



IV SINGEP

Simpósio Internacional de Gestão de Projetos, Inovação e Sustentabilidade

International Symposium on Project Management, Innovation and Sustainability

ISSN: 2317 - 8302

ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS: UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA BASEADA EM LÓGICA FUZZY

FABRICIO MENEZES MARES

UFPA

fabricio.menemares@gmail.com

BRUNO RAFAEL DIAS DE LUCENA

UFPA

brunodiasluc@gmail.com



ANÁLISE DE RISCOS EM PROJETOS: UMA ABORDAGEM ALTERNATIVA BASEADA EM LÓGICA FUZZY

Resumo

Um projeto pode ser definido como um conjunto de atividades temporárias, realizadas conjuntamente, destinadas a produzir um produto, serviço ou resultado único, e os indicadores utilizados para medir o sucesso de um projeto, normalmente estão ligados à capacidade de cumprimento de prazos, custos e escopo, sendo assim qualquer nova técnica ou filosofia que possa auxiliar na obtenção de seus objetivos e torná-lo um projeto de sucesso merece ser vista com atenção. Neste sentido, este trabalho busca propor uma abordagem alternativa à tradicional análise de riscos em projetos, baseada em lógica *fuzzy*, visando demonstrar, a partir de exemplos, como tal proposta se torna mais precisa em relação ao método tradicional baseado na “matriz de riscos”, uma vez que em muitos casos este método tão usual, devido sua simplicidade de implementação, é falho e limitado com o aumento da complexidade exigida para se priorizar riscos. A relevância desse artigo se fundamenta principalmente pelo fato de que a prática de gerenciar riscos proporciona o aumento significativo da probabilidade de um projeto obter sucesso e o aprimoramento para essa prática imediatamente demonstra seu valor.

Palavras-chave: Riscos; Análise de Riscos; Lógica *fuzzy*; Projetos, Gerenciamento.

Abstract

A project is a set of temporary activities held jointly, aiming to produce one product, service or a single result. Usually, indicators used to measure the success of a project are linked to its ability to meet deadlines, costs and scope. Consequently, new techniques or philosophies that can assist in achieving project goals and make it a successful project deserve close attention. Thus, this paper propose an alternative approach to traditional risk analysis on projects, based on fuzzy logic, in order to demonstrate, using examples, how such proposal becomes more accurate over the traditional method based on "risk matrix". This simple usual method in many cases fail to when the complexity required to prioritizing risks grows. The relevance of this article is based mainly by the fact that the practice of managing risks provides a significant increase in the probability of a project to succeed and an improvement to this practice immediately demonstrates its value.

Keywords: Risks, Risk Analysis, Fuzzy Logic, Project, Management.



1 Introdução

Um projeto é um conjunto de atividades temporárias, realizadas conjuntamente, destinadas a produzir um produto, serviço ou resultado único (PMI, 2015). Os projetos são na verdade, a forma como as empresas industriais desenvolvem certos tipos de produtos complexos como: construções, aviões, navios; e também é a forma pela qual elas modificam seu patamar estratégico.

O desenvolvimento de projetos, quando é complexo o suficiente para exigir a ação de um gerente, é uma tarefa difícil, principalmente por que o gerente nunca terá em suas mãos o controle de todas as variáveis que poderão interferir no sucesso de seu projeto. Os indicadores utilizados para medir o sucesso de um projeto, normalmente estão ligados à capacidade de cumprimento de prazos, custos e escopo (requisitos solicitados pelo patrocinador).

Atualmente, todas as grandes empresas industriais, órgãos públicos e organizações sem fins lucrativos, utilizam projetos e, por consequência, o gerenciamento de projetos para realizarem suas entregas e qualquer nova técnica ou filosofia que possa apoiar na obtenção de seus objetivos merece ser vista com atenção.

Um risco de projeto é um evento incerto que caso ocorra poderá afetar de forma positiva ou negativa a obtenção dos objetivos desse projeto (PMI, 2015). O gerenciamento de riscos é a disciplina do gerenciamento de projetos responsável por identificar, analisar, monitorar e tratar os riscos de projetos de modo a aumentar suas chances de obter sucesso.

A etapa de análise de riscos é a espinha dorsal do gerenciamento de riscos de um projeto, pois é nesta etapa que será definido o que de fato deverá ser tratado à luz da capacidade do risco de influenciar os resultados do projeto e também do orçamento disponível para essa atividade.

Quando a metodologia empregada não é capaz de diferenciar adequadamente os riscos de acordo com o seu grau de relevância é hora de buscar alternativas, pois o objetivo da análise não está sendo cumprido.

Entendendo que o método tradicional de análise de riscos falha em muitos casos na diferenciação entre riscos, este trabalho busca propor um novo método, baseado em lógica *fuzzy* para esta etapa, que tenha melhor desempenho em sua capacidade de diferenciar riscos direcionando da melhor forma os recursos para o tratamento dos riscos mais relevantes.

2 Metodologia

A pesquisa focou na comparação entre o método tradicional e o método apresentado, buscando avaliar a eficiência de um em relação ao outro, do ponto de vista da precisão da análise. Após uma revisão de literatura sobre as bases do gerenciamento de riscos, foram avaliadas alternativas para a etapa de análise de riscos, tendo sido escolhido como técnica alternativa a lógica *fuzzy* e seus sistemas de inferência. Com exemplos baseados na experiência profissional de um dos autores, uma gama conhecida de resultados da análise tradicional foi testada com a técnica alternativa. Para evidenciar as incoerências oriundas do modelo tradicional que podem ser resolvidas pelo modelo alternativo, uma pequena parcela desses exemplos é apresentada neste artigo.

A técnica apresentada, apesar de apresentar resultados mais precisos, não garante resolver todas as incoerências oriundas do modelo tradicional, pois não foi objetivo da pesquisa exaurir todas as opções de melhoria.



3 Risco de Projeto: O que isso significa?

O risco, de certa forma, está presente em toda parte, uma vez que para diversas circunstâncias somos confrontados diante da incerteza sobre os mais variados aspectos, os quais influenciam de forma direta ou indireta em nossas decisões, ações e até mesmo em nossos objetivos traçados.

O termo risco, dependendo do campo de aplicação, pode assumir vários significados, desde um perigo de ocorrência de um determinado evento até a sua variabilidade, porém a norma padrão ISO 31000 (2009) define o risco como sendo “o efeito de incerteza sobre os objetivos”.

