



XVI ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO

Desafios e Perspectivas da Internacionalização da Construção
São Paulo, 21 a 23 de Setembro de 2016

MODELO DE ANÁLISE DE RISCOS BASEADA EM MATEMÁTICA FUZZY PARA SUPORTE À GESTÃO DO DESEMPENHO DE EDIFICAÇÕES HABITACIONAIS¹

OTERO, Juliano Araújo (1); SPOSTO, Rosa Maria (2)

(1) UnB PECC, e-mail: juliano.tero@gmail.com; (2) UnB PECC, e-mail: rmrsposto@unb.br

RESUMO

As normas brasileiras ABNT NBR 15575:2013 definem as características que edificações habitacionais devem apresentar para atender adequadamente às necessidades de seus usuários. Em função da extensão e da complexidade dos assuntos tratados, assim como dos custos envolvidos em sua aplicação, a correta implementação destas normas tem sido fator preocupante para empresas construtoras e incorporadoras. Com o objetivo de dar suporte a uma abordagem sistêmica e objetiva das normas de desempenho, este artigo apresenta um modelo de análise de riscos voltado para a tomada de decisões sobre aspectos que devem ser considerados prioritários, fundamentada na avaliação dos níveis de risco correlatos, e da definição de ações para garantia do desempenho, considerando o equilíbrio entre efetividade e custos destas ações. Este modelo fundamenta-se no processo de gestão de riscos definido pela norma NBR ISO 31000:2009, com uso da técnica de Análise de Árvore de Falhas e, em função da escassez de dados históricos e do caráter variável do desempenho das edificações, de informações processadas a partir da Teoria dos Conjuntos Fuzzy.

Palavras-chave: Desempenho de edificações habitacionais. Análise de riscos. Matemática fuzzy.

ABSTRACT

Brazilian standards NBR 15575:2013 define the characteristics that residential buildings must provide to meet adequately the needs of its users. Given the extent and complexity of the issues dealt with, as well as involved costs, the correct implementation of these standards has been worrisome for construction and developers companies. Aiming to support a systematic and objective approach to performance standards, this article presents a risk analysis model focused on decision-making on priority issues, based on an evaluation of related risk levels, and about determining actions for performance guarantee, considering the balance between of these actions effectiveness and costs. This model is based on the risk management process defined by the standard ISO 31000:2009, using Fault Tree Analysis technique and, due to the lack of historical data and the variable nature of the performance of buildings, information processed by Fuzzy Sets Theory.

Keywords: Residential building performance. Risk analysis. Fuzzy mathematics.

¹ 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.

1 INTRODUÇÃO

As normas NBR 15575:2013 – Edificações Habitacionais – Desempenho estabelecem requisitos e critérios para o desempenho das edificações habitacionais brasileiras, baseados nas necessidades de seus usuários, aplicadas independentemente das dimensões do edifício ou dos sistemas construtivos e materiais que o constituem (ABNT, 2013). Sua implementação efetiva envolve mudanças significativas nas atividades do setor de construção habitacional relacionadas a concepção do empreendimento, contratação, desenvolvimento de projetos, execução de obras e manutenção das edificações (BORGES, 2008).

Tendo em vista a quantidade, abrangência e complexidade das ações relacionadas à garantia do desempenho das edificações habitacionais, assim como as limitações de recursos disponíveis, empresas construtoras e incorporadoras devem utilizar uma abordagem sistêmica e objetiva dos processos envolvidos na implantação das normas NBR 15575:2013, com a identificação de aspectos prioritários e gerenciamento das ações definidas. Neste sentido, este artigo descreve as principais características de um modelo de análise de riscos desenvolvido com o objetivo de subsidiar tal abordagem.

As informações apresentadas neste artigo são parte dos resultados finais de pesquisa de doutorado em desenvolvimento no Programa de Pós-Graduação em Estruturas e Construção Civil da Universidade de Brasília – UnB PECC.

2 IMPLANTAÇÃO DAS NORMAS DE DESEMPENHOS NBR 15575:2013

As normas NBR 15575:2013 estruturam-se em seis partes, sendo uma primeira relativa a requisitos gerais e as demais envolvendo sistemas estruturais, sistemas de pisos, sistemas de vedações verticais, sistemas de coberturas e sistemas hidrossanitários. Além destes, 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 destas normas, são referenciadas por meio de normas prescritivas correlatas (ABNT, 2013).

