, John R. The role of theory and theorising in design science research. In: First International Conference on Design Science Research in Information Systems and Technology, DESRIST 2006, **proceedings**, 24 February 2006, Claremont, CA, p. 1-18. Claremont, California (USA): Claremont Graduate University, 2006.

VIEIRA, Andressa B. I.; REZENDE, Carla B.; CARNEIRO, Raquel S.; HIPPERT, M. Aparecida S. Processo de projeto em escritório de arquitetura: gestão da qualidade e NBR 15.575. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, João Pessoa – PB, **anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2017.

WIERMAN, Mark J. **An introduction to the mathematics of uncertainty**. Omaha, Nebraska (USA): Creighton University, Ago. 2010.

YAZDANI-CHAMZINI, Abdolreza. Proposing a new methodology based on fuzzy logic for tunneling risk assessment. **Journal of Civil Engineering and Management**, v. 20, n. 1, p. 82-94. Taylor & Francis; VGTU, 2014.

YAZDI, Mohammad. Hybrid probabilistic risk assessment Using Fuzzy FTA and Fuzzy AHP in a process industry. **Journal of Failure Analysis and Prevention**, v. 17, n. 4, p. 756–764. Springer, Aug. 2017. YEH, Chi-Tsuen. Trapezoidal and triangular approximations preserving the expected interval. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 159 (2008), p. 1345 – 1353. Elsevier B.V., 2008.

YILDIZ, Acelya Ecem; DIKMEN, Irem; BIRGONUL, M. Talat; ERCOSKUN, Kerem; ALTEN, Selcuk. A knowledge-based riskmapping tool for cost estimation of international construction projects. **Automation in Construction**, v. 43, p. 144–155. Elsevier B.V., 2014.

YIU, Tak Wing; CHEUNG, Sai On; LOK, Cho Lei. A fuzzy fault tree framework of construction dispute negotiation failure. **IEEE Transactions On Engineering Management**, v. 62, n. 2, p. 171-183. IEEE, May 2015.

ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, p. 338-353. 1965.

_____. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. **Information Sciences**, v. 8, p. 199-249. American Elsevier Publishing Company, 1975.

ZADEH, Lofti A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. **IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics**, v. SMC-3, n. 1, p. 28-44. Jan. 1973.

_____. Fuzzy probabilities. **Information Processing & Management**, v. 20, n. 3, p. 363-372. Pergamon Press Ltd., 1984.

ZENG, Jiahao; AN, Min; SMITH, Nigel John. Application of a fuzzy based decision making methodology to construction project risk assessment. **International Journal of Project Management**, v. 25, p. 589–600. Elsevier Ltd, IPMA, 2007.

ZHANG, Guomin; ZOU, Patrick X. W. Fuzzy analytical hierarchy process risk assessment approach for joint venture construction projects in China. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 133, n. 10, p. 771-779. ASCE, 2007.

ZHOU, Jian-Lan; SHIA, Yuan-Biao; SUN, Zhi-Yu. A hybrid fuzzy FTA-AHP method for risk decision-making in accident emergency response of work system. **Journal of Intelligent & Fuzzy Systems**, v. 29, p. 1381–139. IOS Press, 2015.

APÊNDICES

APÊNDICE A – FERRAMENTA DE GESTÃO DE RISCOS


 <p>Universidade de Brasília - Faculdade de Tecnologia Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil</p>	
<p>Gestão do Desempenho de Edificações Habitacionais - Análise de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy Pesquisa de Doutorado sob responsabilidade de Juliano Araújo Otero</p>	
1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	
1.2 - Descrição do Risco	
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	
2.1.1 - Materiais e Componentes	
2.1.2 - Recursos Humanos	
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	
2.1.6 - Medição e Controle	
2.1.7 - Fatores Ambientais	
2.1.8 - Manutenção	
2.2 - Nível de Conhecimento	

Figura A.1 – Layout da planilha de gestão de riscos desenvolvida (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		Tendência
				Mínimo	Máximo	

(expectativa de consequência)

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO				
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade

(valores planejados) (valores originais) (valores alcançados)

Figura A.1 – Layout da planilha de gestão de riscos desenvolvida (continuação)

APÊNDICE B – QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA



Universidade de Brasília – Faculdade de Tecnologia
Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil

Gestão do Desempenho de Edificações Habitacionais – Análise de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy
Pesquisa de Doutorado sob responsabilidade de Juliano Araújo Otero

CARACTERÍSTICAS DA EDIFICAÇÃO HABITACIONAL ANALISADA

Número total de pavimentos: pavimentos
Número de pavimentos com apartamentos (tipo + cobertura): pavimentos
Área total do empreendimento: m²
Área dos apartamentos (valor médio): m²
Padrão da edificação: Alto Médio Popular
Localização (município, estado): ,

AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA PROPOSTA

Número de aplicações da ferramenta (realizadas antes desta avaliação): aplicações

Considerando as diferentes etapas de aplicação da ferramenta proposta, avalie os níveis de utilidade e de dificuldade de uso e análise relacionadas a (avaliar com nota de 0 a 5, correspondendo ao nível de utilidade ou dificuldade identificado):

Caracterização do Risco	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:
Contextualização do Risco	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:
Caracterização de Consequências relacionadas ao Risco	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:
Caracterização dos Eventos de Origem do Risco	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:
Informações sobre Níveis de Risco	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:
Planejamento e Controle de Ações de Contenção	Nível de Utilidade: Nível de Dificuldade:	Comentários:

Em uma análise mais ampla, a ferramenta proposta torna o processo de análise de riscos e planejamento de ações para garantia do desempenho de edificações (avaliar com nota de 0 a 5, onde o 0 corresponde a discordar completamente e o 5 corresponde a concordar completamente):

Mais Fácil?	Nota:	Comentários:
Mais Simples?	Nota:	Comentários:
Mais Efetivo?	Nota:	Comentários:
Mais Completo?	Nota:	Comentários:
Mais Caro?	Nota:	Comentários:
Mais Demorado?	Nota:	Comentários:

Pensando nas práticas adotadas pela empresa, a ferramenta proposta pode ser utilizada em processos ligados a:
(avaliar com nota de 0 a 5, onde o 0 corresponde a discordar completamente e o 5 corresponde a concordar completamente)

Gestão do Desempenho de Edificações?	Nota:	Comentários:
Sistema de Gestão da Qualidade?	Nota:	Comentários:
Outros Sistemas de Gestão?	Nota:	Comentários:
Outras situações não citadas anteriormente?	Nota:	Comentários:

Sugestões e outras observações:

RESPONSÁVEL POR AVALIAÇÃO

Função do Responsável pela Avaliação:

Data:

Figura B.1 – Questionário de avaliação da ferramenta de gestão de riscos (fonte: autor)

APÊNDICE C – RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE FERRAMENTA

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	NBR 15575-4 Item 11.2 - Adequação de paredes externas para desempenho térmico
1.2 - Descrição do Risco	Não atendimento aos requisitos de capacidade térmica e transmitância .
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	Alvenaria de bloco cerâmico 11x19x29cm, constituído por reboco e pintura texturizada.
2.1.1 - Materiais e Componentes	Alvenaria em bloco cerâmico, com dimensão a ser definida, reboco convencional e pintura texturizada.
2.1.2 - Recursos Humanos	Funcionários treinados nos procedimentos de execução do serviço (ISO 9001)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Serão desenvolvidos internamente detalhamento da solução construtiva.
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Procedimentos de execução dos serviços (ISO 9001)
2.1.6 - Medição e Controle	Atraves do formulário de verificação de serviço. (ISO 9001) .Não há controle específico da espessura do reboco.
2.1.7 - Fatores Ambientais	Em dias muito secos, um dia após a aplicação do reboco é realizado a cura da fachada para evitar fissuras e futuros deslocamentos.
2.1.8 - Manutenção	Mudanças na cor da fachada podem alterar o requisito
2.2 - Nível de Conhecimento	Participação de cursos na norma 15575/2013
Regular	

Figura C.1 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		Tendência
				Mínimo	Máximo	
C01	Modificação da fachada	Contingenciamento	Extremamente Baixa	141.840,00	1.000.000,00	Menor Valor
C02	Processos de usuários	Legal	Praticamente Nula	30.000,00	300.000,00	Menor Valor
C03	Danos a imagem	Institucional	Praticamente Nula	30.000,00	300.000,00	Menor Valor

(expectativa de consequência)
35.697,33
2.280,00
2.280,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO			
Item	Descrição	Conector	Probabilidade
E01	Erro humano na execução de serviço	E1	Regular
E02	Falha no controle da execução do serviço	E1	Praticamente Certa
E03	Alteração de cor durante manutenção	OU1	Baixa
E04	Falha de comunicação da especificação ao suprimentos	E2	Muito Baixa
E05	Disponibilidade de material não conforme no mercado	E2	Baixa
E06	Compra de material não conforme	OU2	Extremamente Baixa
E07	Falha na especificação do material em projeto	OU1	Muito Baixa
E1		OU1	
E2		OU2	
OU1		TOPO	
OU2		OU1	

(valores planejados) (valores alcançados)
10,00% 0,29% 10,00%
90,00% 9,33% 90,00%
5,00% 0,58% 5,00%
1,00% 1,00% 1,00%
5,00% 5,00% 5,00%
0,10% 0,10% 0,10%
1,00% 1,00% 1,00%
9,33% 0,04% 9,33%
0,06% 0,06% 0,06%
14,74% 1,77% 14,74%
0,16% 0,16% 0,16%

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	8.611,55
Probabilidade Original	14,74%
Consequências (valor condicionado ao risco)	40.257,33
Nível de Risco Planejado	1.109,57
Redução Planejada do Nível de Risco	7.501,98
Probabilidade Planejada	1,77%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	475,60
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	7.026,38
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	15,77
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

Figura C.1 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM															
E01		Erro humano na execução de serviço		Probabilidade Original		10,00%		Probabilidade Planejada		0,29%		Probabilidade Alcançada		10,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de		Extremamente Efetivo					50,00		500,00	Regular			Planejado, Não Executado	
E02	Falha no controle da execução do serviço		90,00%											90,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
3	Inclusão de novos critérios para verificação de serviço do reboco		Muito Efetivo					100,00		300,00	Menor Valor			Planejado, Não Executado	
E03	Alteração de cor durante manutenção		5,00%											5,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
4	Inclusão de informação sobre mudança da cor da fachada no manual de uso		Muito Efetivo					1,00		50,00	Menor Valor			Planejado, Não Executado	
E04	Falha de comunicação da especificação ao suprime		1,00%											1,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
E05	Disponibilidade de material não conforme no mercado		5,00%											5,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
E06	Compra de material não conforme		0,10%											0,10%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		
E07	Falha na especificação do material em projeto		1,00%											1,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Original	Efetividade Esperada	Custo Esperado		Probabilidade Planejada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
		Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		Mínimo	Máximo		

Figura C.1 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	
12.3 - Parte 4 - Níveis de ruído na habitação	
1.2 - Descrição do Risco	Não atendimento ao requisito de desempenho acústico de fachada
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	
Alvenaria de bloco cerâmico 11x19x29 cm, constituído por reboco e pintura texturizada. Janela de correr alumínio e vidro. Laje técnica de aparelhos de ar condicionado ao lado dos quartos suite (casa). Pavimentos inferiores com influência de ruído da área comum (piscina, quadra e salão de festas)	
2.1.1 - Materiais e Componentes	Alvenaria de bloco cerâmico 11x19x29cm, constituído por reboco e pintura texturizada. Janela de correr alumínio e vidro.
2.1.2 - Recursos Humanos	Funcionários treinados nos procedimentos de execução do serviço (ISO 9001)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Serão desenvolvidos internamente detalhamento da solução construtiva.
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Procedimentos de execução dos serviços (ISO 9001)
2.1.6 - Medição e Controle	Através do formulário de verificação de serviço. (ISO 9001). Não há controle específico da espessura do reboco. Não há controle de questões acústicas para instalação de janelas.
2.1.7 - Fatores Ambientais	-
2.1.8 - Manutenção	-
2.2 - Nível de Conhecimento	Necessidade de mais informações sobre acústicas de esquadrias, definição sobre os níveis de ruídos de equipamentos, definição de influência de ruídos gerados pela área comum.
Baixo	

Figura C.2 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO							
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente			(expectativa de consequência)
				Mínimo	Máximo	Tendência	
C01	Tratamento acústico nas paredes	Contingenciamento Financeiro Institucional	Muito Baixa	312.000,00	620.000,00	Regular	51.733,33
C02	Redução do preço de apartamento		Praticamente Nula	15.000,00	780.000,00	Menor Valor	5.760,00
C03	Danos a Imagem		Muito Baixa	15.000,00	780.000,00	Menor Valor	44.850,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	(valores planejados)	(valores alcançados)
					(valores originais)	
E01	Erro humano no assentamento da janela	E1	Mão de Obra	Regular	10,00%	10,00%
E02	Falha no controle do assentamento da esquadria	E1	Medição e Controle	Regular	10,00%	5,67%
E03	Erro humano na execução da parede	E2	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E04	Falha no controle de execução da parede	E2	Medição e Controle	Muito Alta	30,00%	17,00%
E05	Falha no recebimento da esquadria	E3	Medição e Controle	Baixa	5,00%	5,00%
E06	Disponibilidade de esquadrias não conforme no mercado	E3	Materiais e Componentes	Muito Alta	30,00%	30,00%
E07	Falha de projeto com relação a exposição de ruídos externos	OU1	Projeto e Informações	Extremamente Alta	50,00%	50,00%
E08	Falha de projeto na especificação de janelas e paredes	OU1	Projeto e Informações	Alta	20,00%	20,00%
E1		OU1			1,17%	1,17%
E2		OU1			0,35%	0,35%
E3		OU1			1,75%	1,75%
OU1		TOPO			59,22%	59,22%

Figura C.2 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	77.908,12
Probabilidade Original	59,22%
Consequências (valor condicionado ao risco)	102.343,33
Nível de Risco Planejado	2.150,88
Redução Planejada do Nível de Risco	75.757,24
Probabilidade Planejada	1,10%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	51.820,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	23.937,24
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	1,46
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM						
E01		Erro humano no assentamento da janela		Probabilidade Original		10,00%
Item	Descrição	Probabilidade Planejada		Probabilidade Alcançada		Situatção de Planejamento e Implantação
		Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de	Mínimo	50,00	Máximo	500,00	Tendência Regular Planejado, Não Executado
		10,00%		5,67%		10,00%
E02		Falha no controle do assentamento da esquadria		Probabilidade Original		10,00%
Item	Descrição	Probabilidade Planejada		Probabilidade Alcançada		Situatção de Planejamento e Implantação
		Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de	Mínimo	50,00	Máximo	500,00	Tendência Regular Planejado, Não Executado
		10,00%		5,67%		10,00%

Figura C.2 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

E03	Erro humano na execução da parede	Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	0,57%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	275,00	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	1	Efetividade Regular	Mínimo	Máximo	500,00	Tendência	Planejado, Não Executado
E04	Falha no controle de execução da parede	Probabilidade Original	30,00%	Probabilidade Planejada	17,00%	Probabilidade Alcançada	30,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	275,00	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	1	Efetividade Regular	Mínimo	Máximo	500,00	Tendência	Planejado, Não Executado
E05	Falha no recebimento da esquadria	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	0,58%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	360,00	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	6	Muito Efetivo	Mínimo	Máximo	600,00	Tendência	Planejado, Não Executado
E06	Disponibilidade de esquadrias não conforme no me	Probabilidade Original	30,00%	Probabilidade Planejada	30,00%	Probabilidade Alcançada	30,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo	Máximo		Tendência	Planejado, Não Executado
E07	Falha de projeto com relação a exposição de ruídos	Probabilidade Original	50,00%	Probabilidade Planejada	0,20%	Probabilidade Alcançada	50,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	25.180,00	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	3	Muito Efetivo	Mínimo	Máximo	300,00	Tendência	Planejado, Não Executado
	5	Extremamente Efetivo			40.000,00	Menor Valor Regular	Planejado, Não Executado
E08	Falha de projeto na especificação de janelas e pared	Probabilidade Original	20,00%	Probabilidade Planejada	0,08%	Probabilidade Alcançada	20,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	25.180,00	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	3	Muito Efetivo	Mínimo	Máximo	300,00	Tendência	Planejado, Não Executado
	5	Extremamente Efetivo			40.000,00	Menor Valor Regular	Planejado, Não Executado

Figura C.2 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	
10.1 Infiltração de água nos sistemas de vedações verticais externas fachadas	
1.2 - Descrição do Risco	
Não atendimento ao requisito de estanqueidade de fachada	
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	
Alvenaria de bloco cerâmico 11x19x29cm, construído por reboco e pintura texturizada. Janela de correr alumínio e vidro.	
2.1.1 - Materiais e Componentes	Alvenaria de bloco cerâmico 11x19x29cm, constituído por reboco e pintura texturizada. Janela de correr alumínio e vidro.
2.1.2 - Recursos Humanos	Funcionários treinados nos procedimentos de execução do serviço (ISO 9001)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	-
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Procedimentos de execução dos serviços (ISO 9001)
2.1.6 - Medição e Controle	Atraves do formulário de verificação de serviço. (ISO 9001). Não há controle específico da espessura do reboco. Não há testes para estanqueidade de janelas realizados pela obra.
2.1.7 - Fatores Ambientais	-
2.1.8 - Manutenção	
2.2 - Nivel de Conhecimento	
Regular	Participação de cursos na norma 15575/2013