Assim o risco, no contexto de gerenciamento de projetos, é definido por Kerzner (2011) como uma medida da probabilidade e consequência de não se atingir os objetivos específicos para um determinado projeto, ou ainda um evento que possui certo grau de incerteza, porém se este vier a ocorrer pode comprometer a realização do objetivo principal do projeto como destaca Clements (2013). É importante perceber que em regra geral, os critérios para avaliar o sucesso de um projeto estão fundamentados no seu objetivo em termos de prazo, custo e escopo (requisitos).

Sabendo que o objetivo principal de um projeto é entregar resultados específicos, mantendo um bom desempenho em tempo, custo e qualidade de acordo com o plano que foi definido, como ressaltam Atkinson (1999) e PMI (2015), um projeto pode ser dito de sucesso se o seu gerenciamento proporcionou a sua conclusão: dentro do prazo especificado, com valor menor ou igual ao custo que foi orçado e durante a sua execução não ocorreram mudanças significativas no escopo planejado, ou se as que ocorreram foram mutuamente adequadas aos objetivos mantendo a aceitação do cliente/usuário.

Dessa forma, todo risco, seja de consequência negativa ou positiva, segundo PMI (2013) pode e deve ser tratado de acordo com uma estratégia pré-estabelecida, e pode ser mitigado ou explorado, evitado ou aceito, transferido ou compartilhado.

Os riscos podem influenciar tanto no alcance dos objetivos dos projetos que a disciplina “gerenciamento de riscos” é algo intrínseco e não opcional ao gerenciamento de projetos. Assim, gerenciar riscos é a busca de se aumentar a probabilidade de sucesso do projeto.

De acordo com Clements (2013) o processo de gerenciamento de riscos em projetos pode ser dividido, basicamente, em 4 etapas, ilustradas pelo padrão ISO 31000 (2009) através da Figura 1 e descritas na sequência.

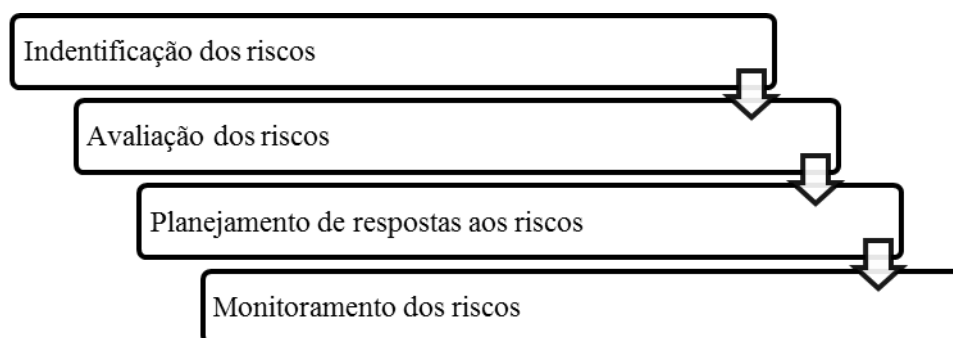


Figura 1. Etapas do Gerenciamento de Riscos

Fonte: Adaptada do padrão ISO 31000:2009, (2009). *Risk Management – Principles and Guidelines*. Geneva: International Standards Organisation.



- a. **Identificação dos Riscos:** “Esta etapa consiste em identificar os riscos que podem afetar diretamente ou indiretamente os objetivos do projeto que está sendo gerenciado” (ISO 31000:2009), a fim de gerar uma lista de riscos baseada nas respectivas causas e impactos relacionados aos riscos identificados.
- b. **Avaliação dos Riscos:** Para Kerzner (2011) esta é a etapa mais complexa do gerenciamento de riscos em projetos e consiste em analisar os riscos, ou seja, é a etapa onde se avalia cada risco que foi identificado em termos dos seus respectivos graus de incerteza de ocorrência, expressa normalmente, por uma determinada probabilidade; e o impacto que cada risco tem sobre os objetivos do projeto, a fim de gerar uma lista de priorização para o tratamento dos riscos. No entanto, dependendo do grau de precisão que se queira alcançar nesta avaliação o método a ser escolhido pode ser mais, ou menos complexo.
- c. **Planejamento de resposta aos riscos:** Após a avaliação dos riscos e por consequência a geração da lista de priorização, o passo seguinte é determinar um “*plano de resposta aos riscos*”, o qual é descrito como um conjunto bem definido de possíveis ações com o objetivo de evitar, mitigar ou aceitar a probabilidade de ocorrência e/ou impacto de cada risco priorizado.
- d. **Monitoramento dos riscos:** Para Kerzner (2011) esta etapa é resumida como um processo sistemático que se baseia em indicadores de desempenho que foram definidos durante planejamento, com o intuito de mapear e avaliar o desempenho das ações implementadas pelo plano de resposta aos riscos, fornecendo insumos para a atualização e manutenção das estratégias provenientes do plano.

No próximo tópico será abordado o método de análise de riscos mais utilizado atualmente (tradicional), talvez por facilidade de implementação e que geram resultados razoáveis como destaca o padrão ISO 31000 (2009), e posteriormente uma abordagem alternativa baseada em lógica *fuzzy* com o mesmo fim de análise e sem grandes alterações de esforços, e por fim a comparação dos resultados obtidos em ambas as metodologias em termos de precisão e esforço empregado.

4 Análise de Riscos em Projetos: O Paradigma Atual

A justificativa da imprescindível necessidade de se avaliar riscos de forma correta é devido à destinação e alocação eficiente de recursos escassos para o tratamento dos riscos priorizados, sejam estes recursos em termos financeiros, pessoal, temporal e/ou tecnológico.

A análise de risco é a fase mais complexa do gerenciamento de riscos em projetos, embora não seja o passo mais trabalhoso. Cuidados devem ser tomados para que o esforço empregado nessa etapa não seja maior do que o valor que ela produzirá para os objetivos do projeto como um todo. Portanto a escolha do método a ser utilizado para tal análise deve ser coerente em termos de esforços e resultados consequentes da metodologia.

É importante se ter em mente que a análise de risco é uma necessidade econômica e depende da aversão ao risco dos tomadores de decisão e, portanto, em geral, quanto maior a disponibilidade de recursos para o tratamento dos riscos, menor é a necessidade de precisão na análise para estabelecer prioridades de tratamento.

A análise de risco pode usar ferramentas quantitativas ou qualitativas. Ferramentas qualitativas, como as matrizes e gráficos são simples de ser entendidas e manipuladas, no entanto, não produzem resultados precisos, enquanto que por sua vez as ferramentas quantitativas, como a simulação de Monte Carlo, diagramas de influência, análise de árvore de falhas ou sistemas de inferência *fuzzy* são mais precisos e complexos e exigem um certo



esforço adicional, portanto, para Hillson (2008) eles devem ser reservados para questões complexas, estratégicas e sensíveis.