Nelas são estabelecidos requisitos e critérios para o desempenho de edificações habitacionais, baseados nas necessidades de usuários, incluindo aspectos relacionados a segurança estrutural, segurança contra 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. Cada um destes aspectos de desempenho é desdobrado em requisitos, expressos qualitativamente, que por sua vez são especificados em termos objetivos como critérios para fundamentar sua avaliação (ABNT, 2013).

Em função das características da obra em análise e do contexto envolvido,

requisitos distintos apresentam probabilidades diferentes de não serem atendidos. Obras executadas com base em projetos fundamentados, com informações de desempenho conhecidos, assim como materiais e métodos de execução adequados, possuem uma menor probabilidade de apresentar falhas, enquanto processos inadequados ou mesmo com falta de informações podem elevar a probabilidade de falhas.

Em outro sentido, há aspectos de desempenho cujo não atendimento representa consequências muito mais severas que outras, por exemplo, comparando falhas relativas a segurança estrutural e ao conforto térmico.

A combinação da probabilidade do não atendimento de determinado requisito com suas consequências representa seu nível de risco. Como diferentes requisitos de desempenho representam diferentes níveis de risco, esta variável pode ser utilizada como referência durante a implementação das normas NBR 15575:2013, contribuindo tanto na tomada de decisões sobre aspectos prioritários como na análise do equilíbrio técnico-econômico das ações a serem desenvolvidas.

3 GESTÃO DE RISCOS

O planejamento de determinado processo raramente engloba todos os eventos que podem afetar seus resultados. Em seu transcorrer, podem surgir situações desconhecidas, eventos sobre os quais não se possui pleno entendimento ou mesmo eventos cujas informações intrínsecas não são conhecidas ou acessíveis, provocando alterações nos resultados do processo. A ocorrência destes eventos e sua influência sobre os objetivos da atividade estão relacionadas ao conceito de risco.

De acordo com a NBR ISO 31000:2009, risco é definido como o efeito, positivo ou negativo, das incertezas sobre um objetivo, sendo que incertezas correspondem a situações de deficiências nas informações sobre determinado evento, em sua compreensão e no próprio conhecimento, em termos de probabilidade e de consequências, deste evento (ABNT, 2009).

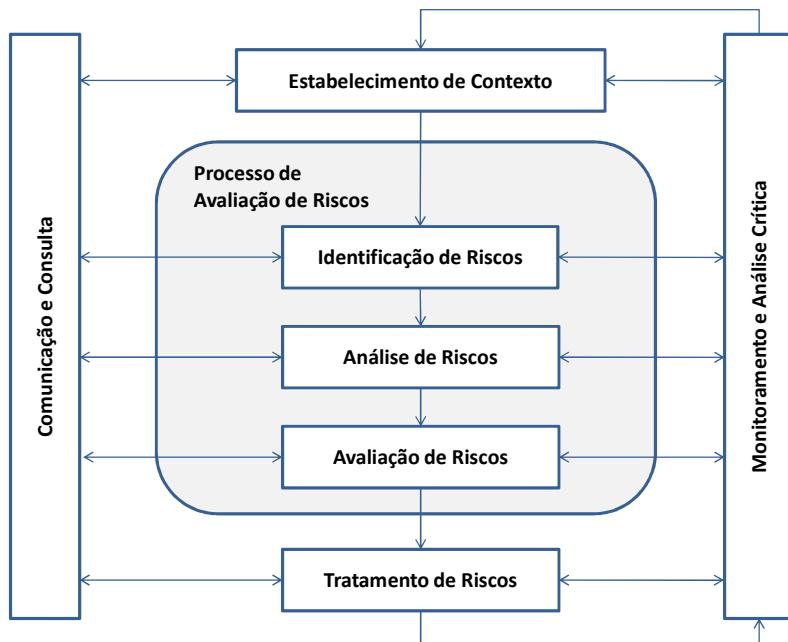
O risco tem sua dimensão caracterizada pelo nível de risco, que por sua vez é definida pela combinação entre as probabilidades e consequências associadas ao risco (ABNT, 2009). Normalmente o nível de risco é definido pelo produto entre probabilidade e consequências, no entanto, dependendo da aplicação e da técnica de análise, pode envolver outros parâmetros como base para a avaliação dos riscos (TAROUN, 2014).

Cada processo possui um nível de risco diferente e este valor pode ser utilizado para comparação entre diferentes riscos, definindo aqueles prioritários. Além disso, cada organização pode definir critérios distintos para avaliação dos riscos, incluindo, por exemplos, limites para níveis de risco aceitáveis ou consequências admissíveis, além dos quais se tornaria obrigatória a adoção de ações para tratamento.