Figura C.3 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		
				Mínimo	Máximo	Tendência
C01	Impermeabilização na fachada	Contingenciamento Institucional Legal Financeiro	Extremamente Baixa Muito Baixa Praticamente Nula Praticamente Nula	50.000,00	350.000,00	Regular
C02	Danos a imagem			15.000,00	300.000,00	Menor Valor
C03	Processos de usuários			30.000,00	300.000,00	Menor Valor
C04	Redução do preço do apartamento			15.000,00	300.000,00	Menor Valor

(expectativa de consequência)
14.000,00
17.650,00
2.280,00
2.240,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	Probabilidade	
					(valores planejados)	(valores alcançados)
E01	Erro humano na execução da parede	E1	Mão de Obra	Regular	10,00%	10,00%
E02	Falha no controle da execução da parede	E1	Medição e Controle	Praticamente Certa	90,00%	90,00%
E03	Disponibilidade de esquadria não conforme entre fornecedores	E2	Materiais e Componentes	Baixa	26,23%	5,00%
E04	Falha de comunicação da especificação ao suprimentos	E2	Operações e Métodos	Muito Baixa	5,00%	1,00%
E05	Erro humano na execução da esquadria	E3	Mão de Obra	Regular	10,00%	10,00%
E06	Falha no controle do assentamento da esquadria	E3	Medição e Controle	Alta	20,00%	20,00%
E07	Falha nas especificações de projeto	OU1	Projeto e Informações	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E1		OU1			9,33%	9,33%
E2		OU1			0,06%	0,06%
E3		OU1			2,33%	2,33%
OU1		TOPO			12,29%	12,29%

Figura C.3 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	6.694,95
Probabilidade Original	12,29%
Consequências (valor condicionado ao risco)	36.170,00
Nível de Risco Planejado	1.083,16
Redução Planejada do Nível de Risco	5.611,80
Probabilidade Planejada	1,79%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	10.635,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	-5.023,20
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	0,53
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM						
E01		Erro humano na execução da parede		Probabilidade Original		10,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Planejada		1,17% 275,00
		Mínimo	Máximo	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de	Muito Efetivo		50,00		500,00
				Tendência		Regular
				Situatção de Planejamento e Implantação		Planejado, Não Executado
E02		Falha no controle da execução da parede		Probabilidade Original		90,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Probabilidade Planejada		26,23% 10.180,00
		Mínimo	Máximo	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas	
2	Contratação de testes de arrancamento de reboco	Efetividade Regular		5.000,00		15.000,00
3	Inclusão de novos critérios para verificação de serviço do reboco	Efetividade Regular		100,00		300,00
				Tendência		Regular
				Situatção de Planejamento e Implantação		Planejado, Não Executado
				Menor Valor		Planejado, Não Executado

Figura C.3 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

E03		Disponibilidade de esquadria não conforme entre fo	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo		Máximo		Tendência	
E04	Falha de comunicação da especificação ao suprimir	1,00%	Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	1,00%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo		Máximo		Tendência	
E05	Erro humano na execução da esquadria	10,00%	Probabilidade Original	10,00%	Probabilidade Planejada	1,17%	Probabilidade Alcançada	10,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
	3 inclusão de novos critérios para verificação de serviço do reboco	Muito Efetivo		100,00		300,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado
E06	Falha no controle do assentamento da esquadria	20,00%	Probabilidade Original	20,00%	Probabilidade Planejada	20,00%	Probabilidade Alcançada	20,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo		Máximo		Tendência	
E07	Falha nas especificações de projeto	1,00%	Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	1,00%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo		Máximo		Tendência	

Figura C.3 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	
7.5 Ações transmitidas por portas	
1.2 - Descrição do Risco	
Não atendimento aos requisitos mínimos de ações transmitidas por portas	
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	
Portas internas em madeiras (portas prontas), com 2,10m de altura, larguras de 60, 70 e 80 cm, com alizares e portas em madeira.	
2.1.1 - Materiais e Componentes	Portas prontas de madeira com alizares e portais
2.1.2 - Recursos Humanos	Funcionários treinados nos procedimentos de execução do serviço (ISO 9001)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Apenas informações e detalhamento do fabricante
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Procedimentos de execução dos serviços (ISO 9001)
2.1.6 - Medição e Controle	Atraves do formulário de verificação de serviço. (ISO 9001) . Nos check lists não existem testes para maçanetas e fechadura. Não são realizados ensaios de resistências para as portas
2.1.7 - Fatores Ambientais	-
2.1.8 - Manutenção	Manutenção inadequada ou modificação pelo cliente pode alterar o requisito
2.2 - Nível de Conhecimento	Participação de cursos na norma 15575/2013
Regular	

Figura C.4 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO					
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente	
				Mínimo	Tendência
C01	Reparos na alvenarias devido a fissuras ou destacamentos	Contingenciamento	Muito Baixa	6.000,00	Menor Valor
C02	Reparos ou substituição de portas	Contingenciamento	Muito Baixa	10.000,00	Menor Valor
C03	Processos de usuários	Legal	Praticamente Nula	10.000,00	Menor Valor

(expectativa de consequência)
 1.393,33
14.600,00
 760,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	Valores	
					(valores originais)	(valores planejados)
E01	Erro humano no assentamento de portas	E1	Mão de Obra	Baixa	5,00%	0,58%
E02	Falha no controle de assentamento de portas	E1	Medição e Controle	Regular	10,00%	5,67%
E03	Disponibilidade do portas inadequadas no mercado	E2	Materiais e Componentes	Regular	10,00%	10,00%
E04	Falha no recebimento das portas	E2	Medição e Controle	Praticamente Nula	0,01%	0,01%
E05	Falha de projeto / Falta de detalhamento	OU1	Projeto e informações	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E06	Erro humano na execução das paredes	E3	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E07	Falha no controle de execução das paredes	E3	Medição e Controle	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E08	Falha na manutenção das portas	OU1	Manutenção e Uso	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E1		OU1			0,58%	0,58%
E2		OU1			0,00%	0,00%
E3		OU1			0,00%	0,00%
OU1		TOPO			0,78%	0,78%

Figura C.4 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	218,96
Probabilidade Original	0,78%
Consequências (valor condicionado ao risco)	16.753,33
Nível de Risco Planejado	65,09
Redução Planejada do Nível de Risco	153,87
Probabilidade Planejada	0,25%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	3.450,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	-3.296,13
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	0,04
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM		Probabilidade Original		5,00% Probabilidade Planejada		0,58% Probabilidade Alcançada		5,00%	
E01		Erro humano no assentamento de portas		Custo Esperado		Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Muito Efetivo	Mínimo	Máximo	Tendência	Regular	Situação de Planejamento e Implantação	Planejado, Não Executado
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de				50,00		500,00		
E02	Falha no controle de assentamento de portas	10,00%		10,00%	Probabilidade Planejada	5,67%	Probabilidade Alcançada		10,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação	
9	Incluir de teste de fechamento brusco e conferência da fixação das maçanetas	Efetividade Regular		Mínimo	Máximo	Tendência	Regular	Planejado, Não Executado	
				300,00	2.000,00				
E03	Disponibilidade do portas inadequadas no mercado	10,00%		10,00%	Probabilidade Planejada	10,00%	Probabilidade Alcançada		10,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação	
				Mínimo	Máximo	Tendência		Planejado, Não Executado	

Figura C.4 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

E04		Falha no recebimento das portas	Probabilidade Original	0,01%	Probabilidade Planejada	0,01%	Probabilidade Alcançada	0,01%
Item	Descrição		Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo	Máximo	Tendência		
E05		Falha de projeto / Falta de detalhamento	Probabilidade Original	0,10%	Probabilidade Planejada	0,10%	Probabilidade Alcançada	0,10%
Item	Descrição		Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo	Máximo	Tendência		
E06		Erro humano na execução das paredes	Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	0,02%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição		Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo	Máximo	Tendência		
			Muito Efetivo	50,00	500,00	Regular	Planejado, Não Executado	
			Muito Efetivo	500,00	3.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	
E07		Falha no controle de execução das paredes	Probabilidade Original	0,10%	Probabilidade Planejada	0,10%	Probabilidade Alcançada	0,10%
Item	Descrição		Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo	Máximo	Tendência		
E08		Falha na manutenção das portas	Probabilidade Original	0,10%	Probabilidade Planejada	0,10%	Probabilidade Alcançada	0,10%
Item	Descrição		Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo	Máximo	Tendência		

Figura C.4 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 1 (continuação)

Gestão do Desempenho de Edificações Habitacionais - Análise de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy
 Pesquisa de Doutorado sob responsabilidade de Juliano Araújo Otero

PLANEJAMENTO E CONTROLE DE AÇÕES DE CONTENÇÃO									
Código *	Descrição	Detalhamento	Custo Esperado		Tendência	Situação de Planejamento e Implantação	CITADO EM EVENTOS	PLANEJADO EM EVENTOS	Observações
			Mínimo	Máximo					
1	Intensificação do programa de treinamento de funcionários para execução de serviços	Treinamento com equipe ou individual caso necessário / treinamento de responsáveis nas fichas de verificação de serviços	500,00	5.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	10	10	
2	Contratação de testes de arrancamento de reboco	Tercerizado	5.000,00	15.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	1	1	
3	Inclusão de novos critérios para verificação de serviço do reboco		500,00	1.500,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado	5	5	
4	Inclusão de informação sobre mudança da cor da fachada no manual de uso e manutenção do condomínio		1,00	50,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado	1	1	
5	Contratação de assessoria sobre desempenho acústico	Tercerizado	20.000,00	80.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	2	2	
6	Acompanhamento por parte do engenheiro na primeira entrega de blocos		200,00	600,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado	1	1	
7	Contratação de ensaio de ações transmitidas por portas		500,00	3.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	1	1	
8	Contratação de projeto específico para especificação de portas		1.000,00	6.000,00	Regular	Não Planejado	0	0	
9	Incluir de teste de fechamento brusco e conferência da fixação das maçanetas como critérios de verificação de serviços		300,00	2.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	1	1	
10	Contratação de ensaio de corpo duro e corpo mole para guarda-corpos	Realizado na obra	500,00	6.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	1	1	

* Não deve ser utilizado o termo "Item" como código.

Figura C.5 – Planilha de planejamento e controle de ações de contenção definida por avaliador 1 (fonte: autor)

Gestão do Desempenho de Edificações Habitacionais - Análise de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy
 Pesquisa de Doutorado sob responsabilidade de Juliano Araújo Otero

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	NBR15575-4, 12.3.2 Desempenho acústico para ruídos aéreos
1.2 - Descrição do Risco	Não atendimento ao desempenho acústico para conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall (Rw < 45dB)
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	Parede de bloco de concreto espessura 9cm, revestida com argamassa de cal, cimento e areia espessura 1,5cm para cada lado com acabamento final em pintura acrílica sobre massa com porta de vedação sarrafeada sem preenchimento.
2.1.1 - Materiais e Componentes	Bloco de concreto, argamassa de cal-cimento-areia, porta-pronta com portal maciço e porta sarrafeada sem preenchimento total
2.1.2 - Recursos Humanos	Mão de obra de pedreiro de alvenaria, de pedreiro de reboco, de pintor e de instalador de portas, instruídos por procedimento documentado de sistema de gestão de qualidade (PE's e FI's)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	Não aplicável
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Projeto de arquitetura e de marcação e elevação de alvenaria
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Convencional, com foco na estanqueidade externa (água), e na produtividade da equipe.
2.1.6 - Medição e Controle	Por ficha de inspeção de serviço (FI's específicas para cada tipo de serviço)
2.1.7 - Fatores Ambientais	Não interfere
2.1.8 - Manutenção	Não interfere
2.2 - Nível de Conhecimento	Alto

Figura C.6 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		
				Mínimo	Máximo	Tendência
C01	Alteração de soluções construtivas para reclamações específicas	Contingenciamento	Muito Baixa	2.000,00	6.000,00	Menor Valor
C02	Alteração de soluções construtivas no edifício como um todo	Contingenciamento	Extremamente Baixa	120.000,00	360.000,00	Menor Valor
C03	Reclamação judicial coletiva	Legal	Praticamente Nula	240.000,00	780.000,00	Menor Valor
C04	Dano à imagem da construtora	Institucional	Praticamente Nula	0,00	27.000,00	Regular
						(expectativa de consequência) 426,67 14.000,00 6.360,00 225,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	Valores	
					(valores originais)	(valores planejados)
E01	Especificação errada de porta	OU2	Projeto e informações	Alta	20,00%	0,57%
E02	Especificação errada da parede de alvenaria	OU2	Projeto e informações	Regular	10,00%	0,29%
E03	Fabricação defeituosa de portas	OU3	Material e Componentes	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E04	Danos a portas no transporte	OU3	Material e Componentes	Baixa	5,00%	5,00%
E05	Falha no controle de recebimento de portas não-conformes	E1	Medição e Controle	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E06	Falha humana na execução da alvenaria	E2	Mão de Obra	Regular	10,00%	10,00%
E07	Falha no controle de alvenaria não-conforme	E2	Mão de Obra	Baixa	5,00%	5,00%
E08	Falha humana na execução do reboco	E3	Mão de Obra	Praticamente Nula	0,01%	0,01%
E09	Falha no controle de reboco não-conforme	E3	Medição e Controle	Praticamente Nula	0,01%	0,01%
E10	Falha humana na execução da porta	E4	Mão de Obra	Baixa	5,00%	5,00%
E11	Falha no controle de instalação de porta não-conforme	E4	Medição e Controle	Praticamente Nula	0,01%	0,01%
E1		OU1			0,01%	0,01%
E2		OU4			0,58%	0,58%
E3		OU4			0,00%	0,00%
E4		OU4			0,00%	0,00%
OU1		TOPO			28,05%	1,43%
OU2		OU1			27,67%	0,85%
OU3		E1			5,09%	5,09%
OU4		OU1			0,58%	0,58%

Figura C.6 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	8.011,72
Probabilidade Original	28,05%
Consequências (valor condicionado ao risco)	21.011,67
Nível de Risco Planejado	585,82
Redução Planejada do Nível de Risco	7.425,91
Probabilidade Planejada	1,43%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	18.500,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	-11.074,09
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	0,40
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM															
E01		Especificação errada de porta		Probabilidade Original		20,00%		Probabilidade Planejada		0,57%		Probabilidade Alcançada		20,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas	Situatção de Planejamento e Implantação	Custo de Ações Planejadas	Custo de Ações Realizadas	Tendência	Custo de Ações Realizadas	Situatção de Planejamento e Implantação	Custo de Ações Planejadas	Custo de Ações Realizadas
				Mínimo	Máximo										
PA1	Contratação de consultoria sobre desempenho acústico	Extremamente Efetivo	Pouco Efetivo	3.500,00	15.000,00	Regular	Menor Valor	Planejado, Não Executado	3.500,00	15.000,00	Regular	Menor Valor	Planejado, Não Executado	3.500,00	15.000,00
PA2				2.000,00	5.000,00										
E02	Descrição	10,00%	Probabilidade Original	Custo de Ações Planejadas		0,29%	Probabilidade Alcançada	Custo de Ações Realizadas		10,00%	Custo de Ações Realizadas		Situatção de Planejamento e Implantação		0,10%
PA1	Contratação de consultoria sobre desempenho acústico	Efetividade Esperada	Extremamente Efetivo	Custo Esperado	Mínimo	Máximo	Tendência	Custo de Ações Planejadas	Mínimo	Máximo	Tendência	Custo de Ações Realizadas	Situatção de Planejamento e Implantação	Mínimo	Máximo
PA2															
E03	Descrição	0,10%	Probabilidade Original	Custo de Ações Planejadas		0,10%	Probabilidade Alcançada	Custo de Ações Realizadas		0,10%	Custo de Ações Realizadas		Situatção de Planejamento e Implantação		0,10%
PA1	Fabricação defeituosa de portas	Efetividade Esperada	Mínimo	Máximo	Tendência	Custo de Ações Planejadas	Mínimo	Máximo	Tendência	Custo de Ações Realizadas	Mínimo	Máximo	Situatção de Planejamento e Implantação	Mínimo	Máximo
PA2															