Como supracitado as técnicas de análise de risco são diversas e diferem principalmente em sua precisão e complexidade. A metodologia utilizada na análise de risco qualitativa envolve a utilização de tabelas de probabilidade de ocorrência do evento de risco, bem como os impactos causados pela sua ocorrência em dimensões predefinidas. Estas duas medidas são dispostas numa matriz de mapeamento de riscos como mostrado por Kerzner (2011), também conhecida como matriz de probabilidade e impacto.

Ao envolver medidas (mesmo que em escala ordinal), o termo “Análise qualitativa” é utilizado de forma errônea para o método tradicional e seria mais coerente chamá-lo de “análise primária”, onde nesta utiliza-se da probabilidade para descrever a incerteza dos avaliadores sobre a possibilidade de ocorrência do risco, enquanto que o impacto é usado para descrever o efeito dos riscos sobre os indicadores de sucesso do projeto (prazo, custo e escopo), tendo em vista as causas mapeadas.

A ferramenta mais utilizada na abordagem tradicional de análise de risco é a matriz de riscos, o principal argumento para seu uso generalizado é a sua simplicidade de implementação. No entanto, é reconhecido que existem algumas limitações na sua utilização, as quais são abordadas de forma interessante por Cox (2008) e Hubbard (2009). Por exemplo, a matriz não considera a diferença na percepção de risco dos indivíduos como uma descrição qualitativa de probabilidade. Assim, não se torna difícil concluir que alguns termos podem ser compreendidos e avaliados de formas diferentes por avaliadores, mesmo se eles utilizam termos padronizados.

Outras limitações são mais graves e não permitem a comparação de apenas um pequeno número de riscos de forma adequada, não levando em consideração as dependências entre os riscos e do fato de que o uso de escalas não é útil para a alocação de recursos.

O principal objetivo da abordagem tradicional de análise de riscos é atribuir a cada risco identificado um determinado índice de risco, geralmente denominado de “gravidade do risco” ou “relevância do risco”, assim permitindo gerar uma definição de prioridades para a alocação de recursos destinados ao tratamento dos riscos considerados de maior relevância.

Este índice de risco, normalmente, é calculado a partir do valor esperado entre o produto da probabilidade de ocorrência do evento de risco e a avaliação do seu impacto sobre os indicadores de sucesso de um projeto (prazo, custo e escopo). No entanto, este índice de risco é o resultado de uma “análise qualitativa” do risco, a qual é baseada nas escalas de probabilidade e impacto, como exemplifica a Tabela 1:

Tabela 1:

Exemplo de Escalas típicas de probabilidade e impacto

Categoria	Probabilidade	Impacto (US \$ 1000)	Impacto (%)	Pontos
Muito alto	Até 91%	Mais de 2.000	acima de 80	5
Alto	61% - 90%	1.000 - 1.999	41 á 80	4
Médio	31% - 60%	500 - 999	21 á 40	3
Baixo	11% - 30%	100 - 499	5 á 20	2
Muito baixo	01% - 10%	Até 99	até 4	1
Nada	0%	Sem impacto no orçamento	0	0

Nota. Fonte: Elaboração própria dos autores



Ambos, probabilidade e impacto, são avaliados em diferentes dimensões e devem estar representados por escalas de fácil entendimento para apoiar a sua avaliação. A prática mostra o uso generalizado de 5 categorias (intervalos) para se avaliar a probabilidade e o impacto de um evento de risco, sendo essas: muito baixo (1), baixo (2), médio (3), alto (4) e muito alto (5).

Para Kerzner (2011) essas escalas são ordinais e seus valores não têm nenhum significado cardinal, ou seja, não deve ser utilizado para executar operações matemáticas.

No entanto, o "índice de risco" (IR), que é tomado como o indicador e representa a relevância do risco (ou posição ordinal) em relação ao conjunto de riscos identificados, é o resultado da multiplicação dos respectivos pontos atribuídos pelo avaliador ao grau de probabilidade e ao impacto do evento de risco, variando de forma discreta em um intervalo [1;5], onde tal multiplicação é descrita pela seguinte fórmula:

$$IR = \text{Probabilidade} \times \text{Impacto} \quad (1)$$

E este produto é posicionado em uma matriz de riscos, que deve refletir a tolerância ao risco dos patrocinadores ou clientes do projeto, como mostrado na Tabela 2:

Tabela 2:

Exemplo de uma Matriz de Risco

Probabilidade/Impacto	Muito Baixo	Baixo	Médio	Alto	Muito Alto
Muito Alto	5	10	15	20	25
Alto	4	8	12	16	20
Médio	3	6	9	12	15
Baixo	2	4	6	8	10
Muito Baixo	1	2	3	4	5

Nota. Fonte: Elaboração própria dos Autores

Por exemplo, consideremos um evento de risco estimado com uma alta probabilidade de ocorrência (4 pts) e com impacto médio (3 pts) no indicador de sucesso desejado (custo, digamos), onde de acordo com a Tabela 1 e com os cálculos utilizando a Fórmula 1 o evento risco considerado acima possui um $IR = 4 \times 3 = 12$, o que corresponde a um risco de média relevância e pertencente à categoria amarela da matriz de riscos adotada (Tabela 2).

Sugere-se que a matriz de probabilidade seja desenvolvida durante da fase de planejamento do projeto e avaliação durante o seu ciclo de vida, mais precisamente na etapa de gerenciamento de riscos e deve refletir a tolerância aos riscos das partes interessadas no projeto (*stakeholders*).

Além disso, devem-se estabelecer os limites entre as regiões de aversão ao risco e relacionando-as com as definições do mapeamento das escalas de probabilidade e impacto previamente estabelecidas, visto que nesta matriz, os riscos avaliados e colocados na região vermelha são considerados de relevância alta, enquanto os na região amarela tem média relevância e por fim os na região verde têm baixa relevância.

Apesar da simplicidade irrefutável da utilização da matriz de risco, surge uma série de perguntas sobre a sua aplicabilidade: - a primeira está relacionada com o uso dessas escalas para representar probabilidades e impactos de forma qualitativa sobre os indicadores quantitativos de sucesso do projeto, como custo e prazo por exemplo.