3.1 Gestão de riscos segundo a NBR ISO 31000:2009

A NBR ISO 31000:2009 descreve a gestão de risco como uma sequência de processos envolvendo a caracterização do contexto pertinente, a identificação dos riscos correlatos, a análise, a avaliação e o tratamento destes riscos, continuamente retroalimentados por informações em comunicações e consultas e por decisões originadas em monitoramento e análise crítica. A Figura 1 descreve graficamente este modelo.

Figura 1 – Processo de gestão de riscos segundo a NBR ISO 31000:2009



Fonte: ABNT (2009)

As etapas deste processo são assim descritas:

- Estabelecimento de contexto – Identificação de informações referentes ao contexto interno e externo associado aos riscos;
- Identificação de riscos – Caracterização de riscos, com a identificação de fontes de risco, de eventos de origem, assim como suas causas e consequências potenciais, envolvendo dados históricos, análises teóricas e opiniões de profissionais e especialistas;
- Análise de riscos – Compreensão da natureza do risco e caracterização do nível de risco envolvido, fornecendo a base para avaliação dos riscos e decisões para tratamento dos riscos;
- Avaliação de riscos – Comparação dos resultados do processo de análise de riscos com os critérios definidos pela organização para definir níveis de risco toleráveis ou não, com a identificação da necessidade de tratamento dos riscos;
- Tratamento de riscos – Modificação dos riscos, envolvendo a eliminação, prevenção, mitigação e redução de riscos;
- Monitoramento e análise crítica – Determinação da adequação,

suficiência e eficácia do processo de avaliação de riscos, executadas continuamente;

- Comunicação e consulta – Obtenção, fornecimento e compartilhamento de informações com outras organizações e partes interessadas com relação ao gerenciamento de riscos (ABNT, 2009).

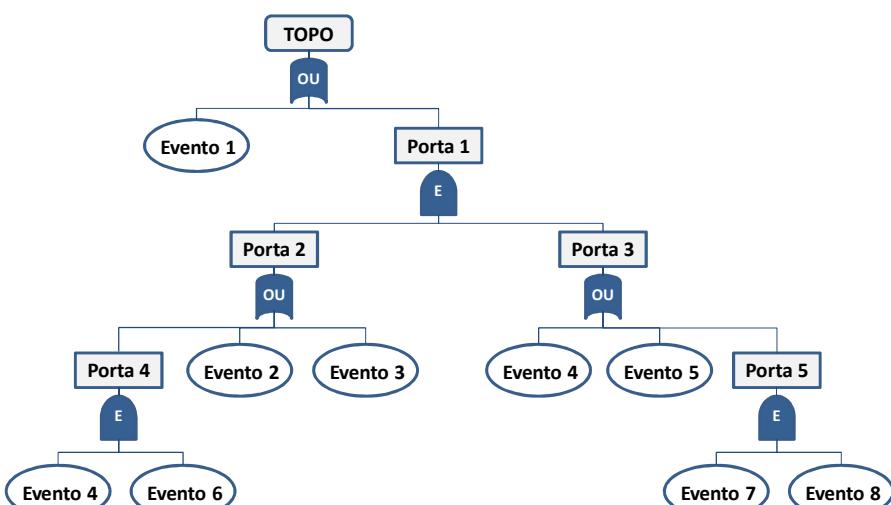
As consequências relacionadas a determinado risco podem trazer em si algum grau de incerteza, não sendo definitiva sua ocorrência quando o risco surge (ABNT, 2009). Em sua caracterização, pode ser utilizado o conceito de probabilidade condicional, que se lê como a probabilidade da consequência ocorrer quando o risco se confirma.

A definição de ações adequadas para tratamento de riscos envolve o equilíbrio entre seus custos e esforços de implementação e seus resultados. Por outro lado, devem ser considerados de forma diferenciada riscos que demandam tratamento economicamente não justificável, como no caso de riscos relacionados a consequências extremamente severas com baixíssima probabilidade de ocorrência (ABNT, 2009).

3.2 Análise de Árvore de Falhas

A Análise de Árvore de Falhas, reconhecida pela sigla FTA, se apresenta como um método lógico baseado em diagramas para avaliação da probabilidade de ocorrência de um evento final, evento de topo, como resultado de sequências e combinações da ocorrência de falhas relacionadas a eventos básicos de origem (ver Figura 2). O método faz uso de informações sobre probabilidades relacionadas a cada um destes eventos básicos e, por meio de operadores lógicos, realiza a propagação destas incertezas para definição da probabilidade do evento final (SURESH et al., 1996; PAN & YUN, 1997).