Figura C.6 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

E04	Danos a portas no transporte	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E05	Falha no controle de recebimento de portas não-con	Probabilidade Original	0,10%	Probabilidade Planejada	0,10%	Probabilidade Alcançada	0,10%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E06	Falha humana na execução da alvenaria	Probabilidade Original	10,00%	Probabilidade Planejada	10,00%	Probabilidade Alcançada	10,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E07	Falha no controle de alvenaria não-conforme	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E08	Falha humana na execução do reboco	Probabilidade Original	0,01%	Probabilidade Planejada	0,01%	Probabilidade Alcançada	0,01%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E09	Falha no controle de reboco não-conforme	Probabilidade Original	0,01%	Probabilidade Planejada	0,01%	Probabilidade Alcançada	0,01%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E10	Falha humana na execução da porta	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			
E11	Falha no controle de instalação de porta não-confor	Probabilidade Original	0,01%	Probabilidade Planejada	0,01%	Probabilidade Alcançada	0,01%
Item	Descrição	Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Realizadas	Situação de Planejamento e Implantação
				Mínimo		Tendência	
				Máximo			

Figura C.6 – Primeira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	NBR15575, 7.3.1 parte 4 Resistência a cargas suspensas em parede
1.2 - Descrição do Risco	Risco do sistema de alvenaria e/ou revestimento superficial (reboco ou azulejo) não suportar a carga aplicada e romper o sistema integral ou parcial.
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	Parede de bloco de concreto espessura 9cm, revestida com argamassa de cal, cimento e areia espessura 1,5cm para cada lado com acabamento final em pintura acrílica sobre massa (áreas secas) e nas áreas molhadas o acabamento é em azulejo assentado com argamassa colante ACI
2.1.1 - Materiais e Componentes	Bloco de concreto, argamassa de cal-cimento-areia, massa e tinta pva, azulejo com argamassa ACI
2.1.2 - Recursos Humanos	Mão de obra de pedreiro de alvenaria, de pedreiro de reboco, de pedreiro azulejista e de pintor, instruídos por procedimento documentado de sistema de gestão de qualidade (PE's e FI's)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	Não aplicável
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Projeto de arquitetura e de marcação e elevação de alvenaria, traço de reboco seguindo padrão de obras anteriores
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Convencional com foco na produtividade da equipe.
2.1.6 - Medição e Controle	Por ficha de inspeção de serviço (FI's específicas para cada tipo de serviço), e eventualmente ensaio de carga suspensa com laboratório especializado
2.1.7 - Fatores Ambientais	Não interfere
2.1.8 - Manutenção	No Manual de Operação e Uso do Imóvel (do proprietário e condomínio), presta a informação da carga máxima de uso.
2.2 - Nível de Conhecimento	Alto

Figura C.7 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		(expectativa de consequência)
				Mínimo	Máximo	
C01	Provocar perda material	Financeiro	Regular	2.300,00	3.800,00	1.575,00
C02	Provocar danos físicos a um usuário	Legal	Baixa	1.000,00	28.000,00	4.300,00
C03	Dano a imagem	Institucional	Muito Baixa	0,00	300.000,00	20.000,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	(valores planejados)	(valores alcançados)
E01	Proporcionamento do material argamassa errado	OU1	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E02	Argamassa colante com falta de resistência ou tempo de abertura	OU1	Material e Componentes	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E03	Erro de Execução Reboco ou falha na base	OU2	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E04	Erro de Execução do Azulejo	OU2	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
OU1		TOPO			3,06%	3,06%
OU2		OU1			1,99%	1,99%

5 - NÍVEIS DE RISCO						
Nível de Risco Original		1.087,22				
Probabilidade Original		3,06%				
Consequências (valor condicionado ao risco)		25.875,00				
Nível de Risco Planejado		359,73				
Redução Planejada do Nível de Risco		727,49				
Probabilidade Planejada		0,85%				
Custo de Ações de Contenção Planejadas		980,00				
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações		-252,51				
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações		0,74				
Nível de Risco Alcançado						
Redução Alcançada do Nível de Risco						
Probabilidade Alcançada						
Custo de Ações de Contenção Executadas						
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações						
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações						

Figura C.7 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM															
E01		Proporcionamento do material argamassa errado		Probabilidade Original		1,00%		Probabilidade Planejada		0,57%		Probabilidade Alcançada		1,00%	
Item		Descrição		Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas		Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
PA3	PA4	Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco)		Efetividade Regular		Muito Efetivo		175,00 500,00		350,00 1.000,00		Menor Valor Regular		Executado Parcialmente Não Planejado	
E02		Argamassa colante com falha de resistência ou tempo		Probabilidade Original		0,10%		Probabilidade Planejada		0,06%		Probabilidade Alcançada		0,10%	
Item		Descrição		Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas		Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
PA3	PA4	Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco)		Efetividade Regular		Muito Efetivo		175,00 500,00		350,00 1.000,00		Menor Valor Regular		Executado Parcialmente Não Planejado	
E03		Erro de Execução Reboco ou falha na base		Probabilidade Original		1,00%		Probabilidade Planejada		0,12%		Probabilidade Alcançada		1,00%	
Item		Descrição		Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas		Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
PA3	PA4	Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco)		Muito Efetivo		Extremamente Efetivo		175,00 500,00		350,00 1.000,00		Menor Valor Regular		Executado Parcialmente Não Planejado	
E04		Erro de Execução do Azulejo		Probabilidade Original		1,00%		Probabilidade Planejada		0,12%		Probabilidade Alcançada		1,00%	
Item		Descrição		Efetividade Esperada		Custo Esperado		Custo de Ações Planejadas		Custo de Ações Realizadas		Custo de Ações Realizadas		Situação de Planejamento e Implantação	
PA3	PA4	Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco)		Muito Efetivo		Extremamente Efetivo		175,00 500,00		350,00 1.000,00		Menor Valor Regular		Executado Parcialmente Não Planejado	

Figura C.7 – Segunda planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	NR15575, 10.1, parte 4 Estanqueidade de fachada
1.2 - Descrição do Risco	A fachada não atende estanqueidade proveniente de águas pluviais
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	Parede de bloco de concreto espessura 12cm, revestida com argamassa de cal, cimento e areia espessura 1,5cm para dentro e 4,5cm para fora com acabamento final interno em pintura acrílica sobre massa com textura acrílica aplicada pelo lado externo. Janelas do tipo integrada
2.1.1 - Materiais e Componentes	Bloco de concreto, argamassa de cal-cimento-areia, pintura acrílica sobre massa e textura acrílica
2.1.2 - Recursos Humanos	Mão de obra de pedreiro de alvenaria, de pedreiro de reboco, de pintor e de instalador de esquadria de alumínio, instruídos por procedimento documentado de sistema de gestão de qualidade (PE's e FI's)
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	Não aplicável
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Projeto de arquitetura e de marcação e elevação de alvenaria, Janelas são escolhidas com fornecedor por protótipo e predominantemente por referência de uso em obras anteriores
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Convencional, com foco na estanqueidade externa (água), e na produtividade da equipe.
2.1.6 - Medição e Controle	Por ficha de inspeção de serviço (FI's específicas para cada tipo de serviço)
2.1.7 - Fatores Ambientais	Não interfere
2.1.8 - Manutenção	Se o síndico não repintar a fachada ou não corrigir trincas, ou se o usuário não corrigir eventuais falhas no silicone das esquadrias
2.2 - Nível de Conhecimento	Alto

Figura C.8 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO							
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente			
				Mínimo	Máximo	Tendência	
C01	Correção de danos a parede	Contingenciamento Financeiro	Alta	1.800,00	6.600,00	Regular	(expectativa de consequência) 3.990,00
C02	Danos ao mobiliário e ou decoração do cliente	Institucional	Regular	1.400,00	7.400,00	Maior Valor	3.000,00
C03	Danos a imagem	Contingenciamento	Muito Baixa	0,00	20.000,00	Menor Valor	1.133,33
C04	Correção dos problemas na vedação das esquadrias		Baixa	1.000,00	12.000,00	Menor Valor	1.900,00

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	(valores planejados)	(valores alcançados)
E01	Erro fabricação janela	OU1	Materiais e Componentes	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E02	Falha na colocação de contramarco	E1	Mão de Obra	Extremamente Baixa	0,10%	0,10%
E03	Falha na verificação do contramarco	E1	Medição e Controle	Baixa	5,00%	5,00%
E04	Falha na instalação da janela	E2	Mão de Obra	Baixa	5,00%	5,00%
E05	Falha na verificação da instalação da janela	E2	Medição e Controle	Baixa	5,00%	5,00%
E06	Surgimento de trincas significativas na fachada sem manutenção	OU1	Manutenção e Uso	Baixa	5,00%	5,00%
E07	Falhas significativas na manutenção das esquadrias	OU1	Manutenção e Uso	Baixa	5,00%	5,00%
E1		OU1			0,01%	0,01%
E2		OU1			0,29%	0,29%
OU1		TOPO			10,85%	10,85%

5 - NÍVEIS DE RISCO						
Nível de Risco Original		1.340,05				
Probabilidade Original		10,85%				
Consequências (valor condicionado ao risco)		9.423,33				
Nível de Risco Planejado		333,38		24,88% do nível de risco original		
Redução Planejada do Nível de Risco		1.006,67		75,12% do nível de risco original		
Probabilidade Planejada		2,44%		22,44% da probabilidade original		
Custo de Ações de Contenção Planejadas		280,00		20,89% do nível de risco original		
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações		726,67				
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações		3,60				
Nível de Risco Alcançado						
Redução Alcançada do Nível de Risco						
Probabilidade Alcançada						
Custo de Ações de Contenção Executadas						
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações						
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações						

Figura C.8 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM									
E01		Erro fabricação janela		Probabilidade Original		1,00%		1,00%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Planejada	Custo Esperado	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	Tendência	Situação de Planejamento e Implantação
E02	Falha na colocação de contramarco	0,10%	Probabilidade Planejada	0,10%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	0,10%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	0,10%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	0,10%	Situação de Planejamento e Implantação
E03	Falha na verificação do contramarco	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
E04	Falha na instalação da janela	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
E05	Falha na verificação da instalação da janela	5,00%	Probabilidade Planejada	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Alcançada	Custo Esperado	Custo de Ações Realizadas	5,00%	Situação de Planejamento e Implantação
E06	Surgimento de trincas significativas na fachada sem	5,00%	Probabilidade Planejada	0,58%	Probabilidade Alcançada	140,00	Custo de Ações Realizadas	0,58%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	0,58%	Probabilidade Alcançada	140,00	Custo de Ações Realizadas	0,58%	Situação de Planejamento e Implantação
PA5	Revisão do Manual de Uso e Operação da edificação	Muito Efetivo		100,00	Menor Valor	200,00		Menor Valor	Planejado, Não Executado
E07	Falhas significativas na manutenção das esquadrias	5,00%	Probabilidade Planejada	0,58%	Probabilidade Alcançada	140,00	Custo de Ações Realizadas	0,58%	Situação de Planejamento e Implantação
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Probabilidade Original	0,58%	Probabilidade Alcançada	140,00	Custo de Ações Realizadas	0,58%	Situação de Planejamento e Implantação
PA5	Revisão do Manual de Uso e Operação da edificação	Muito Efetivo		100,00	Menor Valor	200,00		Menor Valor	Planejado, Não Executado

Figura C.8 – Terceira planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

1 - CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 - Requisito Normativo	NBR15575, 7.7 parte 4
1.2 - Descrição do Risco	O guarda-corpo não resistir ao impacto de corpo mole
2 - CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 - Caracterização de Sistema Construtivo	Guarda-corpo com perfis de alumínio, com vidro laminado 8mm, com rodapé em alvenaria de bloco de concreto de 12cm revestido com argamassa de cimento, areia e cal (1,5cm interno e 4,5cm externo) e ainda revestida com textura acrílica pelos dois lados e por cima peitoril de granito 2,5cm x 22cm
2.1.1 - Materiais e Componentes	Perfis de alumínio, com vidro laminado 8mm, com rodapé em alvenaria de bloco de concreto de 12cm revestido com argamassa de cimento, areia e cal (1,5cm interno e 4,5cm externo) e ainda revestida com textura acrílica pelos dois lados e por cima peitoril de granito 2,5cm x 22cm
2.1.2 - Recursos Humanos	Mão de obra de pedreiro de alvenaria, reboco, azulejista, instalador de esquadria e vidraceiro
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	Não aplicável
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Projeto de arquitetura e de marcação e elevação de alvenaria e de guarda-corpo
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Convencional.
2.1.6 - Medição e Controle	Por ficha de inspeção de serviço (FI's específicas para cada tipo de serviço)
2.1.7 - Fatores Ambientais	Não interfere
2.1.8 - Manutenção	Não interfere
2.2 - Nivel de Conhecimento	Alto

Figura C.9 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (fonte: autor)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO							
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente			(expectativa de consequência)
				Mínimo	Máximo	Tendência	
C01	Recuperação de guarda-corpo	Contingenciamento Financeiro	Muito Baixa	3.000,00	40.000,00	Regular	2.766,67
C02	Dano material a área comum	Legal	Muito Baixa	3.000,00	10.000,00	Maior Valor	836,67
C03	Dano a integridade física do usuário	Legal	Extremamente Baixa	2.000,00	20.000,00	Regular	790,00
C04	Dano a integridade física de um transeunte	Legal	Extremamente Baixa	15.000,00	44.000,00	Maior Valor	2.006,67
C05	Morte do usuário	Legal	Extremamente Baixa	1.200.000,00	2.200.000,00	Maior Valor	103.333,33
C06	Morte do transeunte	Legal	Extremamente Baixa	1.200.000,00	2.200.000,00	Maior Valor	103.333,33
C07	Danos a imagem	Institucional	Muito Baixa	2.000.000,00	6.000.000,00	Regular	466.666,67
C08	Dano a propriedade de vizinho área comum	Financeiro	Muito Baixa	4.000,00	30.000,00	Maior Valor	2.393,33

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO						
Item	Descrição	Conector	Tipo de Origem	Probabilidade	(valores planejados)	(valores alcançados)
					(valores originais)	
E01	Falha na especificação do guarda-corpo	OU2	Projeto e Informações	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E02	Falha na especificação da montagem do guarda-corpo	OU2	Projeto e Informações	Baixa	5,00%	5,00%
E03	Falha na instalação da estrutura do guarda-corpo	E1	Mão de Obra	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E04	Falha na inspeção da estrutura do guarda-corpo	E1	Medição e Controle	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E05	Falha na instalação do vidro do guarda-corpo	E2	Mão de Obra	Baixa	5,00%	5,00%
E06	Falha na inspeção da instalação do vidro do guarda-corpo	E2	Medição e Controle	Muito Baixa	1,00%	1,00%
E1		OU3			0,01%	0,01%
E2		OU3			0,06%	0,06%
OU1		TOPO			6,01%	6,01%
OU2		OU1			5,94%	5,94%
OU3		OU1			0,07%	0,07%

Figura C.9 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	52.878,26
Probabilidade Original	6,01%
Consequências (valor condicionado ao risco)	682.126,67
Nível de Risco Planejado	2.295,55
Redução Planejada do Nível de Risco	50.582,71
Probabilidade Planejada	0,19%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	5.530,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	45.052,71
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	9,15
Nível de Risco Alcançado	
Redução Alcançada do Nível de Risco	
Probabilidade Alcançada	
Custo de Ações de Contenção Executadas	
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM						
Item	Descrição	Probabilidade Original	1,00% Efetividade Esperada	Probabilidade Planejada Custo de Ações Planejadas	0,03% Tendência	Probabilidade Alcançada Custo de Ações Realizadas
E01	Falha na especificação do guarda-corpo					
PA6	Contratar consultoria especializada para especificação de guarda-corpos		Extremamente Efetivo	Mínimo 2.000,00	Máximo 3.250,00	Regular Planejado, Não Executado
E02	Falha na especificação da montagem do guarda-corpo					
Item	Descrição	Probabilidade Original	5,00% Efetividade Esperada	Probabilidade Planejada Custo de Ações Planejadas	0,14% Tendência	Probabilidade Alcançada Custo de Ações Realizadas
PA6	Contratar consultoria especializada para especificação de guarda-corpos		Extremamente Efetivo	Mínimo 2.000,00	Máximo 3.250,00	Regular Planejado, Não Executado

Figura C.9 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)

E03		Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	1,00%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas	
			Custo Esperado	Máximo		Situação de Planejamento e Implantação	
E04		Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	1,00%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas	
			Custo Esperado	Máximo		Situação de Planejamento e Implantação	
E05		Probabilidade Original	5,00%	Probabilidade Planejada	0,58%	Probabilidade Alcançada	5,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas	
			Custo Esperado	Máximo		Situação de Planejamento e Implantação	
pa7	Treinamento da equipe de instalação do vidros e guarnições	Muito Efetivo		200,00		400,00	Planejado, Não Executado
E06		Probabilidade Original	1,00%	Probabilidade Planejada	1,00%	Probabilidade Alcançada	1,00%
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo de Ações Planejadas		Tendência	Custo de Ações Realizadas	
			Custo Esperado	Máximo		Situação de Planejamento e Implantação	

Figura C.9 – Quarta planilha de gestão de risco definida por avaliador 2 (continuação)



Gestão do Desempenho de Edificações Habitacionais - Análise de Riscos baseada na Teoria dos Conjuntos Fuzzy
Pesquisa de Doutorado sob responsabilidade de Juliano Araújo Otero

PLANEJAMENTO E CONTROLE DE AÇÕES DE CONTENÇÃO									
Código *	Descrição	Detalhamento	Custo Esperado		Tendência	Situação de Planejamento e Implantação	CITADO EM EVENTOS	PLANEJADO EM EVENTOS	Observações
			Mínimo	Máximo					
PA1	Contratação de consultoria sobre desempenho acústico		7.000,00	30.000,00	Regular	Planejado, Não Executado	2	2	
PA2	Contratação de ensaios em campo para o desempenho acústico		4.000,00	10.000,00	Menor Valor	Não Planejado	2	0	
PA3	Contratação de ensaios de arrancamento em revestimentos (azulejo / reboco)		700,00	1.400,00	Menor Valor	Executado Parcialmente	4	4	
PA4	Contratação de ensaios de carga suspensa em paredes		2.000,00	4.000,00	Regular	Não Planejado	4	0	
PA5	Revisão do Manual de Uso e Operação da edificação	Reforço da instrução para dar manutenção no surgimento de trincas e revisão de silicone em esquadrias de alumínio (janelas)	200,00	400,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado	2	2	
PA6	Contratar consultoria especializada para especificação de guarda-corpos	Para especificar o guarda-corpo material e instruções de montagem	4.000,00	6.500,00	Regular	Planejado, Não Executado	2	2	
PA7	Treinamento da equipe de instalação de vidros e guarnições	Orientar a equipe na instrução correta de guarnições e cuidados na afinação e colagem dos vidros (silicone)	200,00	400,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado	1	1	

Figura C.10 – Planilha de planejamento e controle de ações de contenção definida por avaliador 2 (fonte: autor)

APÊNDICE D – MEMORIAL DE CÁLCULO DA FERRAMENTA

Apresenta-se a seguir o memorial de cálculos que devem ser realizados pela planilha desenvolvida para análise dos riscos relacionados ao desempenho de edificações. O exemplo utilizado se refere aos dados apresentados na Figura C.1, no Apêndice C, sendo que os resultados alcançados coincidem com aqueles calculados pela planilha.