Em casos específicos, tal simplicidade pode causar danos à imagem da organização ou aos responsáveis pelo projeto, uma escala qualitativa (verdadeiramente ordinal) pode ser uma alternativa razoável para se evitar isso. No entanto, para muitos tipos de riscos, medir os seus impactos apenas em termos monetários admite a perda desnecessária de informação.



Portanto, na sequência, é descrita uma série de limitações identificadas neste método tão usual, com o intuito de evitar o uso da matriz em situações de análises que exijam técnicas diretamente proporcionais em termos de complexidade, esforço e retorno.

5 Limitações do método tradicional de análise de riscos

Algumas das principais limitações relacionadas com a utilização de matrizes de risco em análise de risco em projetos são discutidas abaixo. Se a simplicidade da técnica é uma forte atração, suas limitações não devem ser esquecidas, pois se o problema é complexo e merece uma análise mais acurada, tal simplicidade não é uma virtude.

5.1. Perda de informação na análise com a Matriz de Risco

Em uma possível aplicação da matriz de risco, o especialista tem de decidir sobre uma categoria predeterminada de probabilidade de ocorrência do evento de risco. Não há outra opção deste processo; logo, é fácil imaginar que a probabilidade de ocorrência de um risco possa ser de 10% ou de 50% dependendo do cenário que se tem em mente, por exemplo.

A informação disponível para o uso do especialista na escolha de uma probabilidade de ocorrência são as possíveis causas para o evento de risco identificado e as condições atuais, o que sugere, que na verdade, o que temos no final é uma probabilidade condicional da ocorrência dado as causas.

No entanto, não é possível identificar as operações realizadas por especialistas para produzir essa informação preliminar, então ainda que o especialista esteja incerto sobre a probabilidade ele deverá escolher apenas uma categoria para ela (alta, média ou baixa, por exemplo).

Durante a seleção de uma categoria do impacto relacionada ao evento risco, o especialista tem que imaginar que uma vez que o evento ocorre o seu impacto terá uma magnitude única e particular. Não se considera que as incertezas podem levar o especialista a acreditar que um risco pode causar, com diferentes probabilidades, de médio a alto impacto, por exemplo. Decompor este risco em duas categorias (uma com "alto impacto" e outro com "baixo impacto", por exemplo) não resolve o problema, porque esses eventos seriam mutuamente excludentes e não pode exibir dependências claramente na matriz.

Em ambos os casos, o parecer dos peritos é reduzido a um número para que possamos posteriormente obter um índice de risco, com perda significativa de informações e de uma falsa avaliação da incerteza no resultado final.

Outra perda de informação ocorre devido à heterogeneidade dos impactos. Impactos econômicos muitas vezes podem ser expressos em termos monetários, mas isso não será possível para muitos outros tipos de impactos, tais como danos para a imagem da organização. Para assegurar a coerência entre as avaliações de impactos medidos em diferentes escalas é necessário o uso de métodos de avaliação da "utilidade subjetiva", de novo, destruindo a aparente simplicidade da matriz de riscos.

5.2. Diferenciação pouco clara de Riscos

Independentemente da quantidade de informações que temos para cada risco na matriz de riscos, todos os riscos considerados são classificados usando o mesmo procedimento. O resultado do processo é uma lista de riscos dentro de cada categoria de relevância (por



exemplo, alto, médio ou baixo). No entanto, uma observação importante de Kerzner (2011) é que esta ferramenta não permite classificar os riscos dentro da mesma categoria de relevância, ou seja, não é possível determinar quem é o mais alto entre os riscos altos.

Assim, a análise de riscos do projeto deve assegurar a coerência na lista usando outros critérios, tais como urgência ou complexidade do tratamento com o intuito de alocar da melhor forma possível os recursos escassos destinados ao tratamento dos riscos.

Portanto, a aparente simplicidade não impede a complexidade inicial de priorização dos riscos, mesmo que não sejam todos com tal complexidade, mas pelo menos aqueles que pertencem às categorias de maior relevância.

5.3. Inconsistência nos resultados da análise

Apesar dos cálculos e do código de cores utilizado na abordagem tradicional da matriz de riscos, não há garantia de que um determinado evento risco classificado em uma categoria superior é realmente mais importante que um risco classificado em uma categoria inferior. Uma forma prática de demonstrar isso é através do seguinte exemplo:

Considerando um evento de risco A, cujos especialistas imaginaram ter uma probabilidade de cerca de 65% e uma estimativa de impacto de US\$ 1,2 milhões no orçamento. Usando as categorias predefinidas na Tabela 1 é estimado que esse risco tem alta probabilidade e alto impacto no indicador custo, de modo o seu $IR = 4 \times 4 = 16$, logo segundo a tabela 2 (matriz de riscos) o evento é classificado como de “alta relevância”.

Agora, considerando um evento de risco B, cujos especialistas imaginaram ter uma probabilidade de cerca de 85% e um impacto estimado, se vier a ocorrer, em US\$ 950.000,00, temo que sua probabilidade é classificada como alta e seu impacto como médio, logo seu $IR = 4 \times 3 = 12$ e segundo a matriz de riscos, sua avaliação é considerada como de “média relevância”.

No entanto, se o custo esperado fosse calculado diretamente a partir da avaliação dos especialistas sobre o resultado final do impacto sobre o custo do projeto, o valor esperado pela ocorrência do Risco A seria de US\$ 780.000,00, enquanto do Risco B seria de US\$ 807.500,00.

Assim, para o orçamento do projeto, o Risco B deve ser considerado mais relevante e deve receber mais atenção do que o Risco A. Isso ilustra um grave erro na interpretação da análise através de matrizes de risco. Além disso, em ambos os cálculos, dois aspectos importantes foram esquecidos: a avaliação da incerteza e a utilidade de um tomador de decisão para a avaliação que, pela aversão ao risco, não é necessariamente proporcional ao valor monetário.

Portanto essas foram algumas das limitações que podem ser claramente identificadas na análise de riscos usando como metodologia a matriz de riscos. Na sequência será apresentada uma abordagem alternativa baseada em lógica *fuzzy* com o intuito de mostrar sua eficiência em relação a tais limitações apresentadas pelo método usual.

6 Uma Abordagem Alternativa Baseada em Lógica *Fuzzy* para Análise de Riscos

Como destacado até este ponto, o método mais utilizado atualmente (matriz de riscos) para fazer análise de riscos no gerenciamento de riscos em projetos possui relativo grau de simplicidade, porém dependendo da aplicabilidade ele possui diversas limitações, onde tal simplicidade deixa de ser uma virtude. Este tópico irá propor uma ferramenta baseada em *lógica fuzzy* que permite suprir algumas das limitações deixadas pelo método usual, sem



grandes alterações de esforços para tal análise, permitindo gerar uma lista, mais coerente, de riscos prioritizados para tratamento, com o objetivo de melhorar a distribuição e alocação dos recursos escassos disponibilizados para tais tratamentos.