Figura 2 – Exemplo de estrutura de Análise de Árvore de Falhas



Fonte: adaptado de SURESH et al. (1996)

Três operadores lógicos são utilizados em análises de árvores de falhas: operador “E”, que indica que todos os eventos ligados devem ocorrer para que o resultado seja estabelecido; operador “OU”, no qual a ocorrência de qualquer dos eventos ligados gera o resultado; e operador “NEG”, de negativo, que define que o resultado só surgirá se os eventos ligados a ele não ocorrerem. Sendo p_i a probabilidade relacionada a cada evento básico ligado ao operador, a probabilidade P do evento resultante se fundamenta nas seguintes expressões (SINGER, 1990)²:

$$P^e = \prod_i p_i \quad (1)$$

$$P^{ou} = 1 - \prod_i (1 - p_i) \quad (2)$$

$$P^{neg} = 1 - p_i \quad (3)$$

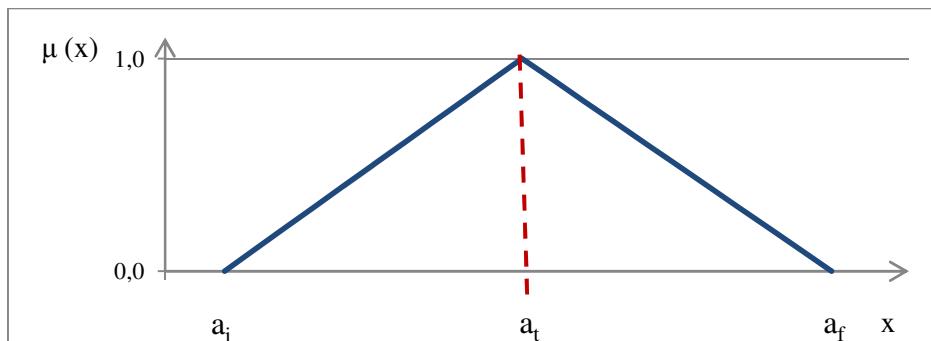
4 TEORIA DOS CONJUNTOS FUZZY

Ao se trabalhar com questões de alta complexidade ou com deficiências em termos de definição, nos quais se acaba por dar à precisão uma posição secundária frente a seu entendimento, torna-se natural o uso de variáveis linguísticas, cujos valores não são números, mas sim palavras ou sentenças. Isto acaba por dar às informações envolvidas um caráter menos específico, ao mesmo tempo em que menos preciso, porém mais coerente e adequado na caracterização aproximada desta situação complexa ou pouco conhecida (ZADEH, 1975).

A teoria dos conjuntos fuzzy provê uma série de ferramentas teóricas para lidar com conceitos expressos por meio da linguagem. Conjuntos fuzzy permitem a representação de conceitos vagos ou inexatos expressos em termos linguísticos por meio de números fuzzy, dando-lhes uma representação matemática quantitativa dentro de determinado contexto, denominada função de pertinência, que permite a realização de operações matemáticas e fundamenta diversas aplicações (KLIR & YUAN, 1995).

Números fuzzy triangulares, ao lado dos números fuzzy trapezoidais, são aqueles mais comumente utilizados, sendo denominados assim pela forma da função de pertinência associada (KLIR & YUAN, 1995). A Figura 3 apresenta um número fuzzy triangular expresso por A (a_i, a_t, a_f).

² O pi maiúsculo Π representa o operador matemático “produtório”, 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.

Figura 3 – Representação de um número fuzzy triangular A (a_i, a_t, a_f)

Fonte: Adaptado de KLIR & YUAN (1995)

As operações matemáticas³ de adição e subtração de 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 (CHEN, 1994):

$$A \oplus B = (a_i + b_i, a_t + b_t, a_f + b_f) \quad (4)$$

$$A \ominus B = (a_i - b_f, a_t - b_t, a_f - b_i) \quad (5)$$

A multiplicação se mostra como uma operação mais complexa, no entanto pode ser reduzida a uma aproximação linear, que define a multiplicação dos números fuzzy triangulares por (CHEN, 1994):

$$A \otimes B = (a_i \times b_i, a_t \times b_t, a_f \times b_f) \quad (6)$$

Após a realização de todas as operações com números fuzzy, o resultado, que se apresenta como um número fuzzy resultante, normalmente tem que ser sintetizado e expresso por um valor único que o melhor represente, a fim de fundamentar determinada ação ou a tomada de decisões, num processo de decodificação denominado defuzzificação.