D.1 – CÁLCULO DA EXPECTATIVA DE CONSEQUÊNCIAS EC

Probabilidades Condicionais PC_i relacionadas a Consequências C_i

$$C_{01} \rightarrow PC_{01} (\text{Extremamente Baixa}) = (0,01, 0,05, 0,09)$$

$$C_{02} \rightarrow PC_{02} (\text{Praticamente Nula}) = (0,00, 0,01, 0,02)$$

$$C_{03} \rightarrow PC_{03} (\text{Praticamente Nula}) = (0,00, 0,01, 0,02)$$

Valores Financeiros VF_i determinados para as Consequências C_i

$$VF = (\min, [f \times (\max - \min) + \min], \max) \quad \text{Citada como 5.1}$$

, onde min é o valor mínimo e max é valor máximo previstos para o impacto financeiro equivalente e f assume valor igual a 0,2 para tendência ao menor valor, 0,8 para tendência ao maior valor ou 0,5 para tendência regular, sem viés previsto.

$$\begin{aligned} C_{01} \rightarrow VF_{01} (\text{menor valor}) &= (141.840, 0,2 \times (1.000.000 - 141.840) + 141.840, 1.000.000) = \\ &= (141.840, 313.472, 1.000.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{02} \rightarrow VF_{02} (\text{menor valor}) &= (30.000, 0,2 \times (300.000 - 30.000) + 30.000, 300.000) = \\ &= (30.000, 84.000, 300.000) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C_{03} \rightarrow VF_{03} (\text{menor valor}) &= (30.000, 0,2 \times (300.000 - 30.000) + 30.000, 300.000) = \\ &= (30.000, 84.000, 300.000) \end{aligned}$$

Expectativas de Consequências EC

$$EC = \sum PC_i \otimes VF_i$$

Citada como 5.2

, onde i representa cada uma das consequências e ações de contingência relacionadas ao risco.

$$\begin{aligned} EC &= (0,01, 0,05, 0,09) \otimes (141.840, 313.472, 1.000.000) \oplus \\ &\quad (0,00, 0,01, 0,02) \otimes (30.000, 84.000, 300.000) \oplus \\ &\quad (0,00, 0,01, 0,02) \otimes (30.000, 84.000, 300.000) = \\ &= (0,01 \times 141.840, 0,05 \times 313.472, 0,09 \times 1.000.000) \oplus \\ &\quad (0,00 \times 30.000, 0,01 \times 84.000, 0,02 \times 300.000) \oplus \\ &\quad (0,00 \times 30.000, 0,01 \times 84.000, 0,02 \times 300.000) = \\ &= (1.418,40, 15.673,60, 90.000,00) \oplus \\ &\quad (0,00, 840,00, 6.000,00) \oplus \\ &\quad (0,00, 840,00, 6.000,00) = \\ &= (1.418,40 + 0 + 0, 15.673,60 + 840 + 840, 90.000 + 6.000 + 6.000) = \\ &= (1.418,40, 17.353,60, 102.000,00) \end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3}$$

Citada em 3.6

$$EC \text{ (defuzzificado)} = (1.418,40 + 17.353,60 + 102.000) / 3 = 40.257,33$$

D.2 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE ORIGINAL (sem tratamento) PO

Probabilidades P_i relacionadas aos Eventos E_i

$$E_{01} \rightarrow P_{01} (\text{Regular}, E1) = (0,0500, 0,1000, 0,1500)$$

$$E_{02} \rightarrow P_{02} (\text{Praticamente Certa}, E1) = (0,8000, 0,9000, 1,0000)$$

$$E_{03} \rightarrow P_{03} (\text{Baixa}, OU1) = (0,0250, 0,0500, 0,0750)$$

$$E_{04} \rightarrow P_{04} (\text{Muito Baixa}, E2) = (0,0050, 0,0100, 0,0150)$$

$$E_{05} \rightarrow P_{05} (\text{Baixa}, E2) = (0,0250, 0,0500, 0,0750)$$

$$E_{06} \rightarrow P_{06} (\text{Extremamente Baixa}, OU2) = (0,0005, 0,0010, 0,0015)$$

$$E_{07} \rightarrow P_{07} (\text{Muito Baixa , OU1}) = (0,0050 , 0,0100 , 0,0150)$$

Das expressões

$$P^e(p_i, p_t, p_f) = \left(\prod_i p_{ii}, \prod_i p_{ti}, \prod_i p_{fi} \right) \quad \text{Citada em 3.9}$$

$$P^{ou}(p_i, p_t, p_f) = \left(1 - \prod_i (1 - p_{ii}), 1 - \prod_i (1 - p_{ti}), 1 - \prod_i (1 - p_{fi}) \right) \quad \text{Citada em 3.10}$$

Probabilidade da Porta E1 (ligada à porta OU1)

$$\begin{aligned} P(E1) &= P_{01} \otimes P_{02} = (0,0500 , 0,1000 , 0,1500) \otimes (0,8000 , 0,9000 , 1,0000) = \\ &= (0,05 \times 0,8 , 0,1 \times 0,9 , 0,15 \times 1) = (0,04 , 0,09 , 0,15) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta E2 (ligada à porta OU2)

$$\begin{aligned} P(E2) &= P_{04} \otimes P_{05} = (0,0050 , 0,0100 , 0,0150) \otimes (0,0250 , 0,0500 , 0,0750) = \\ &= (0,005 \times 0,025 , 0,01 \times 0,05 , 0,015 \times 0,075) = \\ &= (0,000125 , 0,0005 , 0,001125) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta OU2 (ligada à porta OU1)

$$\begin{aligned} P(OU2) &= 1 - (1 - P_{06}) \otimes (1 - P(E2)) = \\ &= 1 - (1 - (0,0005 , 0,0010 , 0,0015)) \otimes 1 - (0,000125 , 0,0005 , 0,001125) = \\ &= 1 - (1 - 0,0015 , 1 - 0,0010 , 1 - 0,0005) \otimes (1 - 0,001125 , 1 - 0,0005 , 1 - 0,000125) = \\ &= 1 - (0,9985 , 0,9990 , 0,9995) \otimes (0,998875 , 0,9995 , 0,999875) = \\ &= 1 - (0,9985 \times 0,998875 , 0,999 \times 0,9995 , 0,9995 \times 0,999875) = \\ &= 1 - (0,9973766875 , 0,9985005 , 0,9993750625) = \\ &= (1 - 0,9993750625 , 1 - 0,9985005 , 1 - 0,9973766875) = \\ &= (0,0006249375 , 0,0014995 , 0,0026233125) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta OU1 = PO (igual à probabilidade de topo)

$$\begin{aligned} P(OU1) &= 1 - (1 - P_{03}) \otimes (1 - P_{07}) \otimes (1 - P(E1)) \otimes (1 - P(OU2)) = \\ &= 1 - (1 - (0,025 , 0,05 , 0,075)) \otimes 1 - (0,005 , 0,01 , 0,015) \otimes 1 - (0,04 , 0,09 , 0,15) \otimes \\ &\quad 1 - (0,0006249375 , 0,0014995 , 0,0026233125) = \\ &= 1 - (1 - 0,075 , 1 - 0,05 , 1 - 0,025) \otimes (1 - 0,015 , 1 - 0,01 , 1 - 0,005) \otimes \\ &\quad (1 - 0,15 , 1 - 0,09 , 1 - 0,04) \otimes \\ &\quad (1 - 0,0026233125 , 1 - 0,0014995 , 1 - 0,0006249375) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - (0,925, 0,95, 0,975) \otimes (0,985, 0,99, 0,995) \otimes (0,850, 0,91, 0,96) \otimes \\
&\quad (0,9973766875, 0,9985005, 0,9993750625) = \\
&= 1 - (0,925 \times 0,985 \times 0,85 \times 0,9973766875, 0,95 \times 0,99 \times 0,91 \times 0,9985005, \\
&\quad 0,975 \times 0,995 \times 0,96 \times 0,9993750625) = \\
&= 1 - (0,7724246092, 0,8545716454, 0,9307379832) = \\
&= (1 - 0,9307379832, 1 - 0,8545716454, 1 - 0,7724246092) = \\
&= (0,0692620168, 0,1454284, 0,2275753908)
\end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3}$$

Citada em 3.6

$$\begin{aligned}
\text{PO (defuzzificado)} &= (0,0692620168 + 0,1454283546 + 0,2275753908) / 3 = \\
&= 0,14742 = 14,742\%
\end{aligned}$$

D.3 – CÁLCULO DO NÍVEL DE RISCO ORIGINAL NRO

Da expressão citada em 5.3

$$\begin{aligned}
\text{NRO} &= \text{PO} \otimes \text{EC} = \\
&= (0,0692620168, 0,1454284, 0,2275753908) \otimes (1.418,40, 17.353,60, 102.000,00) = \\
&= (0,0692620168 \times 1.418,40, 0,1454283546 \times 17.353,60, 0,2275753908 \times 102.000) = \\
&= (98,24, 2.523,71, 23.212,69)
\end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3}$$

Citada em 3.6

$$\text{NRO (defuzzificado)} = (98,24 + 2.523,71 + 23.212,69) / 3 = 8.611,55$$

D.4 – CÁLCULO DA PROBABILIDADE PLANEJADA PP (em função das ações planejadas)

Cálculo das Probabilidades Planejadas PP_i considerando as Probabilidades P_i relacionadas aos Eventos E_i para os quais foram determinadas ações planejadas com Níveis de Efetividade EF

$$E_{01} \rightarrow P_{01} = (0,0500 , 0,1000 , 0,1500)$$

$$\text{Ação 1} \rightarrow \text{EF (Ação 1, Extremamente Efetivo)} = (0,001 , 0,01 , 0,05)$$

$$\begin{aligned} PP_{01} &= P_{01} \otimes \text{EF (Ação 1)} = (0,0500 , 0,1000 , 0,1500) \otimes (0,001 , 0,01 , 0,05) = \\ &= (0,05 \times 0,001 , 0,1 \times 0,01 , 0,15 \times 0,05) = (0,00005 , 0,001 , 0,0075) \end{aligned}$$

$$E_{02} \rightarrow P_{02} = (0,8000 , 0,9000 , 1,0000)$$

$$\text{Ação 3} \rightarrow \text{EF (Ação 3, Muito Efetivo)} = (0,05 , 0,1 , 0,15)$$

$$\begin{aligned} PP_{02} &= P_{02} \otimes \text{EF (Ação 3)} = (0,8000 , 0,9000 , 1,0000) \otimes (0,05 , 0,1 , 0,15) = \\ &= (0,8 \times 0,05 , 0,9 \times 0,1 , 1 \times 0,15) = (0,04 , 0,09 , 0,15) \end{aligned}$$

$$E_{03} \rightarrow P_{03} = (0,0250 , 0,0500 , 0,0750)$$

$$\text{Ação 4} \rightarrow \text{EF (Ação 4, Muito Efetivo)} = (0,05 , 0,1 , 0,15)$$

$$\begin{aligned} PP_{03} &= P_{03} \otimes \text{EF (Ação 4)} = (0,0250 , 0,0500 , 0,0750) \otimes (0,05 , 0,1 , 0,15) = \\ &= (0,025 \times 0,05 , 0,05 \times 0,1 , 0,075 \times 0,15) = (0,00125 , 0,005 , 0,01125) \end{aligned}$$

Cálculo da Probabilidade Planejada PP

$$PP_{01} (E1) = (0,00005 , 0,001 , 0,0075)$$

$$PP_{02} (E1) = (0,04 , 0,09 , 0,15)$$

$$PP_{03} (OU1) = (0,00125 , 0,005 , 0,01125)$$

$$PP_{04} (E2) = P_{04} = (0,0050 , 0,0100 , 0,0150)$$

$$PP_{05} (E2) = P_{05} = (0,0250 , 0,0500 , 0,0750)$$

$$PP_{06} (OU2) = P_{06} = (0,0005 , 0,0010 , 0,0015)$$

$$PP_{07} (OU1) = P_{07} = (0,0050 , 0,0100 , 0,0150)$$

Das expressões

$$P^e(p_i, p_t, p_f) = \left(\prod_i p_{ii}, \prod_i p_{ti}, \prod_i p_{fi} \right) \quad \text{Citada em 3.9}$$

$$P^{ou}(p_i, p_t, p_f) = \left(1 - \prod_i (1 - p_{ii}), 1 - \prod_i (1 - p_{ti}), 1 - \prod_i (1 - p_{fi}) \right) \quad \text{Citada em 3.10}$$

Probabilidade da Porta E1 (ligada à porta OU1)

$$\begin{aligned} PP(E1) &= PP_{01} \otimes PP_{02} = (0,00005, 0,001, 0,0075) \otimes (0,04, 0,09, 0,15) = \\ &= (0,00005 \times 0,04, 0,001 \times 0,09, 0,0075 \times 0,15) = \\ &= (0,000002, 0,00009, 0,001125) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta E2 (ligada à porta OU2)

$$\begin{aligned} PP(E2) &= PP_{04} \otimes PP_{05} = (0,0050, 0,0100, 0,0150) \otimes (0,0250, 0,0500, 0,0750) = \\ &= (0,005 \times 0,025, 0,01 \times 0,05, 0,015 \times 0,075) = (0,000125, 0,0005, 0,001125) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta OU2 (ligada à porta OU1)

$$\begin{aligned} PP(OU2) &= 1 - (1 - PP_{06}) \otimes (1 - PP(E2)) = \\ &= 1 - (1 - (0,0005, 0,0010, 0,0015)) \otimes 1 - (0,000125, 0,0005, 0,001125) = \\ &= 1 - (1 - 0,0015, 1 - 0,0010, 1 - 0,0005) \otimes (1 - 0,001125, 1 - 0,0005, 1 - 0,001125) = \\ &= 1 - (0,9985, 0,9990, 0,9995) \otimes (0,998875, 0,9995, 0,999875) = \\ &= 1 - (0,9985 \times 0,998875, 0,999 \times 0,9995, 0,9995 \times 0,999875) = \\ &= 1 - (0,9973766875, 0,9985005, 0,9993750625) = \\ &= (1 - 0,9993750625, 1 - 0,9985005, 1 - 0,9973766875) = \\ &= (0,0006249375, 0,0014995, 0,0026233125) \end{aligned}$$