Shaw (1998) afirma que a lógica *fuzzy* surgiu em meados da década de 60, quando o professor Loft A. Zadeh de engenharia elétrica e ciências da computação da Universidade da Califórnia, em Berkeley, percebeu que a maioria das regras e expressões usadas pelas pessoas não eram consideradas conscientes, pois elas não conseguem explicá-las de forma consistente. E em 1965 ele publicou o primeiro artigo que explicitava o método e suas diferentes áreas de aplicações, dentre elas ainda Shaw (1998, p.1) destaca: “engenharia de controle industrial, manufatura, comunicação homem-máquina e em **sistemas de tomada de decisão**”. (grifo nosso)

Shaw (1998) afirma este método tem como principal característica emular a maneira com que as pessoas tratam informações imprecisas e tomam decisões baseadas nelas. Logo este método possui grande aplicabilidade na etapa de análise riscos, visto que esta possui forte ligação com a tomada de decisão no gerenciamento de riscos em projetos.

6.1 Sistema de tomada de decisão baseado em lógica *fuzzy*

A lógica *fuzzy* é um método de inteligência artificial baseado nos conjuntos *fuzzy*, os quais estão fundamentados no princípio da multivalência, onde a geração dos resultados dependendo da ótica que se utiliza para definição do problema, opondo-se diretamente ao princípio da bivalência de Aristóteles, o qual afirma que um resultado de determinado problema só pode assumir dois valores: verdadeiro ou falso, branco ou preto, alta ou baixa relevância.

Vaz (2006) afirma que os sistemas de inferência baseados em lógica *fuzzy*, de forma geral, possuem 3 grandes componentes: “interface de entrada”, “módulo de processamento” e “interface de saída”; a qual ainda se subdivide em outros subcomponentes, como mostra a Figura 2, onde as interações entre os subcomponentes, e por consequência as dos componentes, são apresentadas na sequência.

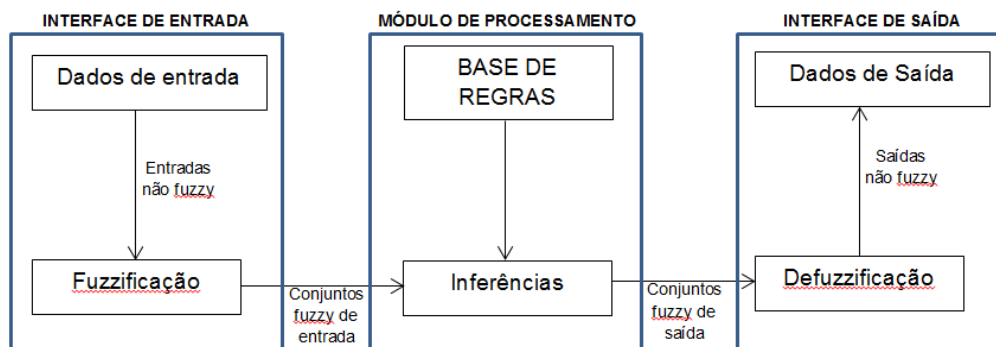


Figura 2. Estrutura dos sistemas de inferência fuzzy

Fonte: Adaptado de VAZ, A.M. *Estudo das funções de pertinência para os conjuntos fuzzy utilizados em controladores semafóricos fuzzy*. Brasília – DF, Dissertação de Mestrado em Transportes, UBR – DECA, 2006.

- Dados de entrada:** São os vetores de entrada do sistema de inferência *fuzzy*, ou seja, serão as variáveis e seus respectivos valores, que depois de “*fuzzyficados*” serão utilizados para realização das inferências do sistema, onde na abordagem da análise de riscos, basicamente, as variáveis utilizadas são as probabilidades e os respectivos impactos dos riscos analisados, porém não é uma restrição a utilização de somente 2 (duas) variáveis, pode-se utilizar “n” variáveis dependendo da complexidade e dos recursos exigidos pela análise.



- b) **Fuzzyficação:** Antunes (2004) explica que tal subcomponente é definido como um processo de transformação dos vetores de entrada em conjuntos *fuzzy*, através da verificação do grau de pertinência $\mu(x)$ das variáveis de entrada em relação ao universo de discurso dado pelas escalas das variáveis utilizadas, que na análise de riscos serão: probabilidade e impacto; com o objetivo que estes sejam utilizados para a realização das inferências, as quais servirão como base para a geração da lista dos riscos priorizados.
- c) **Base de Regras:** A base de regras, de uma forma geral, é um conjunto de regras que servirá como base de conhecimento para a realização das inferências. Shaw (1998) destaca que cada regra que compõe o conjunto possui uma estrutura básica, dada por:
“SE causa₁ = A e causa₂ = B ENTÃO efeito = C”

Sendo que a “causa₁” em análise de riscos é dada pela probabilidade e a “causa₂” pelo impacto, ou vice-versa, enquanto que o “efeito” é expresso pela relevância do risco analisado, e como supracitado, em análises mais complexas a quantidade de variáveis “causas” não se restringe a somente 2 (duas).

- d) **Inferências:** Antunes (2004) observa que o processo de inferência ocorre baseado no conhecimento norteador da base de regras e nas variáveis de entrada *fuzzyficadas*, consistindo na verificação do grau de disparo de cada regra acionada da base, sendo que os respectivos graus de disparo são calculados por meio de operações feitas com os conjuntos *fuzzy*, onde as principais estão destacadas na Tabela 3.

Tabela 3:

Principais operações feitas com os conjuntos *fuzzy*

NOME	OPERAÇÃO	FÓRMULA
Norma - T	Intersecção	mínimo [a,b]
Norma - S	União	máximo [a,b]

Nota. Fonte: Adaptada de ANTUNES, J. *Modelo de avaliação de risco de controle utilizando a lógica nebulosa*, São Paulo, 1981. 162 p.

- e) **Defuzzyficação:** O processo de *defuzzyficação* consiste na conversão das inferências realizadas, as quais são fornecidas em termos de conjuntos *fuzzy* de saída, ou seja, traduzir a inferência feita em valores representativos e que forneçam uma informação clara para a tomada de decisão e priorização dos riscos. Wang (1997) afirma dois dos métodos de *defuzzyficação* mais eficazes são: Centro de Gravidade e Média de Centros; onde o segundo é uma aproximação aceitável do primeiro, e dada pela respectiva fórmula:

$$y^* = \frac{\sum_{i=1}^L w_i y_i}{\sum_{i=1}^L w_i} \quad (2)$$

Onde y_i é o centro do conjunto *fuzzy* de saída arbitrária (conjunto citado na parte “então” das regras que constituem a base) e w_i é o resultado sobre o conjunto *fuzzy* de saída cujo o centro é y_i .