4.1 Probabilidade condicional fuzzy

A notação para probabilidade condicional é $P(A | B)$, lida como a probabilidade de A dado B, ou, a probabilidade de A ocorrer se B tiver ocorrido. No modelo proposto, faz-se uso da probabilidade condicional na caracterização das incertezas relacionadas às consequências do risco. A probabilidade condicional fuzzy é calculada segundo a seguinte expressão (ZADEH, 1984):

$$FP\{X = A, Y = B\} = FP\{Y = B\} \otimes FP\{X = A | Y = B\} \quad (7)$$

³ \oplus , \ominus e \otimes representam os operadores de adição, subtração e multiplicação aplicados a números fuzzy.

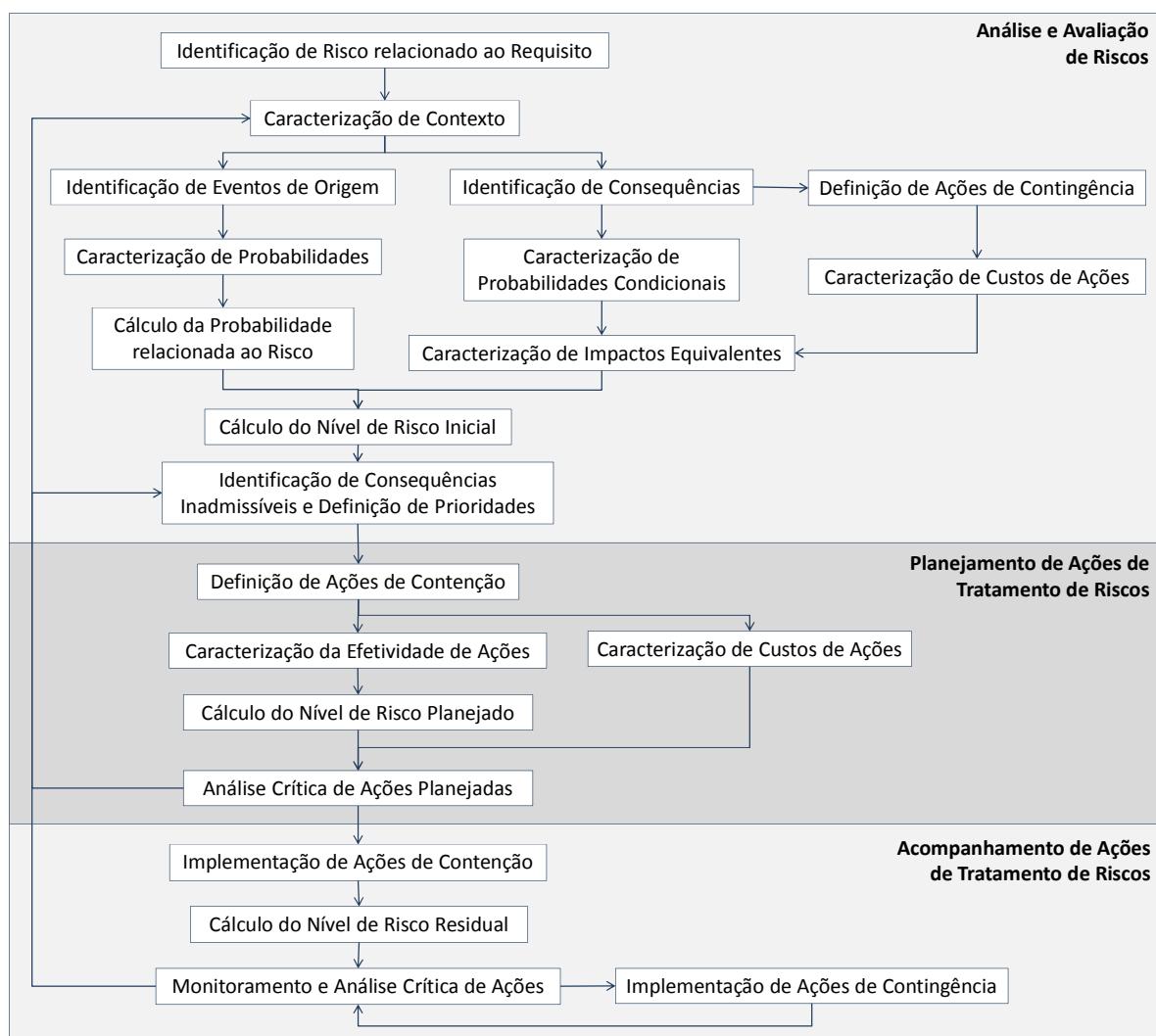
5 CARACTERIZAÇÃO DO MODELO PROPOSTO

No âmbito da pesquisa desenvolvida, os riscos estão relacionados ao não cumprimento dos requisitos de desempenho das normas NBR 15575:2013.