Probabilidade da Porta OU1 = PP (igual à probabilidade de topo)

$$\begin{aligned} PP(OU1) &= 1 - (1 - PP_{03}) \otimes (1 - PP_{07}) \otimes (1 - PP(E1)) \otimes (1 - PP(OU2)) = \\ &= 1 - (1 - (0,00125, 0,005, 0,01125)) \otimes 1 - (0,005, 0,01, 0,015) \otimes \\ &\quad 1 - (0,000002, 0,00009, 0,001125) \otimes 1 - (0,0006249375, 0,0014995, 0,0026233125) = \\ &= 1 - (1 - 0,01125, 1 - 0,005, 1 - 0,00125) \otimes (1 - 0,015, 1 - 0,01, 1 - 0,005) \otimes \\ &\quad (1 - 0,001125, 1 - 0,00009, 1 - 0,000002) \otimes \\ &\quad (1 - 0,0026233125, 1 - 0,0014995, 1 - 0,0006249375) = \\ &= 1 - (0,98875, 0,995, 0,99875) \otimes (0,985, 0,99, 0,995) \otimes \\ &\quad (0,998875, 0,99991, 0,999998) \otimes (0,9973766875, 0,9985005, 0,9993750625) = \\ &= 1 - (0,98875 \times 0,985 \times 0,998875 \times 0,9973766875, \\ &\quad 0,995 \times 0,99 \times 0,99991 \times 0,9985005, 0,99875 \times 0,995 \times 0,999998 \times 0,9993750625) = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= 1 - (0,9702710724 , 0,9834843960 , 0,9931332282) = \\
&= (1 - 0,993133228183087 , 1 - 0,983484395962423 , 1 - 0,970271072430275) = \\
&= (0,0068667718 , 0,0165156 , 0,0297289276)
\end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3} \quad \text{Citada em 3.6}$$

$$\begin{aligned}
\text{PP (defuzzificado)} &= (0,0068667718 + 0,0165156 + 0,0297289276) / 3 = \\
&= 0,01770377 = 1,770\%
\end{aligned}$$

D.5 – CÁLCULO DO NÍVEL DE RISCO ORIGINAL NRP

Equivalente à expressão citada em 5.3

$$\begin{aligned}
\text{NRP} &= \text{PP} \otimes \text{EC} = \\
&= (0,0068667718 , 0,0165156 , 0,0297289276) \otimes (1.418,40 , 17.353,60 , 102.000,00) = \\
&= (0,0068667718 \times 1.418,40 , 0,0165156 \times 17.353,60 , 0,0297289276 \times 102.000) = \\
&= (9,74 , 286,61 , 3.032,35)
\end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3} \quad \text{Citada em 3.6}$$

$$\text{NRP (defuzzificado)} = (9,74 + 286,61 + 3.032,35) / 3 = 1.109,57$$

D.6 – CÁLCULO DOS CUSTOS DAS AÇÕES PLANEJADAS CT

$$\text{CT} = (\min, [f \times (\max - \min) + \min], \max) \quad \text{Equivalente à expressão 5.1}$$

, onde min é o valor mínimo e max é valor máximo previstos para o impacto financeiro equivalente e f assume valor igual a 0,2 para tendência ao menor valor, 0,8 para tendência ao maior valor ou 0,5 para tendência regular, sem viés previsto.

$$\text{Ação 1} \rightarrow \text{CT (Ação 1 , regular)} = (50 , 0,5 \times (500 - 50) + 50 , 500) = (50 , 275 , 500)$$

$$\begin{aligned} \text{Ação 3} \rightarrow \text{CT}(\text{Ação 3, menor valor}) &= (100, 0,2 \times (300 - 100) + 100, 300) = \\ &= (100, 140, 300) \end{aligned}$$

$$\text{Ação 4} \rightarrow \text{CT}(\text{Ação 4, menor valor}) = (1, 0,2 \times (50 - 1) + 1, 50) = (1, 10,80, 50)$$

$$\begin{aligned} \text{CT} &= \text{CT}(\text{Ação 1}) \oplus \text{CT}(\text{Ação 3}) \oplus \text{CT}(\text{Ação 4}) = \\ &= (50, 275, 500) \oplus (100, 140, 300) \oplus (1, 10,8, 50) = \\ &= (50 + 100 + 1, 275 + 140 + 10,80, 500 + 300 + 50) = (151, 425,80, 850) \end{aligned}$$

Da expressão

$$A_{\text{defuzz}} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3}$$

Citada em 3.6

$$\text{CT}(\text{defuzzificado}) = (151 + 425,80 + 850) / 3 = 475,60$$

APÊNDICE E – REQUISITOS DE DESEMPENHO DA NBR 15575-4

E.1 – DESEMPENHO DE SISTEMAS DE VEDAÇÕES VERTICAIS

A norma NBR 15575-4 estabelece requisitos e critérios de desempenho aplicáveis a sistemas de vedações verticais internas e externas de edificações habitacionais, assim como métodos de avaliação e premissas de projeto correlatos. Não são estabelecidos requisitos específicos para vedações verticais quanto a segurança no uso e operação, desempenho lumínico, saúde, conforto antropodinâmico e adequação ambiental, para os quais devem ser aplicados requisitos gerais estabelecidos na parte 1 desta norma (ABNT, 2013c).

Os aspectos referenciados na avaliação da ferramenta desenvolvida nesta tese são apresentados sinteticamente a seguir, em conjunto com informações complementares de outras publicações, com foco em sistemas de vedação sem função estrutural para edifícios de múltiplos pavimentos, objetos de análise nesta pesquisa.

E.1.1 – Desempenho estrutural de vedações verticais

E.1.1.1 – Capacidade de suporte de peças suspensas em vedações verticais

Os sistemas de vedações verticais, com ou sem função estrutural, devem ter capacidade para suportar solicitações originadas pela fixação de peças suspensas, tais como armários, prateleiras, lavatórios e quadros, entre outros, não podendo apresentar fissuras, deslocamentos horizontais instantâneos d_h ou residuais d_{hr} , lascamentos ou rupturas, nem permitir o arrancamento ou esmagamento de seus dispositivos de fixação. Os critérios de desempenho estabelecidos apontam que, na aplicação de ensaio de carga utilizando mão-francesa padronizada segundo a NBR 11678 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação do comportamento sob ação de cargas provenientes de peças suspensas – Método de ensaio, com cargas de ensaio de 0,4 kN em um ponto ou 0,8 kN em dois pontos, não podem ocorrer falhas que comprometam o estado-limite de serviço e os deslocamentos horizontais devem se limitar a $d_h \leq h/500$ e $d_{hr} \leq h/2.500$, sendo h a altura da parede.

O ensaio deve ser realizado com o aumento regular da carga aplicada, com 50 N a cada 3 minutos, até se alcançar a carga de ensaio considerada, que então deve ser mantida por 24

horas, ou até a ruptura do elemento ou falência do sistema de fixação. Em casos de ensaio de longa duração, com aplicação da carga de ensaio durante 24 horas, a carga de uso ou de serviço corresponde a 1/2 da carga de ensaio adotada. Em casos de ocorrência de ruptura, consideradas cargas de curta duração, a carga de serviço ou de uso deve ser considerada a menor entre 1/3 da carga de ruptura ou a carga que provocar um deslocamento horizontal superior a $h/500$ (ABNT, 2013c).

Além da mão-francesa padrão, outros dispositivos podem ser considerados como suporte para peças suspensas, sendo conveniente a avaliação de pelo menos cantoneiras em L, com comprimento de 100 mm, largura de 25 mm e ponto de aplicação de carga a 75 mm da face da parede, e de um dispositivo para aplicação de cargas faceando a parede (quando não houver indicação específica, deve ser adotada arruela de aço de 25 mm de diâmetro com 3 mm de espessura como corpo de apoio). No caso de dispositivos de apoio para redes, a carga de uso mínima deve ser de 2 kN, aplicada em um ângulo de 60° com relação à face da parede, sendo aceita uma carga de ruptura igual a 2 vezes esta carga de uso.

Os projetos dos sistemas de vedações verticais devem indicar as cargas máximas de uso ou de serviço a serem aplicadas, incluindo, para cada situação específica, os dispositivos ou sistemas de fixação previstos e os locais permitidos para fixação de peças suspensas, caso haja restrições, informando as recomendações e limitações de uso (ABNT, 2013c).

E.1.1.2 – Impacto de corpo mole em sistemas de vedações verticais

Os sistemas de vedações verticais devem resistir a impactos progressivos de corpo mole, não podendo sofrer rupturas ou instabilidades que caracterizem seu estado-limite último, apresentar fissuras, escamações, delaminações, deslocamentos ou quaisquer outros tipos de falhas que possam comprometer seu estado de utilização ou provocar danos a componentes, instalações ou acabamentos ligados às vedações verticais, conforme energias de impacto apresentadas na Tabela E.1 (ABNT, 2013c).

Elemento e Tipo de Impacto	Energia de Impacto	Critérios
Vedações verticais externas sem função estrutural com impacto externo (quando há acesso público externo, normalmente no pavimento térreo)	120 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço
	180 J	
	240 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço Deslocamentos horizontais instantâneo e residual limitados a $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq h/625$, sendo h a altura da parede
	360 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço
	480 J	Não ocorrência de ruína, caracterizando o estado-limite último
	720 J	
Vedações verticais externas sem função estrutural com impacto interno	120 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço Deslocamentos horizontais instantâneo e residual limitados a $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq h/625$, sendo h a altura da parede
	180 J	Não ocorrência de ruptura no o trespasse da parede pelo corpo impactante, caracterizando estado-limite último
	360 J	
Vedações verticais sem função estrutural, constituídas de elementos leves (com peso próprio menor ou igual a 60 kgf/m ²) com impacto externo	240 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço Deslocamentos horizontais instantâneo e residual limitados a $d_h \leq h/62,5$ e $d_{hr} \leq h/625$, sendo h a altura da parede
	360 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço
	720 J	Não ocorrência de ruína, caracterizando o estado-limite último
Vedações verticais internas e revestimento interno ou face interna de vedações externas multicamadas com impactos internos	60 J	Não ocorrência de falhas que caracterizem o estado-limite de serviço Deslocamentos horizontais instantâneo e residual limitados a $d_h \leq h/125$ e $d_{hr} \leq h/625$, sendo h a altura da parede
	120 J	Não ocorrência de ruína, caracterizando o estado-limite último São permitidas falhas localizadas

Tabela E.1 – Critérios de desempenho para impactos progressivos de corpo mole sobre sistemas de vedações verticais sem função estrutural de edifícios com mais de um pavimento, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c)

O procedimento de ensaio recomendado consiste em abandonar um saco cilíndrico de couro com 40 kg em pêndulo livre sobre o sistema de vedação vertical, a partir de diversas alturas (detalhadas na Tabela E.2), de modo a produzir impactos com energias diferentes, com a análise dos deslocamentos instantâneos e residuais e eventuais degradações da superfície (ABNT, 2013b; LORENZI & SILVA FILHO, 2014).

Energia de Impacto	Massa do Corpo Mole	Altura de Queda
120 J	40 kg	0,30 m
180 J	40 kg	0,45 m
240 J	40 kg	0,60 m
360 J	40 kg	0,90 m
480 J	40 kg	1,20 m
720 J	40 kg	1,80 m
960 J	40 kg	2,40 m

Tabela E.2 – Massa do corpo percussor e alturas de queda para diferentes energias de impacto em ensaio de corpo mole, segundo a NBR 15575-2 (fonte: ABNT, 2013b)

E.1.1.3 – Ações transmitidas por portas

Os sistemas de vedação vertical, com função estrutural ou não, devem permitir a montagem de portas, de modo que atenda a duas condições de desempenho: primeiramente, as paredes não podem apresentar rupturas, fissuras, destacamentos no encontro com marcos, cisalhamentos nas regiões de solidarização da parede com os marcos ou destacamentos em juntas entre componentes das paredes, entre outras falhas, quando as portas forem submetidas a dez operações de fechamento brusco. Tais fechamentos devem ser realizados conforme a norma NBR 15930-2 – Portas de madeira para edificações – Parte 2: Requisitos (ABNT, 2013c).

Além disso, o sistema deve resistir à aplicação de impactos de corpo mole com energia de 240 J no centro geométrico das folhas de portas, não podendo ocorrer arrancamento dos marcos, nem ruptura ou perda de estabilidade das paredes. A ocorrência de danos localizados, como fissuras e estilhaçamentos, no contorno do marco são aceitáveis. Os ensaios devem ser realizados segundo critérios definidos pela norma NBR 15930-2, com impacto apenas no sentido de fechamento da porta para paredes internas e nos dois

sentidos em paredes externas, sendo que a montagem das fechaduras para realização dos ensaios deve obedecer à NBR 14913 – Fechadura de embutir – Requisitos, classificação e métodos de ensaio (ABNT, 2013c).

E.1.1.4 – Impacto de corpo duro em sistemas de vedações verticais

Os sistemas de vedação vertical, com ou sem função estrutural, devem resistir a impactos de corpo duro, sendo que tanto paredes de fachada como internas não podem apresentar fissuras, escamações, delaminações ou quaisquer outros tipos de danos que afetem seu uso, característicos do estado-limite de serviço, nem sofrer ruptura ou traspassamento, indicando seu estado-limite último. Mossas localizadas resultantes dos impactos de corpo duro são consideradas normais (ABNT, 2013c).

Os ensaios devem ser realizados de acordo com o Anexo B da NBR 15575-4 ou com a NBR 11675 – Divisórias leves internas moduladas – Verificação de resistência a impactos – Método de ensaio, devendo ser consideradas as energias e critérios apresentados na Tabela E.3.

Elemento e Tipo de Impacto	Energia de Impacto	Critérios
Vedações verticais com impacto externo (quando há acesso externo do público)	3,75 J	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
	20 J	Não ocorrência de ruína, por ruptura ou traspassamento, caracterizando o estado-limite último
Vedações verticais com impacto interno	2,5 J	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
	10 J	Não ocorrência de ruína, por ruptura ou traspassamento, caracterizando o estado-limite último
Vedações verticais internas	2,5 J	Não ocorrência de falhas que comprometam o estado-limite de serviço
	10 J	Não ocorrência de ruína, por ruptura ou traspassamento, caracterizando o estado-limite último

Tabela E.3 – Critérios de desempenho para impactos de corpo duro sobre sistemas de vedações verticais de edifícios, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c)

E.1.1.5 – Cargas incidentes sobre guarda-corpos e parapeitos de janelas

Os guarda-corpos e parapeitos de janelas devem resistir a cargas de esforços estáticos horizontais e verticais, assim como a impactos. Nos casos de guarda-corpos, devem ser atendidos as disposições definidas pela NBR 14718 – Guarda-corpos para edificação, apresentados na Tabela E.4 (ABNT, 2013c).

Solicitações	Cargas	Critérios
Esforço estático horizontal	200 N/m (pré-carga)	Não apresentar ruptura de qualquer componente Não ocorrer afrouxamento ou destacamento de componentes ou elementos de fixação Deslocamento horizontal limitado a $d_h \leq 7$ mm
	400 N/m (carga de uso, uso privativo)	Não apresentar ruptura de qualquer componente Não ocorrer afrouxamento ou destacamento de componentes ou elementos de fixação
	1000 N/m (carga de uso, uso coletivo)	Deslocamento horizontal limitado a $d_h \leq 20$ mm e deslocamento horizontal residual $d_{hr} \leq 3$ mm, após retirada da carga
	680 N/m (carga de segurança, uso privativo)	Não apresentar ruptura de qualquer componente Deslocamento horizontal sob carga limitado a 150 mm
	1700 N/m (carga de segurança, uso coletivo)	
Esforço estático vertical	680 N/m (carga de segurança, uso privativo)	Não apresentar ruptura de qualquer componente Não ocorrer afrouxamento ou destacamento de componentes ou elementos de fixação
	1700 N/m (carga de segurança, uso coletivo)	Deslocamento horizontal limitado a $d_h \leq 20$ mm e deslocamento horizontal residual $d_{hr} \leq 8$ mm, após retirada da carga
Resistência a impacto	600 J (saco 40 Kg com altura de queda de 1,5 m)	Não ocorrer ruptura ou destacamento de fixações Não ocorrer queda do elemento de fechamento (guarda-corpo) nem de nenhuma de suas partes São toleráveis: afrouxamentos de fixações e rupturas ou deformações em elementos do guarda-corpo, desde que não permitam a passagem de gabarito prismático de 25 cm x 11 cm x 11 cm

Tabela E.4 – Requisitos de resistência a esforços horizontais, verticais e de impacto em guarda-corpos segundo a NBR 14718 (fonte: ABNT, 2008)

Para parapeitos de janelas, deve haver resistência aos mesmos esforços mecânicos previstos para guarda-corpos, enquanto que, para impactos de corpo mole e corpo duro, deve haver o mesmo desempenho previsto para o sistema de vedação como um todo (ABNT, 2013c).

Além disso, os projetos devem apresentar detalhes executivos ou fazer referência a normas específicas, como também estabelecer as cargas de uso previstas para casos especiais e, para guarda-corpos, atender às dimensões estabelecidas na NBR 14718 (ABNT, 2013c).

Em linhas gerais, a NBR 14718 determina uma altura de proteção mínima de 1 metro para o guarda-corpo, considerando do nível da zona de estacionamento normal de pessoas até a parte superior do corrimão. Esta zona de estacionamento normal corresponde à área adjacente ao guarda-corpo acessível a partir do espaço de circulação de pessoas, desde que situada a não menos que 10 cm e não mais que 45 cm do nível da área de circulação e possua dimensões iguais ou superiores a 30 x 30 cm². Também se considera como zona de estacionamento normal aquelas áreas sob guarda-corpos elevados a mais de 3 cm do piso, permitindo a colocação do pé sob o elemento de fechamento, quando esta área possui dimensões iguais ou superiores a 30 x 30 cm² e a medida entre a face interna do corrimão e o limite interno da área se apresenta maior ou igual a 30 cm (ABNT, 2008).