- f) **Dados de Saída:** São os vetores de saída do sistema, ou seja, são valores representativos dos conjuntos *fuzzy* de saída, e consistem em valores precisos que podem gerar uma classificação de pertinência dentro do universo de discurso em questão, e por consequência uma lista de priorização dos riscos, além de que devem ser diretamente proporcionais aos dados de entrada.



6.2 Exemplo de aplicação do sistema de inferência *fuzzy* em análise de riscos

Utilizando dados extraídos de uma das experiências profissionais de um dos autores deste artigo, o qual forneceu parte dos dados sobre um gerenciamento de riscos realizado por ele em uma de suas vivências profissionais, foi aplicado o método alternativo baseado nos sistemas de inferência *fuzzy* apresentado no subtópico anterior, para a análise de riscos.

O contexto do projeto, o qual o segundo autor realizou o gerenciamento de riscos foi em uma cadeia petrolífera em expansão de suas instalações, que trabalhava com o transporte e armazenamento de petróleo por meio de dutos, estações de bombeamento e parques de tancagem, onde o projeto de expansão estava sofrendo com invasões populares que foram se alocando nas redondezas da área, devido à boa infraestrutura urbana do local, a região tornou-se intensamente povoada, aumentando o risco de acidentes com pessoas, equipamentos e dutos.

Em uma fase inicial do projeto, foi realizado um ciclo de gerenciamento de riscos (Figura 1). Neste exemplo, decidiu-se usar como um indicador para a análise de risco, o orçamento do projeto, embora no caso real, outros objetivos importantes poderiam ser representados por indicadores adicionais.

Uma das dificuldades encontradas era conseguir priorizar os riscos identificados em uma mesma categoria de relevância, o que é uma das limitações do método tradicional, portanto impossibilitando seu uso nesta análise. Tomemos como base dois dos riscos identificados e mostrados na tabela 4:

Tabela 4:

Extrato de 2 (dois) dos Riscos Identificados no Projeto

Nº	O risco de evento	Causas mapeadas	Prob. (%)	Imp. (%)
1	Interdição das instalações	- As comunidades que vivem perto das novas instalações. - Problemas com o meio ambiente.	20%	38%
2	Atropelamentos na área da instalação de novos dutos.	- As comunidades que vivem perto das novas instalações. - Infra-estrutura inadequada para o tráfego de veículos.	25%	35%

Nota. Fonte: Elaboração própria, baseada na experiência do autor

Dados os valores de probabilidade e impacto e utilizando a Tabela 1 como base, teríamos, pelo método tradicional de matriz de riscos, os respectivos índices de risco:

$$IR_1 = 2 \times 3 = 6$$

$$IR_2 = 2 \times 3 = 6$$

Logo ambos os riscos possuiriam o mesmo grau de relevância, impossibilitando a priorização para distribuição e alocação adequada dos recursos para o tratamento, exigindo um esforço adicional para a determinação de outros critérios para classificá-los, como complexidade ou urgência de se resolver cada risco.

No entanto utilizando a metodologia baseada em lógica *fuzzy* teríamos os resultados apresentados na sequência, onde os gráficos foram construídos com o auxílio do software MATLAB.

Como objeto de compreensão e comparação com o método tradicional utilizou-se da mesma Tabela 1, porém o método poderia se utilizar de outros indicadores que fossem coerentes com os objetivos do projeto, para a construção dos respectivos gráficos das funções



de pertinência dos dados de entrada, que neste exemplo é dado pela probabilidade e impacto no orçamento dos riscos da identificados na Tabela 4.

O gráfico mostrado na Figura 2 representa o comportamento da variável probabilidade (dado de entrada) nos intervalos descritos na Tabela 1 quando aplicados ao sistema de inferência baseado em lógica *fuzzy*.

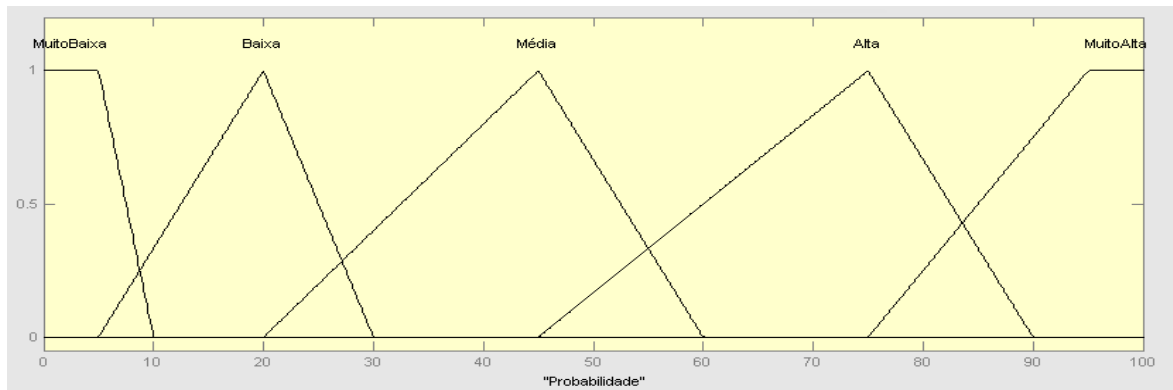


Figura 2. Gráfico representativo das funções de pertinência da variável probabilidade
Fonte: Elaboração própria dos autores usando como auxílio o software MATLAB

O gráfico representado pela Figura 3 mostra o comportamento da variável impacto (dado de entrada) nos intervalos descritos em termos de porcentagem também na Tabela 1.