Em razão da indisponibilidade de dados históricos significativos, informações sobre probabilidades e consequências associadas aos diferentes riscos, assim como aquelas sobre custos e efetividade das ações propostas, são caracterizadas e processadas como números fuzzy, definidos com base em conhecimentos de profissionais de engenharia, informações bibliográficas e dados históricos disponíveis.

O modelo desenvolvido fundamenta-se no processo de gestão de riscos definido pela NBR ISO 31000:2009 e apresenta três etapas distintas, cíclicas e relacionadas entre si (ver Figura 4).

Figura 4 – Fluxo de processos para fundamentação do modelo de análise de riscos desenvolvido



Fonte: Os autores

A primeira etapa corresponde à definição dos riscos relacionados a

determinado requisito de desempenho e do contexto em que se insere e à identificação, análise e avaliação destes riscos, desde o levantamento das probabilidades relacionadas a eventos de origem e das consequências associadas, com o cálculo dos níveis de risco correlatos a partir da técnica de Análise de Árvore de Falhas e com a definição de prioridades entre os riscos avaliados. Os quadros 1 e 2 exemplificam a aplicação destes processos sobre um requisito de desempenho.

Quadro 1 – Identificação de riscos e contextualização (exemplo)

1 – CARACTERIZAÇÃO DO RISCO	
1.1 – Requisito Normativo	
NBR 15575-4 - Item 10.1 - Para esquadrias externas, devem ser atendidas as especificações constante na norma NBR 10821-2 - Esquadrias externas para edificações - Parte 2: Requisitos e classificação.	
1.2 – Descrição do Risco	
Esquadrias utilizadas em obra não atenderem a NBR 10821-2	
2 – CONTEXTUALIZAÇÃO	
2.1 – Caracterização de Sistema Construtivo	
Uso de esquadrias de alumínio, adquiridas junto a fornecedores reconhecidos, fixado a partir de contramarco, com parede em alvenaria com reboco em argamassa de cimento nas duas faces.	
2.1.1 - Materiais e Componentes	Materiais comprados diretamente de fabricantes, com marcas reconhecidas no mercado. Atualmente não há relatório setorial disponível para este material no site do PBQP-H SiMaC.
2.1.2 - Recursos Humanos	Pessoal selecionado e treinado com base no sistema de gestão da qualidade.
2.1.3 - Máquinas e Equipamentos	-
2.1.4 - Projetos e Informações de Referência	Especificações estabelecidas por projetistas de arquitetura. Não há contratação de projetos específicos de esquadrias.
2.1.5 - Métodos Executivos e Operacionais	Setor de suprimentos tem acesso a informações de projeto por meio do orçamento executivo, sendo que na especificação de esquadrias de alumínio não há referência à norma NBR 10821-2.
2.1.6 - Medição e Controle	Esquadrias verificadas de acordo com critérios estabelecidos no âmbito do sistema de gestão da qualidade. Não há previsão específica da verificação do cumprimento da NBR 10821-2.
2.1.7 - Fatores Ambientais	-
2.1.8 - Manutenção	-

No Quadro 2, as consequências são identificadas por valores financeiros equivalentes, definido a partir de valores mínimo e máximo previstos, acompanhados de uma tendência de viés e correspondente ao número fuzzy triangular VFE definido por:

$$VFE = (\min, [f \times (\max - \min) + \min], \max) \quad (8)$$

, onde min e max são os valores mínimo e máximo previstos 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.