Quando houver outras superfícies adjacentes ao guarda-corpo, acessíveis, com altura de até 45 cm acima do nível da zona de estacionamento normal e dimensões no sentido transversal do guarda-corpo maiores que 13 cm e inferiores a 30 cm, possibilitando a permanência de uma pessoa em condições de equilíbrio apenas de forma momentânea, estas áreas passam a ser consideradas como zona de estacionamento precário e, conseqüentemente, estabelecem um segundo referencial para a altura de proteção do guarda-corpo, de no mínimo 90 cm a partir do nível desta zona de estacionamento precário (ABNT, 2008).

E.1.2 – Estanqueidade de vedações verticais

E.1.2.1 – Infiltração de água em vedações verticais externas

Os sistemas de vedações verticais externas, incluindo janelas, paredes de fachada e as junções entre estes elementos, devem apresentar estanqueidade, não permitindo infiltrações de água proveniente de chuvas ou outras fontes (ABNT, 2013c).

Os ensaios de estanqueidade consistem em submeter o sistema de vedação vertical à exposição simulada de chuva com vento, criando uma película homogênea e contínua de água exposta a uma pressão pneumática simultânea, durante um período de 07 horas consecutivas. Os critérios relativos a pressão estática e vazão de água são definidos em função da região climática em que a edificação se localiza, sendo que o território brasileiro é dividido em cinco regiões distintas, caracterizadas por condições de exposição ao vento similares, expressas na norma NBR 6123 – Forças devidas ao vento em edificações (LORENZI & SILVA FILHO, 2014).

A cidade de Goiânia - GO encontra-se na região II, para a qual os ensaios de estanqueidade devem ser realizados sob condições de pressão estática de 20 Pa e vazão de água de 3 L/min/m² (ABNT, 2013c).

Os ensaios devem ser realizados de acordo com o Anexo C da NBR 15575-4 ou segundo critérios da NBR 10821-3 – Esquadrias externas para edificações – Parte 3: Métodos de ensaio. Quando submetidos a ensaios, as paredes de fachada e janelas, incluindo as junções destes elementos, não podem apresentar infiltrações que proporcionem borrifamentos, escorrimentos ou formação de gotas de água na face interna. Pequenas manchas de umidade são toleradas, devendo ser considerado que, analisando somente as paredes, a soma das áreas de manchas, para edificações com mais de um pavimento, deve apresentar valor máximo igual a 5% da área total do corpo de prova submetido a ensaio (ABNT, 2013c).

A NBR 15575-4 também permite que a avaliação da estanqueidade dos sistemas de vedações verticais seja realizada por meio de análise de projetos (ABNT, 2013c).

Numa caracterização mais estrita de seu desempenho, as esquadrias externas devem atender às especificações da NBR 10821-2 – Esquadrias externas para edificações – Parte 2: Requisitos e classificação (ABNT, 2013c).

Como critério mínimo no ensaio de estanqueidade estabelecido pela NBR 10821-2, pode ocorrer vazamentos, escoamento ou borbulhamento de água no lado interno da esquadria, assim como a presença de água nos trilhos, com seu escoamento após o término da aplicação da carga de água e pressão, desde que a água não ultrapasse o plano interno de seu marco e sem que o peitoril da alvenaria ou a face interna da parede sejam molhados. Na análise do desempenho das esquadrias, deve ser considerado que as pressões aplicadas durante os ensaios variam não só com a região climática da edificação, mas também com sua altura (ABNT, 2011).

Além disso, as esquadrias também devem ser avaliadas quanto a seu desempenho relacionado a permeabilidade ao ar, resistência a cargas uniformemente distribuídas, resistência e segurança nas operações de manuseio (ABNT, 2011).

Os projetos dos sistemas de vedações verticais devem indicar os detalhes construtivos relativos a interfaces e juntas entre componentes, definidos com o propósito de facilitar o escoamento de água e evitar sua entrada no interior do edifício, levando-se em consideração as solicitações previstas ao longo da vida útil de projeto da edificação. Também devem contemplar elementos de proteção no entorno do edifício, a fim de evitar o acúmulo de água junto às bases das paredes de fachada (ABNT, 2013c).

E.1.3 – Desempenho térmico de vedações verticais

A NBR 15575-4 apresenta requisitos e critérios para verificação dos níveis mínimos de desempenho térmico dos sistemas de vedações verticais com base na transmitância térmica e na capacidade térmica de paredes externas e nas dimensões de aberturas para ventilação nos ambientes da edificação, em um procedimento simplificado de análise. Caso o sistema de vedações verticais externas não atenda a estes critérios definidos neste procedimento simplificado, deve ser realizada simulação do desempenho térmico da edificação, com base em procedimento de análise definido na NBR 15575-1 (ABNT, 2013c).

E.1.3.1 – Transmitância e capacidade térmica de paredes externas

A norma NBR 15220-3 – Desempenho térmico de edificações – Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social define zonas bioclimáticas características das diversas regiões geográficas brasileiras. Segundo a zona bioclimática em que se localiza a edificação, suas paredes externas devem apresentar transmitância térmica adequada aos seguintes critérios:

- Para as zonas bioclimáticas 1 e 2, a transmitância térmica (U) deve ser menor ou igual a $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$;
- Para as zonas bioclimáticas 3, 4, 5, 6, 7 e 8, quando a absorptância à radiação solar da superfície externa da parede (α) for menor ou igual a 0,6, a transmitância deve ser menor ou igual a $3,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, e, quando a absorptância for maior que 0,6, então a transmitância deve ser menor ou igual a $2,5 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ (ABNT, 2013c).

Ainda segundo as zonas bioclimáticas, quando a edificação se localiza nas zonas bioclimáticas 1, 2, 3, 4, 5, 6 e 7, suas paredes externas devem apresentar capacidade térmica (CT) maior ou igual a $130 \text{ kJ/m}^2\cdot\text{K}$. Não há requisito mínimo para capacidade térmica para edificações da zona bioclimática 8 (ABNT, 2013c).

A cidade de Goiânia - GO está localizada na zona bioclimática 6 (ABNT, 2013a).

A transmitância térmica (U) é o inverso da resistência térmica total do componente, que por sua vez é definida como a capacidade de conduzir maior ou menor quantidade de energia por unidade de área e de diferença de temperatura, sendo calculada como a razão entre a espessura do elemento e à condutividade térmica dos materiais constituintes. A absorptância (α) é a razão entre a taxa de radiação solar absorvida por uma superfície e a taxa de radiação solar incidente sobre essa mesma superfície. Já a capacidade térmica (CT) é definida como a capacidade do material de perder ou absorver calor em determinado corpo, em razão da variação da temperatura. Em fachadas, é calculada pelo somatório dos produtos da espessura, do calor específico e de sua densidade de massa aparente de cada elemento que as compõem (SANTOS FILHO, 2015).

Os métodos de cálculo de transmitância térmica e de capacidade térmica a serem utilizados são apresentados na norma NBR 15220-2 – Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações (ABNT, 2013c).

E.1.4 – Desempenho acústico de vedações verticais

A NBR 15575-4 aponta três métodos distintos para verificação do isolamento acústico de elementos de vedação vertical entre os ambientes interno e externo da edificação, entre unidades autônomas e entre cômodos de uma unidade e áreas comuns. Estes métodos são:

- Método de precisão realizado em laboratório, com ensaios baseados na norma ISO 10140-2 – *Acoustics – Laboratory measurement of sound insulation of building elements – Part 2: Measurement of airborne sound insulation*, que caracteriza a isolamento sonora de componentes e elementos construtivos específicos, tais como paredes, janelas, portas, entre outros, fornecendo valores de referência para cálculos em projeto do isolamento global do sistema;
- Método de engenharia realizado em campo, com ensaios definidos pelas normas ISO 140-4 – *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 4: Field measurements of airborne sound insulation between rooms*, para paredes internas, e ISO 140-5 – *Acoustics – Measurement of sound insulation in buildings and of building elements – Part 5: Field measurements of airborne sound insulation of façade elements and façades*, para fachadas, determina de forma rigorosa, em campo, o isolamento sonoro de modo global, seja dos elementos de vedação entre recintos internos da unidade ou entre estas unidades e áreas comuns, seja dos elementos de vedação externa da edificação, caracterizando de forma direta o comportamento acústico dos sistemas;
- Método simplificado de campo, baseado na norma ISO 10052 – *Acoustics – Field measurements of airborne and impact sound insulation and of service equipment sound – Survey method*, em que se estabelece uma estimativa do isolamento sonoro global da vedação externa e dos sistemas de vedação entre ambientes internos da edificação, quando não estão disponíveis instrumentos adequados para medição do tempo de reverberação ou em situações em que as condições de ruído de fundo não permitem a obtenção deste parâmetro (ABNT, 2013c).

O método de engenharia se apresenta como aquele mais preciso e os métodos aplicados em campo apresentam resultados restritos às medições efetuadas (ABNT, 2013c).

E.1.4.1 – Diferença padronizada de nível de ruído promovida por vedações externas

Para avaliação do desempenho dos sistemas de vedações verticais externas, especificamente das fachadas em edifícios multipisos, devem ser realizados ensaios de campo para levantamento de sua característica denominada diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) (ABNT, 2013c). Em termos gerais, esta característica se refere à redução do nível de ruído produzido no ambiente externo à edificação quando medido externamente em um ponto a 2 metros da fachada e em um cômodo interno.

A NBR 15575-4 caracteriza as situações de exposição da edificação a ruídos externos em três classes distintas, definindo valores mínimos de diferença padronizada de nível para cada uma delas, apresentados na Tabela E.5. As medições devem ser realizadas nos dormitórios da unidade habitacional, com portas e janelas fechadas, como foram entregues ao usuário pela construtora ou incorporadora (ABNT, 2013c).

Classe de Ruído	Localização da Habitação	$D_{2m,nT,w}$
I	Habitação localizada a distância de fontes de ruído intenso de qualquer natureza	≥ 20 dB
II	Habitação localizada em áreas sujeitas a situações de ruído não enquadráveis nas classes I e III	≥ 25 dB
III	Habitação sujeita a ruído intenso de meios de transporte ou outra natureza, desde que em conformidade com a legislação	≥ 30 dB

Tabela E.5 – Valores mínimos para diferença padronizada de nível ponderada a 2 metros de distância da fachada ($D_{2m,nT,w}$) para vedações externas de dormitórios, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c)

Edificações em regiões de aeroportos, estádios ou outros locais de eventos esportivos, rodovias ou ferrovias geram a necessidade de estudos específicos (ABNT, 2013c).

E.1.4.2 – Diferença padronizada de nível de ruído promovida por vedações entre ambientes

Para avaliação do desempenho dos sistemas de vedações verticais internas, devem ser realizados ensaios de campo para levantamento de sua característica denominada diferença padronizada de nível ponderada ($D_{nT,w}$). A NBR 15575-4 caracteriza situações distintas envolvendo ambientes internos da edificação nas quais há um nível de isolamento necessário, definindo valores mínimos para a diferença padronizada de nível para cada uma delas, apresentados na Tabela E.6. As medições devem ser realizadas com portas e janelas fechadas, como foram entregues ao usuário pela construtora ou incorporadora (ABNT, 2013c).

Elemento	$D_{nT,w}$
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações em que não envolve dormitórios	≥ 40 dB
Parede entre unidades habitacionais autônomas (parede de geminação) nas situações em que envolve pelo menos um dormitório	≥ 45 dB
Parede cega de dormitórios entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 40 dB
Parede cega de salas e cozinhas entre uma unidade habitacional e áreas comuns de trânsito eventual, como corredores e escadaria dos pavimentos	≥ 30 dB
Parede cega ente uma unidade habitacional e áreas comuns de permanência de pessoas, atividades de lazer e atividades esportivas, como <i>home theater</i> , salas de ginástica, salão de festas, salão de jogos, banheiros e vestiários coletivos, cozinhas e lavanderias coletivas	≥ 45 dB
Conjunto de paredes e portas de unidades distintas separadas pelo hall ($D_{nT,w}$ entre unidades habitacionais)	≥ 40 dB

Tabela E.6 – Valores mínimos para diferença padronizada de nível ponderada ($D_{2m,nT,w}$) entre ambientes internos da edificação, segundo a NBR 15575-4 (fonte: ABNT, 2013c)

APÊNDICE F – PUBLICAÇÕES RELACIONADAS À NBR 15575

A seguir são apresentadas as publicações identificadas durante revisão de literatura relacionada diretamente às normas NBR 15575, com sua citação nominal. Tais publicações foram identificadas por meio de pesquisa nos portais Periódicos CAPES, InfoHab e Google Acadêmico, além dos *sites* específicos de congressos e simpósios e das bases de teses e dissertações de universidades, num total de 137 publicações. A título de comparação, Hippert; Hespanhol; Evangelista (2017) apresentam uma caracterização da produção científica relacionadas às normas NBR 15575, na qual apontam a existência de 154 publicações, sendo 12 de caráter geral e as demais relativas a requisitos de desempenho específicos.

F.1 – DESEMPENHO DE SISTEMAS CONSTRUTIVOS E EDIFICAÇÕES

ALVIM, Leila; MOTTA, Silvio; MAGALHÃES, Aldo; AGUILAR, Maria Teresa. Avaliação do desempenho térmico de uma residência em Formiga – MG utilizando a NBR 15.575. In: XV Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2014, **anais**, Maceió (AL), nov. 2014. Marketing Aumentado, 2014.

ANFACER, Associação Nacional dos Fabricantes de Cerâmica para Revestimentos, Louças Sanitárias e Congêneres. **Manual setorial orientativo para atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15575:2013**, 1ª ed. Fev. 2016.

ANTUNES, Elaine G. P.; ROMAN, Humberto R.; MARCELINO, Luísa H.; GOUDINHO, Daiane S. S.; MACHADO, Alan P. Avaliação do desempenho das habitações do programa minha casa minha vida nas cidades de Florianópolis e Criciúma, Santa Catarina : estudos de Caso. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

ANTUNES, Giselle Reis. **Estudo de manifestações patológicas em revestimentos de fachada em Brasília – Sistematização de incidência de casos**, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, mar. 2010.

APOLÔNIO, Raquel M.; OMAR Luciana G.; NOGUEIRA, Marta C. J. A.; CARVALHO, Bismark C. Avaliação do desempenho térmico da envoltória de edificação comercial na cidade de Cuiabá. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

BARBOSA, Gabriele L.; ARAÚJO, Mayna L. T. de; SANTOS, Daniela N.; BATISTA, Juliana O. Desempenho térmico de habitações populares em Alagoas: uma aplicação da NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

BARROS, Mercia. M. S. B.; GONZALES, Maria Alice; NASCIMENTO, Patricia Alves. Análise da aplicação da norma de desempenho às vedações verticais internas de Drywall. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1-9.

BOLINA, Fabrício Longhi; PRAGER, Gustavo Luis; RODRIGUES, Eduardo; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Avaliação da resistência ao fogo de paredes maciças de concreto armado. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 15, n. 4, p. 291-305, out./dez. 2015.

BORGES, Raphael Melo. **Análise de desempenho térmico e acústico de unidades habitacionais construídas no Conjunto Habitacional Benjamin José Cardoso em Viçosa – MG**, dissertação de mestrado. Viçosa (MG): Universidade Federal de Viçosa, jun. 2013.

CALDAS, Lucas Rosse; MOREIRA, Mirellen Mara; SPOSTO, Rosa Maria. Acessibilidade para pessoas com mobilidade reduzida segundo os requisitos da norma de desempenho – Um estudo de caso para as áreas comuns de edificações habitacionais de Brasília – DF. **REEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, v.10, n. 2, p. 23-38, 2015.

CRUZ, João Miguel Portela Marques Calheiros. **Desempenho de edifícios com base em “níveis de serviço”**: caso da NBR 15575, dissertação de mestrado. Porto (Portugal): Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, jun. 2014.

DARDENGO, Cássia Figueiredo Rossi. **Identificação de patologias e proposição de diretrizes para manutenção preventiva em edifícios residenciais multifamiliares da cidade de Viçosa – MG**, dissertação de mestrado. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2010.

DE ALMEIDA, Ygor Feitas; REINALDO, Raydel Lorenzo; DA SILVA, Liliane Flávia Guimarães. Análise de desempenho térmico de edificações: um estudo de caso na cidade de Palmas, TO. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

DOS PASSOS, Paulo Martins; CARASEK, Helena; AMARAL, Gabriel Martins. Avaliação da capacidade isolante térmica de revestimentos de argamassa. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 282-298.