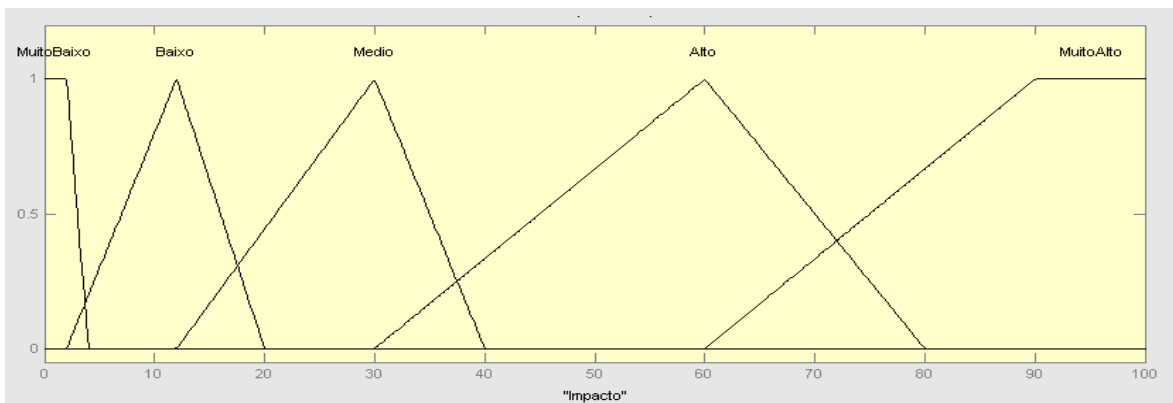


Figura 3. Gráfico representativo das funções de pertinência da variável Impacto
Fonte: Elaboração própria dos autores usando como auxílio o software MATLAB

E por fim o gráfico de saída representado pela Figura 4, o qual indicará a relevância que o risco analisado irá possuir segundo o sistema de inferência *fuzzy*, permitindo gerar uma classificação precisa em termos numéricos para os riscos e assim poder priorizá-los.

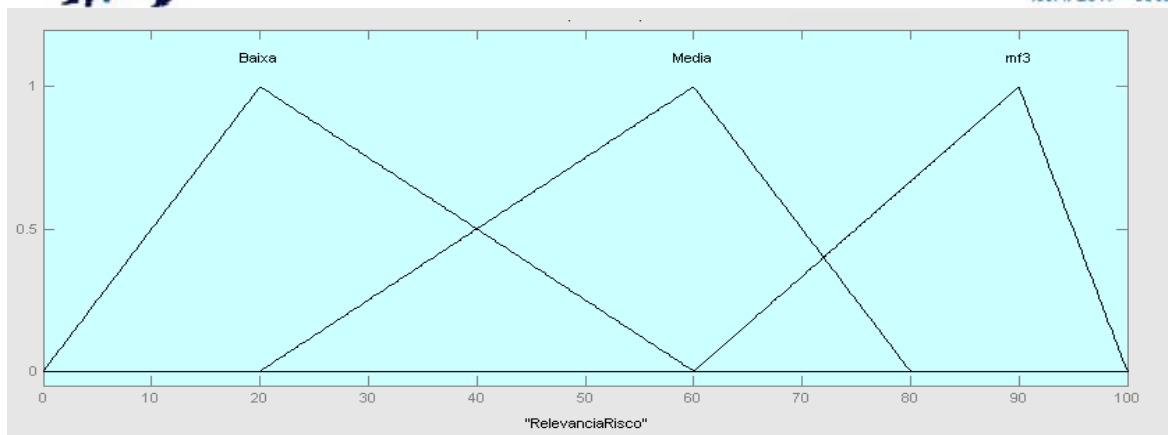


Figura 4. Gráfico representativo das funções de pertinência da variável Impacto

Fonte: Elaboração própria dos autores usando como auxílio o software MATLAB

Neste exemplo utilizaram-se os mesmos rótulos de relevância dos riscos do método tradicional, apenas para termos de comparação, porém quanto mais rótulos utilizar-se, mais preciso é o resultado de relevância de cada risco que irá compor a lista de priorização para tratamento.

Após a construção dos respectivos gráficos das funções de pertinência das variáveis de entrada (probabilidade e impacto) e saída (relevância do risco), é formulada a base de regras que será o norteador para as inferências que o sistema irá realizar, e tomando como base a estrutura padrão supracitada e descrita por Shaw [11], temos:

- R1 – **SE** a probabilidade é muito baixa **E** o impacto é muito baixo, **ENTÃO** a relevância do risco será baixa ;
- R2 – **SE** a probabilidade é alta **E** o impacto é muito baixo, **ENTÃO** a relevância do risco será baixa ;
- (. . .)
- R25 – **SE** a probabilidade é muito baixa **E** o impacto é muito alto, **ENTÃO** a relevância do risco será baixa .

A base de regras também pode ser expressa por meio de uma matriz “probabilidade* impacto” em que o resultado de cada combinação será relevância do risco, e representado através do mesmo código de cores descrito na Tabela 2, também apenas por termos de comparação.

Tabela 5:

Exemplo de Matriz de Probabilidade*Impacto da Base de Regras

BASE DE REGRAS					
probabilidade/impacto	Muito baixa	Baixa	Média	Alta	Muito alta
Muito alto	B(R1)	Md(R6)	A(R11)	A(R16)	A(R21)
Alto	B(R2)	Md(R7)	Md(R12)	A(R17)	A(R22)
Médio	B(R3)	B(R8)	Md(R13)	Md(R18)	A(R23)
Baixo	B(R4)	B(R9)	B(R14)	Md(R19)	Md(R24)
Muito Baixo	B(R5)	B(R10)	B(R15)	B(R20)	B(R25)

Nota. Fonte: Elaboração própria dos Autores

Após a construção dos gráficos e da base de regras o sistema já pode realizar suas inferências, dada à probabilidade e o impacto do risco analisado, ou outras variáveis que estejam sendo utilizadas.

Portanto, baseado nas informações dos riscos objetos de análise da Tabela 4, tem-se:



- No Risco 1 os dados de entrada de entrada, probabilidade de 20% e um impacto de 38% no orçamento, são *fuzzyficados* verificando o grau de pertinência que seus valores apresentam em seus respectivos gráficos, e esses valores são expressos pelos conjuntos:

$$\begin{aligned}\mu(\text{probabilidade} = 20\%) &= [0 \ 1 \ 0 \ 0 \ 0] \\ \mu(\text{impacto} = 38\%) &= [0 \ 0 \ 0,25 \ 0,3 \ 0]\end{aligned}$$

Onde os primeiros valores dos conjuntos estão relacionados às pertinências das respectivas variáveis à categoria “muito baixo”, os segundos a “baixo”, os terceiros a “médio”, os quartos a “alto” e os quintos a “muito alto”, como descrito na Tabela 1. Posteriormente é feito o mapeamento desses graus de pertinência das variáveis probabilidade e impacto, e verifica-se as regras acionadas na base de regras (Tabela 5) pelo risco 1 através de uma simples análise combinatória entre valores das variáveis, que neste caso, foram as regras R(14) e R(19) respectivamente, com os seguintes “graus de disparo” $G(R(x))$, calculados a partir das operações com conjuntos *fuzzy* (Tabela 3), onde nesta análise usou-se a intersecção:

$$\begin{aligned}G(R(14)) &= \text{mínimo} [1 \ 0,25] = 0,25 \\ G(R(19)) &= \text{mínimo} [1 \ 0,3] = 0,3\end{aligned}$$