Quadro 2 – Definição de consequências e probabilidades associadas ao risco
(exemplo)

3 - CONSEQUÊNCIAS RELACIONADAS AO RISCO						
Item	Descrição	Tipo de Impacto	Probabilidade Condicionada ao Risco	Impacto Financeiro Equivalente		
				Mínimo	Máximo	Tendência
C01	Substituição pontual de esquadria	Contingência	Baixa	1.200,00	10.000,00	Menor Valor
C02	Substituição de esquadrias em toda a obra	Contingência	Praticamente Nula	168.000,00	1.400.000,00	Menor Valor
C03	Deterioração de imagem da empresa	Institucional	Praticamente Nula	168.000,00	1.400.000,00	Menor Valor

4 - EVENTOS DE ORIGEM DO RISCO					
Item	Descrição	Conektor	Tipo de Origem	Probabilidade	
E01	Projetos com especificação de esquadrias em desacordo com NBR 10821-2	E1	Projeto e Informações	Baixa	
E02	Aquisição não intencional de esquadrias em desacordo com NBR 10821-2	E1	Operações e Métodos	Regular	
E03	Projetos com especificação de esquadrias conforme NBR 10821-2	E2	Projeto e Informações	NEG(E01)	
E04	Equipe de compras não ter acesso a especificações de projeto para esquadrias	E2	Operações e Métodos	Alta	
E05	Aquisição não intencional de esquadrias em desacordo com NBR 10821-2	E2	Operações e Métodos	Regular	

As probabilidades condicionais associadas às consequências devem ser caracterizadas por expressões linguísticas relativas aos números fuzzy triangulares arbitrados na Tabela 1.

Tabela 1 – Números fuzzy triangulares correspondentes às probabilidades condicionais para consequências dada a ocorrência do risco

Valor Linguístico	Número Fuzzy PC
Praticamente Nula	(0%,1%,2%)
Extremamente Baixa	(1%,5%,9%)
Muito Baixa	(5%,10%,15%)
Baixa	(10%,25%,40%)
Regular	(25%,50%,75%)
Alta	(60%,75%,90%)
Muito Alta	(85%,90%,95%)
Extremamente Alta	(90%,95%,100%)
Praticamente Certa	(98%,99%,100%)

A expectativa de consequências associadas ao risco deve ser calculada por meio da seguinte expressão:

$$EC = \sum PC_i \otimes VFE_i \quad (9)$$

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

As probabilidades associadas são calculadas a partir da Análise de Árvore de Falhas, para a qual, com números fuzzy triangulares $P_i(p_{ii}, p_{ti}, p_{fi})$ caracterizando as probabilidades associadas a cada evento i , são definidas as seguintes expressões para operadores lógicos “E” e “OU” (CHEN, 1994):

$$FP^e(p_i, p_t, p_f) = \left(\prod_i p_{ii}, \prod_i p_{ti}, \prod_i p_{fi} \right) \quad (10)$$

$$FP^{ou}(p_i, p_t, p_f) = \left(1 - \prod_i (1 - p_{fi}), 1 - \prod_i (1 - p_{ti}), 1 - \prod_i (1 - p_{ii}) \right) \quad (11)$$

Para o operador “NEG”, utiliza-se a seguinte expressão:

$$FP^{neg}(p_i, p_t, p_f) = (1 - p_f, 1 - p_t, 1 - p_i) \quad (12)$$

As probabilidades associadas aos eventos de origem são caracterizadas por expressões linguísticas relativas aos números fuzzy triangulares arbitrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Números fuzzy triangulares correspondentes às probabilidades associadas a eventos de origem do risco

Valor Linguístico	Número Fuzzy P
Praticamente Nula	(0%,0,01%,0,02%)
Extremamente Baixa	(0,05%,0,1%,0,15%)
Muito Baixa	(0,5%,1%,1,5%)
Baixa	(2,5%,5%,7,5%)
Regular	(5%,10%,15%)
Alta	(10%,20%,30%)
Muito Alta	(15%,30%,45%)
Extremamente Alta	(25%,50%,75%)
Praticamente Certa	(80%,90%,100%)

O nível de risco é definido pelo produto fuzzy entre a probabilidade resultante da Análise da Árvore de Falhas e a expectativa de consequências relativas ao risco, nesta primeira etapa correspondente ao nível de risco original citado no Quadro 4.

Nesta pesquisa, a defuzzificação dos resultados utiliza o conceito do centro geométrico do triângulo definido pelo número fuzzy $A(a_i, a_t, a_f)$, expresso por:

$$A_{defuzz} = \frac{a_i + a_t + a_f}{3} \quad (13)$$

A avaliação dos riscos, com a definição daqueles considerados prioritários, fundamenta-se no níveis de risco identificado para os diferentes requisitos de desempenho e em situações em que são identificadas consequências inadmissíveis, que devem ser ponderadas por cada organização.