FELIPE, F. Mafioletti; ANTUNES, E. Guglielmi Pavei; ROMAN, H. Ramos. Análise do auxílio dos métodos de avaliação e critérios de desempenho da ABNT NBR 15.575:2013 no processo do diagnóstico das fissuras – estudo de caso. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, CBPAT 2016, Belém, **anais...**, p. 2089-2099. Belém (PA): ALCONPAT Brasil, abr. 2016.

FELIPETO, Leonardo M.; GARLET, Liége; PIECHA, Caterine; OLIVEIRA, Andressa Ambrós de; SOUZA, Jeferson; KAUS, Paulo; SANTOS, Jorge Luiz Pizzutti dos. O impacto das portas externas no desempenho acústico de fachadas. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 49-58. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

FERREIRA, Camila Carvalho; PEREIRA, Iraci Miranda. Avaliação do desempenho térmico de habitação de interesse social de acordo com a NBR 15575 para as diversas zonas bioclimáticas. In: XIV ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **anais**, Juiz de Fora (MG), out. 2012.

GRIGOLETTI, Giane de Campos; SATTLER, Miguel Aloysio. Método de avaliação global de desempenho higrotérmico de habitações de interesse social para Porto Alegre – RS – Brasil. **Ambiente Construído**, v. 10, n. 2, p. 101-114, Porto Alegre (RS), abr./jun. 2010.

HENNEMANN, Guilherme Günther; GIL, Augusto Masiero; FERNANDES, Bruno; BOLINA, Fabrício Longhi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Avaliação teórico-experimental da influência da espessura de alvenaria na resistência ao fogo de sistemas verticais de vedação. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 4, p. 183-195, out./dez. 2017.

HENRIQUE, Elaine de Sousa. **Sensibilidade à degradação das fachadas - Estudo dos aspectos construtivos**, dissertação de mestrado. Brasília (DF): Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, jul. 2017.

HYBINER, Juliana Mara Batista Menezes; TIBIRIÇÁ, Antônio Cleber Gonçalves; CARVALHO, Aline Werneck Barbosa de; MURAT, Melissa Gil; HOSKEN, Carlos. Uso da NBR 15575 : 2013 na avaliação técnico construtiva de um conjunto habitacional. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...**Maceió: Antac, 2014. p. 1 - 09.

JAPIASSÚ, Pammila; GUIMARÃES, Mariana Emídio; SPOSTO, Rosa Maria; AMORIM, Cláudia Naves David. Avaliação de desempenho térmico de edifícios habitacionais multifamiliares em Brasília: o caso do setor Noroeste. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

JUCÁ, Tatiana; SILVA, Marília; SOUSA, Mateus. Análise de desempenho de projeto de segurança contra incêndio e pânico de edifício residencial: Estudo de caso. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

KAPPAUN, Kamila. **Avaliação do desempenho térmico em edificações de blocos estruturais cerâmicos e de blocos estruturais de concreto para a zona bioclimática 2**

brasileira, dissertação de mestrado. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria, 2012.

LORENZI , Luciani Somensi; SILVA FILHO , Luiz Carlos Pinto. Impacto da aplicação da ABNT NBR 15575 para os projetos de edificações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1-11.

LORENZI, Luciani Somensi; SILVA FILHO, Luiz Carlos Pinto da. Análise de desempenho de paredes de concreto armado frente a ABNT NBR 15575. In: 57º CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, CBC 2015, **anais...**, Bonito (MS), out. 2015.

MARRA, Natália; MORILLE, Benjamin; ASSIS, Eleonora. Influência da vegetação no conforto térmico em conjunto habitacional de interesse social. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 711-720. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

MASSETTO, Leonardo T.; HAITO, Ricardo Oviedo; BERNARDES, Mauricio; SABBATINI, Fernando H.; BARROS, Mercia B. Análise do mercado de esquadrias no Brasil baseada em aspectos de desempenho. In: XII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XII ENTAC, **anais...**, Fortaleza (CE), out. 2008.

MATTOS, Marianna Costa. **Planejamento da vida útil na construção civil: uma metodologia para a aplicação da Norma de Desempenho (NBR 15575) em sistemas de revestimentos de pintura**, dissertação de mestrado. Belo Horizonte (MG): Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Arquitetura, 2013.

MELO JÚNIOR, Carlos Mariano. **Influência da chuva dirigida e dos detalhes arquitetônicos na durabilidade de revestimentos de fachada**, dissertação de mestrado. Goiânia (GO): Universidade Federal de Goiás, Escola de Engenharia Civil, 2010.

MIRANDA, Singoala dos Santos. **A influência da NBR 15575 na prática da arquitetura na cidade de Pelotas, RS**, dissertação de mestrado. Pelotas (RS): Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura e Urbanismo, 2014.

MORENO, Octavio A. R.; SOUZA, Léa Cristina Lucas de; PENTEADO, Lucas Delloso. Isolamento do ruído de impacto em diferentes tipologias construtivas de sistemas de piso. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 30-39. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

NOGUEIRA, Jocely Rosanna da Silva; CALLEJAS, Ivan Júlio Apolônio; DURANTE, Luciane Cleonice; MARTINS, Ana Flávia Souza; LOUZICH, Kellen Mello Dorilêo; ROSSETI, Karyna de Andrade Carvalho. Desempenho térmico de painel de vedação vertical externo composto por placas de madeira mineralizada em LIGHT STEEL FRAMING. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016. p. 5389-5400.

NUNES, M.F.O.; ZINI, A.; PAGNUSSAT, D.T. Desempenho acústico de sistemas de piso: estudos de caso para isolamento ao ruído aéreo e de impacto. **Acústica e Vibrações**, n. 46, p. 13-19, dez. 2014.

PEREYRON, Daniel. **Estudo de tipologias de lajes quanto ao isolamento ao ruído de impacto**, dissertação de mestrado. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, out. 2008.

PINTO, Rodrigo Barcelos; VERGARA, Erasmo Felipe; PAIXÃO, Dinara Xavier da. Avaliação da isolação sonora de paredes de alvenaria usadas como divisórias internas em habitações. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010.

PIRES, Josiane Reschke; Andrea Parisi KERN; Marco Aurelio Stumpf GONZÁLEZ; Eduardo Reuter SCHNECK. Norma de Desempenho 15.575/2013: análise de casos das exigências de conforto térmico em projetos de habitação de interesse social. In:

ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, EURO ELECS 2015, **proceedings**, Guimarães (Portugal), 2015.

RIBEIRO, Rodrigo Scoczynski. **Avaliação do desempenho acústico de um sistema de construção modular**: estudo de caso, dissertação de mestrado. Curitiba (PR): Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, 2015.

ROCHA, Antonio Carlos da; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; LEITE, Brenda Chaves Coelho; PETRECHE, João Roberto Diego. Avaliação do desempenho térmico de fachada com painéis leves em edificação de múltiplos pavimentos. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016. p. 755-764.

ROMANINI, Anicoli; MARTINS, Marcele Salles; SCORTEGAGNA, Marisabel. Desempenho térmico de uma habitação de interesse social no contexto bioclimático sul do Brasil. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 866-875. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

SACHT, Helenice Maria; ROSSIGNOLO, João Adriano. Habitações térreas e multipavimentos de interesse social: avaliação de desempenho térmico para tipologias com vedações em alvenaria de blocos cerâmicos e de concreto. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 1, n. 4, p. 2-19. Campinas (SP), 2009.

SALES, Elisa M.; BRITO, Adriana C.; AKUTSU, Maria. Efeito de variações no projeto de arquitetura de uma habitação no seu desempenho térmico. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 508-517. Maceió (AL): ANTAC, 2014.

SANTANA, Wylliam Bessa. **Desempenho acústico das edificações segundo a NBR 15575 (ABNT, 2013): desempenho das vedações e validação dos requisitos normativos com base na opinião dos usuários**, dissertação de mestrado. Belém (PA): Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2016.

SANTANA, Wylliam; MAUÉS, Luiz; PICANÇO, Marcelo. Panorama do desempenho acústico de edificações: percepção de conforto acústico do usuário e comportamento do morador em níveis crescentes de incômodo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTANA, Wylliam; MAUÉS, Luiz; PICANÇO, Marcelo. Panorama do desempenho acústico de edificações: resultados de testes de isolamento sonoro em campo. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos. Análise de desempenho térmico e acústico de fachadas ventiladas de porcelanato à luz da norma de desempenho: estudo de caso em Brasília-DF, dissertação de mestrado. Brasília: Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – PECC / UnB, jun. 2015.

SANTOS, Joaquim César Pizzutti dos; VAGHETTI, Marcos Alberto Oss; SOARES, Roberta Mulazzani Doleys; SCHLEY, Andressa Roana Costa; GARLET, Liége; MACHADO, Rayner Maurício e Silva. Avaliação térmica de casa popular eficiente no período de verão. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, EURO ELECS 2015, **proceedings**, Guimarães (Portugal), 2015.

SANTOS, Mayara Jordana Barros Oliveira. **Catálogo de patologias em fachadas de edifícios residenciais de Brasília**, dissertação de mestrado. Brasília (DF): Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, 2017.

SATO, N. M. N.; LOH, K.; SILVA, I.L.M. Caracterização da refletância de superfícies externas de coberturas e paredes. In: XIV ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **anais**, Juiz de Fora (MG), out. 2012.

SCHVARSTZHAUPT, Cristiane Cassol; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca; NUNES, Maria Fernanda de Oliveira. Análise comparativa do desempenho acústico de sistemas de fachada

com esquadrias de PVC com persiana e diferentes tipos de vidros em ensaios de laboratório. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 135-145, out./dez. 2014.

SILVA, Cláudio Oliveira. **Manual de desempenho: alvenaria com blocos de concreto**. São Paulo: ABCP, BlocoBrasil, 2014.

SILVA, Fernanda B.; KATO, Camila S.; SABBATINI, Fernando H.; BARROS, Mércia M. S. B. de. Sistemas construtivos industrializados para a construção habitacional: Análise do canteiro experimental Heliópolis. In: ENTAC 2010, XIII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **anais**, Canela (RS), out. 2010.

SILVA, Maria de Nazaré Batista da. **Avaliação quantitativa da degradação e vida útil de revestimentos de fachada**: aplicação ao caso de Brasília/DF, tese de doutorado. Brasília (DF): Universidade de Brasília, Faculdade de Tecnologia, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, dez. 2014.

SINDUSCON-DF; ADEMI-DF. **Avaliação do desempenho acústico de edificações em diferentes sistemas construtivos, conforme a norma de desempenho ABNT NBR 15575/2013**. Brasília (DF), 2015.

SOUZA, Jéssica Siqueira de. **Evolução da degradação de fachadas: efeito dos agentes de degradação e dos elementos constituintes**, dissertação de mestrado. Brasília (DF): Universidade de Brasília, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, mar. 2016.

TABARELLI, Giceli; GARLET, Liége; WOLOSZYN, Maraysa; SANTOS Joaquim C. Pizzutti dos. Influência das composições de coberturas nodesempenho térmico de habitações multifamiliares. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 876-885. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

TEMOCHE, Juan F.; BARROS, Mércia M. B. S. Estudo do comportamento mecânico de argamassas de revestimento devido ao choque térmico. In: 3º CONGRESSO PORTUGUÊS DE ARGAMASSAS DE CONSTRUÇÃO, **anais...**, Lisboa (Portugal), mar. 2010.

TONDELO, Patrícia Geittenes; BARTH, Fernando. Análise térmica simplificada da envoltória segundo as normas NBR15220 e NBR15575: estudo de caso. In: XIV ENCONTRO NACIONAL E X ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, XIV ENCAC, X ELACAC, **anais...**, p. 828-837. Balneário Camboriú (SC), set. 2017.

VARISCO, Marcelo Queiroz. **Análise do desempenho de blocos de concreto celular autoclavado em um sistema de vedação externa**, dissertação de mestrado. Curitiba (PR): Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento, LACTEC, Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, mar. 2014.

F.2 – ANÁLISE CRÍTICA DE MÉTODOS E CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

ANAPOLSKI, Anelise; MEDVEDOVSKI, Nirce. Aplicabilidade da NBR 15575 à habitação de interesse social quanto à funcionalidade das áreas habitacionais – estudo de caso: Par Porto, Pelotas, RS. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 13., 2010, Canela. **Anais...** Canela: ANTAC, 2010. p. 1-9.

BAYEH, Rebeca; AKUTSU, Maria; AQUILINO, Marcelo de Mello; SALES, Elisa Morande; BRITO, Adriana Camargo; VITTORINO, Fulvio. Desenvolvimento de método para medição de isolamento sonora em fachadas em andares elevados atendendo à norma ABNT NBR 15575. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

BOGO, A. J. Reflexões críticas quanto as limitações do texto das normas brasileiras de desempenho NBR 15220-3 E NBR 15575. **HOLOS**, ano 32, v. 7, p. 290-298, 2016.

BRITO, Adriana C. de; AKUTSU, Maria; VITTORINO, Fulvio; AQUILINO, Marcelo de M. Contribuições para o aprimoramento da NBR 15.575 referente ao método simplificado de avaliação de desempenho térmico de edifícios. In: XIV ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **anais**, Juiz de Fora (MG), out. 2012.

BRITO, Adriana C. de; VITTORINO, Fulvio; AQUILINO, Marcelo de M.; AKUTSU, Maria. Sugestões para revisão da norma NBR 15.575:2008 referentes ao desempenho

térmico. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2010, **anais**, Canela (RS), out. 2010.

BRITO, Adriana Camargo de; AKUTSU, Maria; TRIBESS, Arlindo. Emprego do programa computacional EnergyPlus na análise de alternativas de projeto de habitação visando o conforto térmico do usuário. In: ENCONTRO NACIONAL E ENCONTRO LATINO AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, **anais...**, Ouro Preto (MG), 2011.

CASTRO, Maria Luiza A. C.; LOURA, Rejane. M. Requisitos e critérios para projetos habitacionais: em busca de um desempenho ampliado. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP 2015, **anais...**, Viçosa (MG), ago. 2015.

CHVATAL, Karin Maria Soares. Avaliação do procedimento simplificado da NBR 15575 para determinação do nível de desempenho térmico de habitações. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 119-134, out./dez. 2014.

CONCEIÇÃO, J.; LEITE, R. M. C. Avaliação da aplicabilidade da NBR 15575 (2013) quanto ao desempenho térmico: um estudo de caso em Salvador - Bahia. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ANTAC, 2016.

COSTA, Maria Livia; ALMEIDA, Manuela; CUNHA, Rita Dione Araújo; CESAR, Sandro Fábio. Estudo comparativo entre as normas ISO 21931:2010, NBR 15575 e os requisitos das Certificações AQUA e LEED. In: ENCONTRO LATINO-AMERICANO SOBRE EDIFICAÇÕES E COMUNIDADES SUSTENTÁVEIS, EURO ELECS 2015, **proceedings**, Guimarães (Portugal), 2015.

D'ELL SANTO, Amabelli; ALVAREZ, Cristina Engel de; NICO-RODRIGUES, Edna Aparecida. Conforto e desempenho térmico em contradição na NBR 15575. **Cadernos PROARQ**, n. 20, p. 114-136. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Arquitetura, jul. 2013.

DAL MOLIN, Denise Carpena Coitinho; MASUERO, Angela Borges; ANDRADE, Jairo José de Oliveira; POSSAN, Edna; MASUERO, João Ricardo; MENNUCCI, Marina Martins. Contribuição à previsão da vida útil de estruturas de concreto. In: KAZMIERCZAK, Claudio de Souza; FABRICIO, Márcio Minto (org.). **Avaliação de desempenho de tecnologias construtivas inovadoras: materiais e sustentabilidade**. Porto Alegre (RS): ANTAC, 2016.

FERREIRA NETO, Maria de Fatima; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Conforto acústico entre unidades habitacionais em edifícios residenciais de São Paulo, Brasil. In: ACÚSTICA 2008, **anais...**, Coimbra (Portugal), out. 2008.

FERREIRA NETO, Maria de Fatima; BERTOLI, Stelamaris Rolla. Desempenho acústico de paredes de blocos e tijolos cerâmico: uma comparação entre Brasil e Portugal. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n. 4, p. 169-180, out./dez. 2010.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Comparação de desempenho de envoltórias recomendadas por normas de desempenho e Mahoney. In: XIII ENCONTRO NACIONAL E IX ENCONTRO LATINO-AMERICANO DE CONFORTO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENCAC ELACAC 2015, **anais...**, Campinas (SP), out. 2015.

FERREIRA, Camila Carvalho; SOUZA, Henor Artur de; ASSIS, Eleonora Sad de. Discussão dos limites das propriedades térmicas dos fechamentos opacos segundo as normas de desempenho térmico brasileiras. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 183- 200, jan./mar. 2017.

GOMES, Abdias Maragalhães; CORTIZO, Eduardo Cabaleiro; MATTOS, Marianna Costa. Planejamento da vida útil na construção civil: uma metodologia para a aplicação da norma de desempenho NBR 15575 (ABNT:2008). In: XIV ENTAC, Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **anais**, Juiz de Fora (MG), out. 2012.