E por fim a *defuzzyficação* da inferência tomada sobre o risco analisado utilizando a fórmula 2 do método descrito por Wang [13], que para o risco 1 tem-se:

$$y = \frac{20 \cdot 0,25 + 60 \cdot 0,3}{0,25 + 0,3} = 41,82$$

Onde este valor de 41,82 será comparado ao gerado pelo risco 2 e os riscos serão classificados por prioridade de relevância, em que o mais relevante será o que apresentar o maior valor em uma escala de 0 a 100. Portanto aplica-se os mesmos procedimentos para a obtenção do valor representativo do risco 2.

- O risco 2 apresentado na Tabela 4 possui os dados de entrada: probabilidade de 25% e impacto de 35% no orçamento, onde os graus de pertinência são de aproximadamente:

$$\begin{aligned}\mu(\text{probabilidade} = 25\%) &= [0 \ 0,5 \ 0,2 \ 0 \ 0] \\ \mu(\text{impacto} = 35\%) &= [0 \ 0 \ 0,5 \ 0,15 \ 0]\end{aligned}$$

E as regras acionadas pelo risco 2 foram: R(13), R(14), R(18) e R(19) respectivamente, sendo suas relevâncias expressas pelo código de cores na Tabela 5 e os seus graus de disparo expressos por:

$$\begin{aligned}G(R(13)) &= \text{mínimo} [0,2 \ 0,5] = 0,2 \\ G(R(14)) &= \text{mínimo} [0,5 \ 0,5] = 0,3 \\ G(R(18)) &= \text{mínimo} [0,2 \ 0,15] = 0,15 \\ G(R(19)) &= \text{mínimo} [0,5 \ 0,15] = 0,15\end{aligned}$$

E por fim a *defuzzyficação*:

$$y = \frac{60 \cdot 0,2 + 20 \cdot 0,5 + 60 \cdot 0,15 + 60 \cdot 0,15}{0,2 + 0,5 + 0,15 + 0,15} = 40$$



7 Análise dos resultados

Dessa forma o valor gerado pela aplicação do sistema de inferência *fuzzy* ao risco 2 é igual 40, um valor menor que o gerado pelo risco 1. Logo na escala de 0 a 100 (universo de discurso), o risco 1 seria prioritário na ordem de relevância em relação ao risco 2, permitindo classificar dois riscos distintos em uma mesma categoria, o que não seria possível se fosse utilizado o método tradicional (matriz de riscos).

Assim a metodologia proposta permite classificar os riscos com maior precisão, além de poder utilizar “n” variáveis para a análise dos riscos, diminuindo significativamente as perdas de informações que o método de matriz de riscos possui ao utilizar somente custos e probabilidade como variáveis. No entanto, a quantidade de variáveis a serem utilizadas é diretamente proporcional à complexidade de aplicação, sendo a utilização de um maior número deve ser reservada para questões complexas, sensíveis e estratégicas, contanto que sejam coerentes com a disponibilidade de recursos para a análise.

8 Conclusões e Perspectivas

Como pudemos perceber o método tradicional apresenta resultados relativamente satisfatórios quando a etapa de análise de riscos do projeto não exige grande complexidade e os riscos são perfeitamente distinguíveis. Entretanto, de acordo com o aumento da complexidade do problema, a capacidade dos tomadores de decisão se apoiar nos resultados do método usual diminui até alcançar um limite em que a precisão e a relevância das decisões tomadas se tornam mutuamente exclusivas.

Já com a abordagem alternativa proposta, baseada em lógica *fuzzy*, é possível atingir uma maior precisão na etapa de análise de riscos sem grandes alterações de esforços, permitindo uma melhor alocação dos recursos disponíveis pelas organizações para o tratamento dos riscos e seus gerenciamentos. Além de que tal análise ainda pode ser realizada com o auxílio do software MATLAB, diminuindo relativamente ainda mais os esforços a serem empregados na atividade.

Espera-se ainda realizar estudos mais aprofundados sobre o método proposto, visando aumentar a quantidade de demonstrações da capacidade de exaurir diversas limitações decorrentes do uso do método tradicionalmente usado e até mesmo de outros métodos, sejam eles qualitativos ou quantitativos. As novas etapas serão realizadas não apenas com exemplos, mas simulações do ambiente de incerteza no desenvolvimento de projetos.

9 Referências

Antunes, J. *Modelo de avaliação de risco de controle utilizando a lógica nebulosa*. São Paulo, 2004. 162 p.

Atkinson, R. (1999). *Project Management: Cost, time and quality, two best guesses and a phenomenon, it's time to accept other success criteria*. International Journal of Project Management, 17, 337-342.

Clements, J. P. *Gestão de Projetos*; [Tradução Ez2translate]. São Paulo: CENGAGE LEARNING, 2013, ed. 5.

Cox Jr. L.A. *What's wrong with risk matrices?* *Risk Analysis*, 2008. 28(2):497–512.



Hillson, D.A. *Towards Programme Risk Management*. Proceedings of PMI Global Congress North America 2008, Denver, Colorado, USA. Available online from <http://www.risk.doctor.com/pdf-files/ADV11.pdf>.

Hubbard, D.W. *The failure of risk management*, Wiley, 2009

ISO 31000:2009. *Risk Management – Principles and Guidelines*. Geneva: International Standards Organisation, 2009.

Kerzner, H. *Gerenciamento de Projetos: uma abordagem sistêmica para o planejamento, programação e controle*. São Paulo: BLUCHER, 2011, ed. 10.

PMI - Project Management Institute (2015). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*.: Author.

PMI - Project Management Institute. *A guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)*. Newton Square, PA: Autor, 2013.

Shaw, I. A.; Simoes, M. G. *Controle e modelagem fuzzy*. São Paulo: BLUCHER, 1998.

Vaz, A.M. *Estudo das funções de pertinência para os conjuntos fuzzy utilizados em controladores semafóricos fuzzy*. Brasília – DF, Dissertação de Mestrado em Transportes, UBR – DECA, 2006.

Wang, L. A. *Course in Fuzzy, Systems and Control*, Prentice-Hall, 1997.