A segunda etapa envolve o planejamento de ações para redução das probabilidades relativas aos eventos de origem dos riscos priorizados, com a previsão de seus custos e sua efetividade, definida pela redução da probabilidade de falha relacionada a determinado evento de origem, com reflexos na probabilidade resultante associada ao risco. 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.

Na terceira etapa, realiza-se o acompanhamento da implantação e efetividade das ações planejadas, com a alteração de sua situação de planejamento e implantação e realimentação das etapas anteriores, especialmente com relação à efetividade e custos das ações implantadas.

O quadro 3 exemplifica a aplicação destas etapas, devendo ser ressaltada a redução das probabilidades planejadas e executadas dos eventos de origem envolvidos.

Quadro 3 – Definição de ações para tratamento do risco (exemplo)

6 - AÇÕES DE CONTENÇÃO PARA EVENTOS DE ORIGEM						
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado			Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo	Máximo	Tendência	
PA 01	Elaboração de lista de verificação para projetos de esquadrias	Muito Efetivo	100,00	166,67	Menor Valor	Planejado, Não Executado
E02/ E05	Aquisição não intencional de esquadrias em desacordo com NBR 10821-2.		Probabilidade Original	Probabilidade Planejada	Probabilidade Alcançada	
			10,00%	0,72%	1,17%	
Item	Descrição	Efetividade Esperada	Custo Esperado			Situação de Planejamento e Implantação
			Mínimo	Máximo	Tendência	
PA 03	Atualização da base de dados para compras incluindo normas técnicas pertinentes a todos os materiais	Efetividade Regular	250,00	500,00	Menor Valor	Planejado, Não Executado
PA 02	Alteração de Ficha de Verificação de Material para esquadrias	Muito Efetivo	50,00	75,00	Menor Valor	Execução Concluída

O Quadro 4 apresenta resultados sobre probabilidades, consequências e níveis de riscos calculados nestas três etapas, devendo ser ressaltados os reflexos das ações nas probabilidades e os índices “saldo” e “relação” utilizados para balanceamento entre custos de ações e redução do nível de risco.

Quadro 4 – Resultados de análise do risco associado ao requisito de desempenho (exemplo)

5 - NÍVEIS DE RISCO	
Nível de Risco Original	1.164,80
Probabilidade Original	2,81%
Consequências (condicionado ao risco)	23.049,33
Nível de Risco Planejado	100,98
Redução Planejada do Nível de Risco	1.063,82
Probabilidade Planejada	0,20%
Custo de Ações de Contenção Planejadas	536,67
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	527,15
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	1,98
Nível de Risco Alcançado	172,38
Redução Alcançada do Nível de Risco	992,42
Probabilidade Alcançada	0,37%
Custo de Ações de Contenção Executadas	60,00
Saldo entre Redução do Nível de Risco e Custo de Ações	932,42
Relação entre Redução do Nível de Risco e Custos de Ações	16,54

Para fins de aplicação, o modelo de análise de risco foi estruturado em uma planilha eletrônica, elaborada com o software Microsoft Office Excel 2007.

6 CONCLUSÕES

Este artigo apresentou, em linhas gerais, um modelo desenvolvido para análise de riscos relacionados ao desempenho de edificações habitacionais, permitindo a caracterização destes riscos e a definição de prioridades e ações voltadas para o desempenho a partir de uma base formal de análise. Neste sentido, a aplicação da Teoria dos Conjuntos Fuzzy, ao traduzir conhecimentos subjetivos em funções matemáticas que podem ser processadas e gerar dados concretos para avaliação, se mostra como alternativa importante num cenário com poucas referências históricas sobre a questão do desempenho.

REFERÊNCIAS

ABNT ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 31000**: Gestão de riscos – Princípios e diretrizes. Rio de Janeiro, 2009.

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

_____. **Edificações habitacionais: desempenho** (coletânea eletrônica). Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <www.abntcatalogo.com.br>. Acesso em: 4 fev. 2014.

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.

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

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

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, 1997.

SINGER, D. A fuzzy set approach to fault tree and reliability analysis. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 34, p. 145-155. Elsevier Science, 1990.

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, 1996.

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, 2014.

ZADEH, Lofti A. The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning – I. **Information Sciences**, v. 8, p. 199-249. American Elsevier, 1975.

_____. Fuzzy probabilities. **Information Processing & Management**, v. 20, n. 3, p. 363-372. Pergamon Press, 1984.