LORENZI, Luciana Somensi. Análise crítica e proposições de avanço de metodologias de ensaios experimentais de desempenho à luz da ABNT NBR 15575 (2013) para edificações habitacionais de interesse social térreas, tese de doutorado. Porto Alegre (RS):

Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, 2013.

MAHL, Rosana Elisa; ANDRADE, Jairo José de Oliveira. Aplicabilidade da norma NBR 15.575/2008 Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos – Desempenho: estudo de caso e análise crítica. In: XIII ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2010, **anais**, Canela (RS), out. 2010.

MEIRELLES, Célia Regina Moretti. O conceito de desempenho e as condicionantes da segurança contra incêndio em projetos de habitação de cinco andares no Brasil. In: NUTAU, 9., 2012, São Paulo. **Anais...** São Paulo: USP, 2012. p. 1-15.

MICHALSKI, Ranny Loureiro Xavier Nascimento. **Metodologias para medição de isolamento sonoro em campo e para expressão da incerteza de medição na avaliação do desempenho acústico de edificações**, tese de doutorado. Rio de Janeiro: UFRJ COPPE, 2011.

MIRANDA, Fulvio B.; IKEDA, Cristina Y. K. Contribuição de janela com persiana integrada ao desempenho acústico de fachada de edificação - situações de uso corrente. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1-10.

NASCIMENTO, Thássia; BATISTA, Juliana. Avaliação da abordagem normativa da NBR 15575 para desempenho lumínico: estudo de caso em Maceió-AL. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

NUNES, Maria Fernanda de Oliveira; JORGE, Vanessa; PAGNUSSAT, Daniel Tregnago. Estimativa de incerteza em ensaios de ruído de impacto: posição dos equipamentos em medições em campo. **PARC Pesquisa em Arquitetura e Construção**, v. 5, n. 2, p. 22-30. Campinas (SP), jul./dez. 2014

OLIVEIRA, Luciana Alves; FONTENELLE, João Heitzmann; MITIDIARI FILHO, Claudio Vicente. Durabilidade de fachadas: método de ensaio para verificação da

resistência à ação de calor e choque térmico. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 53-67, out./dez. 2014.

OLIVEIRA, Vivian Moreno; HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz. Desempenho de empreendimentos habitacionais : uma análise comparativa dos critérios contidos na NBR 15575 e no referencial AQUA. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1 - 10.

PEREIRA, Iraci; FERREIRA, Camila. Avaliação dos impactos da ABNT NBR 15575 no conforto térmico e no consumo de energias nas novas edificações habitacionais brasileiras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2014, **anais...**, p. 518-527. Maceió (AL): ANTAC, 2014.

POLI, Claudia Maria Basso; ZORZI, Lizia de Moraes de. Desempenho lumínico segundo NBR 15575-1:2008, NBR 15575-1:2013, Danish Building Regulations 2010 e European Standard prEN 15251. **Diálogos & Saberes**, v. 10, n. 1, p. 95-113, 2014.

SILVA, Adriana Teresinha da. **Comparativo entre os processos de implantação do Código Técnico das Edificações na Espanha e NBR 15575:2008 – Desempenho no Brasil**, dissertação de mestrado. São Leopoldo (RS): Universidade do Vale do Rio dos Sinos – Unisinos, ago. 2011.

SILVA, Arthur Santos; SORGATO, Marcio José; MAZZAFERRO, Leonardo; MELO, Ana Paula; GHISI, Enedir. Incerteza do método de simulação da NBR 15575-1 para a avaliação do desempenho térmico de habitações. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 103-117, out./dez. 2014.

SILVA, Arthur Santos; GHISI, Enedir. Análise comparativa dos resultados do desempenho térmico da envoltória de uma edificação residencial pelos métodos de simulação do RTQ-R e da NBR 15575-1. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, p. 213-230, jan./mar. 2014.

SOARES, Maicon Motta; SILVA, Antônio César Silveira Baptista da. Análise e compatibilização dos métodos simplificado e por simulação da NBR 15575: zona bioclimática 2. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 17, n. 1, p. 305-327, jan./mar. 2017.

SORGATO, Marcio José; MELO, Ana Paula; MARINOSKI, Deivis Luís; LAMBERTS, Roberto. Análise do procedimento de simulação da NBR 15575 para avaliação do desempenho térmico de edificações residenciais. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 14, n. 4, p. 83-101, out./dez. 2014.

SOUZA, Jonas Leonardo Pessanha de. **Desafios na implantação do nível superior da norma de desempenho em edificação residencial em Novo Hamburgo / RS**, dissertação de mestrado. São Leopoldo (RS): Universidade do Vale do Rio dos Sinos, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, out.2016. (Jonas Leonardo Pessanha de Souza_)

TAKAHASHI, Vanessa; MOREIRA, Daniel; BERTOLI, Stelamaris. Ferramenta computacional para desempenho acústico de edificações habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

F.3 – GESTÃO E DESENVOLVIMENTO DE PROJETOS

ALVES, Bruna; LOURA, Rejane; ANDERY, Paulo; GOMES, Leonardo. Procedimento para redução de riscos no projeto de arquitetura. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

ASBEA, Associação Brasileira dos Escritórios de Arquitetura. **Guia para arquitetos na aplicação da norma de desempenho ABNT NBR 15575**. 2016.

BARBOSA, Patrícia; ANDERY, Paulo. Reflexões sobre desafios e tendências na gestão do processo de projeto para adequação à NBR 15.575:2013. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

BUNDER, Jeferson; ONO, Rosaria. Análise de roteiros de processo de projeto de arquitetura para obras de pequeno porte. In: V SBQP, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 2017, João Pessoa – PB, **anais...** Porto Alegre (RS): ANTAC, 2017.

CARRARO, Fausto. Análise das informações contidas nos projetos em relação à NBR 15.575. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

COOPERCON-CE, Cooperativa da Construção Civil do Estado do Ceará; SINDUSCON-CE, Sindicato da Indústria da Construção Civil do Ceará; CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Análise dos critérios de atendimento à norma de desempenho ABNT NBR 15.575**: Estudo de Caso em Empresas do Programa Inovacon-CE. Mai. 2016.

COTTA, Ana Cláudia. **Contribuição ao estudo dos impactos da NBR 15575:2013 no processo de gestão de projetos em empresas construtoras de pequeno e médio porte**, dissertação de mestrado. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, Programa de Pós-Graduação em Construção Civil, fev. 2017. (dissertacao_ana_cl_udia_cotta)

COTTA, Ana Cláudia; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. A norma de desempenho e as alterações no processo de projeto das empresas construtoras de pequeno e médio porte. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2016, **anais**, p. 2743-2753. São Paulo, set. 2016.

COTTA, Ana Cláudia; ANDERY, Paulo Roberto Pereira. As alterações no processo de projeto das empresas construtoras e incorporadoras devido à NBR 15575 – Norma de Desempenho. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 18, n. 1, p. 133-152, jan./mar. 2018.

COTTA, Ana Cláudia; PINHEIRO, Gabriela Becker, ANDERY, Paulo Roberto Pereira. Estudo exploratório sobre o processo de projeto para atender à NBR 151575:2013: Construtoras e Projetistas. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

MACHADO, Maurício; ANDERY, Paulo. Avaliação do nível de maturidade dos projetos com foco em garantia do desempenho. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

OKAMOTO, Patricia Seiko. **Os impactos da norma brasileira de desempenho sobre o processo de projeto de edificações residenciais**, dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015. (PatriciaSeikoOkamoto2015)

OLIVEIRA, Luciana Alves; MITIDIARI FILHO, Claudio Vicente. O projeto de edifícios habitacionais considerando a norma brasileira de desempenho: análise aplicada para as vedações verticais. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 7, n. 1, p. 90-100, mai. 2012. São Carlos, 2012. (51022-63491-1-PB)

PAULA, Nathália de; UECHI, Mônica Emiko; MELHADO, Silvio Burrattino. Novas demandas para as empresas de projeto de edifícios. **Ambiente Construído**, v. 13, n. 3, p. 137-159, jul./set. 2013. Porto Alegre: Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, 2013.

SANTOS FILHO, Vamberto Machado dos; SPOSTO, Rosa Maria; MELO, Jéssica Saredine. Ferramenta para projetos de vedações verticais externas com base nas exigências da norma de desempenho. **REEC**, Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 8, n. 3, p. 51-62. 2014.

SENAI-MG, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial de Minas Gerais; SINDUSCON-MG, Sindicato da Indústria da Construção Civil no Estado de Minas Gerais. **Manual para contratação de projetos para o desempenho de edificações habitacionais**. Belo Horizonte (MG), 2016.

SINAENCO, Sindicato Nacional das Empresas de Arquitetura e Engenharia Consultiva. **NBR 15575:2013 – Os impactos da norma de desempenho no setor da arquitetura e engenharia consultiva**. São Paulo: Sinaenco, jul. 2015.

VENEZIA, Adriana P.P.Galhano; ONO, Rosaria. Parâmetros para qualidade do projeto sob o aspecto da segurança contra incêndio. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1-10.

VIEIRA, Andressa B. I.; REZENDE, Carla B.; CARNEIRO, Raquel S.; HIPPERT, M. Aparecida S. Processo de projeto em escritório de arquitetura: gestão da qualidade e NBR 15.575. In: V SBQP, Simpósio Brasileiro de Qualidade do Projeto no Ambiente Construído, 2017, João Pessoa – PB, **anais**. Porto Alegre: ANTAC, 2017.

F.4 – PUBLICAÇÕES DE CARÁTER GENERALISTA

BENTO, Adegilson; NEVES, Daniely; PIRES, Juliane; OLIVEIRA, Mayara; SILVA, Dione. A influência da NBR 15575 (2013) na durabilidade e vida útil das edificações residenciais. In: SEMINÁRIO DE PATOLOGIA E RECUPERAÇÃO ESTRUTURAL, SEMIPAR, **anais**, Recife (PE), Universidade de Pernambuco, ago. 2016.

BÖES, J. S.; PATZLAFF, J. O. Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC) aplicada ao controle de qualidade como forma de assegurar desempenho e atendimento da VUP (Vida Útil de Projeto). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PATOLOGIA DAS CONSTRUÇÕES, CBPAT 2016, Belém, **anais...**, p. 2089-2099. Belém (PA): ALCONPAT Brasil, abr. 2016.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**, dissertação de mestrado. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

BORGES, Carlos Alberto de Moraes; SABBATINI, Fernando Henrique. **O conceito de desempenho de edificações e a sua importância para o setor da construção civil no Brasil**, boletim técnico BT/PCC/515. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2008.

BRASIL. Ministério das Cidades. **Portaria nº 13**, de 6 de janeiro de 2017. Dispõe sobre o Sistema de Avaliação da Conformidade de Empresas de Serviços e Obras da Construção

Civil – SiAC. 2017. Disponível em: <<http://pbqp-h.cidades.gov.br/download.php?doc=5dd4812f-bb7e-470e-9cae-15c6d57ffe9d&ext=.pdf&cd=4265>>. Acesso em 5 out. 2017. Jan. 2017.

CBIC, Câmara Brasileira da Indústria da Construção. **Norma de desempenho: Panorama atual e desafios futuros**, pesquisa setorial, resumo executivo. CBIC, Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial (SENAI), Centro de Tecnologia de Edificações (CTE), abr. 2016.

FRANÇA, Ana Judite Galbiatti Limongi; ORNSTEIN, Sheila Walbe. Subsídios para a criação de um sistema de indicadores de desempenho em edificações. In: IV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, SBQP 2015, **anais**, Viçosa (MG), ago. 2015.

HIPPERT, Maria Aparecida S.; MATTOS JR, Victor Hugo C.; CÂNDIDO, Lidiane R. Qualidade e desempenho: a contribuição do manual do usuário. In: SIBRAGEC ELAGEC 2015, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, ENCONTRO LATINO AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 291-298, São Carlos (SP), out. 2015.

HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz; HESPANHOL, Marcos Zatta; EVANGELISTA, Caroline Lorensato. Caracterização da produção científica relativa à norma brasileira de desempenho. In: SBTIC+SIBRAGEC 2017, 10º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, 1º SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DA INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 66-73, Fortaleza (CE), nov. 2017.

KERN, Andrea Parisi; SILVA, Adriana; KAZMIERCZAK, Claudio de Souza. O processo de implantação de normas de desempenho na construção: um comparativo entre a Espanha (CTE) e Brasil (NBR 15575/2013). **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 9, n. 1, p. 89-101. São Paulo, 2014.

MOURA, João Marcos Bosi Mendonça de; SANTOS, Jéssica Trettin dos; PINHEIRO, Ivone Gohr. Percepção do impacto da NBR 15575 na sustentabilidade da edificação.

Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA, v. 10, n. 1, p. 72-92. São Paulo, jan./abr. 2016. (0af74791a95e9a672b0d21394def54d7)

NICOLINI, Elda. **A norma de desempenho como orientação para a elaboração do Código de Obras de Santana do Livramento – RS**, dissertação de mestrado. Santa Maria (RS): Universidade Federal de Santa Maria, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, abr. 2015.

OLIVEIRA, Vivian Moreno de; HIPPERT, Maria Aparecida Steinherz; PERUGINI, Marcus Mendes; LIMA, Juliana. Normas brasileiras contidas na norma de desempenho NBR 15575:2013. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE QUALIDADE DO PROJETO NO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 3., ENCONTRO DE TECNOLOGIA DE INFORMAÇÃO E COMUNICAÇÃO NA CONSTRUÇÃO, 6., 2013, Campinas. **Anais...** Campinas, 2013.p.1579-1590.

ONO, Rosaria; ORNSTEIN, Sheila Walbe; OLIVEIRA, Fabiana Lopes de; GALVÃO, Walter José Ferreira. Avaliação pós-ocupação: pré-teste de instrumentos para verificação do desempenho de empreendimentos habitacionais em sistemas construtivos inovadores. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 64-78, jan./jun. 2015.

OTERO, Juliano Araújo; SPOSTO, Rosa Maria. Implantação da ABNT NBR 15575:2013 em empresas incorporadoras e construtoras a partir de processos de sistemas de gestão da qualidade. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 15., 2014, Maceió. **Anais...** Maceió: ANTAC, 2014. p. 1-10.

OTERO, Juliano Araújo; SPOSTO, Rosa Maria. Caracterização da atuação de construtoras e incorporadoras de Goiânia-GO frente às normas de desempenho ABNT NBR 15575:2013. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

OTERO, Juliano Araújo; SPOSTO, Rosa Maria. Modelo de análise de riscos baseada em matemática fuzzy para suporte à gestão do desempenho de edificações habitacionais. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTOS, Débora de Gois; CARVALHO, Patrícia Menezes; CARVALHO, Emerson Meireles de; FERREIRA, Laís Indiana de Meneses; VIANA, Marina Ribeiro. Desempenho de edificações residenciais: projetistas e empresas construtoras. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

SANTOS, Flávia Maria Ávila dos Santos; HIPPERT, Maria Aparecida Steinerz. Gestão da manutenção e a NBR 15.575/2013. In: XVI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, ENTAC 2016, **anais**, p. 3311-3320. São Paulo, set. 2016.

SANTOS, Flávia Maria Ávila dos. **Impactos da aplicação da ABNT NBR 15.575/2013 nas empresas de edificações**, dissertação de mestrado. Juiz de Fora (MG): Universidade Federal de Juiz de Fora, Programa de Pós-Graduação em Ambiente Construído, mar. 2017.

SILVA, Adriana Teresinha; KERN, Andrea Parisi; PICCOLI, Rossana; GONZÁLEZ, Marco Aurélio Stumpf. Novas exigências decorrentes de programas de certificação ambiental de prédios e de normas de desempenho na construção. **Arquiteturarevista**, v. 10, n. 2, p. 105-114, jul/dez 2014. (7466-28041-1-PB)

SILVA, Marcus Vinicius Rosário da; BARROS, Mercia Maria Semensato Bottura de; FAGUNDES NETO, Jerônimo Cabral Pereira. Análise da contribuição da ABNT NBR 15.575 para a engenharia diagnóstica. In: XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, ENTAC 2016, **anais**, p. 5440-5452. São Paulo, set. 2016.

SOUZA, Jonas Leonardo Pessanha de; KERN, Andrea Parisi; TUTIKIAN, Bernardo Fonseca. Análise quantiquantitativa da norma de desempenho (NBR nº 15.575/2013) e principais desafios da implantação do nível superior em edificação residencial de multipavimentos. **Gestão e Tecnologia de Projetos**, v. 13, n. 1, p. 127-144, São Carlos, 2018.

ZANOTTO, Gustavo; LANTELME, Elvira; COSTELLA, Marcelo; LAVAL, Luiz Gustavo. Atendimento ao requisito manutenibilidade da NBR 15575:2013 em um empreendimento habitacional. In: SIBRAGEC ELAGEC 2015, SIMPÓSIO BRASILEIRO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, ENCONTRO

LATINO AMERICANO DE GESTÃO E ECONOMIA DA CONSTRUÇÃO, **anais...**, p. 282-290, São Carlos (SP), out. 2015.