

# EMPREGO DA *FUZZY SETS THEORY* NA AVALIAÇÃO DO RISCO DE ROUBO CARGA NO TRANSPORTE RODOVIÁRIO

**Helio Rodrigues Valim**

CASOP - MB

Ilha de Mocanguê, s/n

Centro - Niterói

[eng.valim@infolink.com.br](mailto:eng.valim@infolink.com.br)

**Amaranto Lopes Pereira**

COPPE - UFRJ

Centro de Tecnologia Bloco H - Sala 106

Cidade Universitária – Rio de Janeiro

[amaranto@pet.coppe.ufrj.br](mailto:amaranto@pet.coppe.ufrj.br)

## Resumo

O presente trabalho aborda o tradicional problema de roteamento de veículos de transporte rodoviário, segundo a ótica do gerenciamento do risco de roubo de carga. Para tanto, os conceitos necessários à modelagem matemática do problema são tratados visando definir o grau de risco de roubo em cada arco de um determinado caminho. Além disso, um modelo baseado na Teoria dos Grafos, é desenvolvido para a rede de rodovias da região relacionado com o exemplo de aplicação.

Após coleta de informações acerca de problemas de roteamento e dos métodos estocásticos para avaliação do risco, define-se o método para determinar o risco de roubo de carga a partir da ponderação dos parâmetros que compõem a variável Grau de Risco. Parte-se, então, para a fase de entrevistas e conseqüente análise qualitativa dos dados obtidos, utilizando-se de conceitos da *Fuzzy Sets Theory*, que melhor representa a imprecisão e a incerteza encontradas nas respostas dos entrevistados.

**Palavras-Chaves:** Fuzzy Set; Gerência do Risco; Roubo de carga.

## Abstract

The present work approaches the traditional problem involving the determination of routes pertaining to road transportation, according to the optics of the management of risk related to load robbery. For this propose the concepts to the mathematical modeling of the problem are used for to define de measure of risk related to robbery in each segment of determined highway. Moreover, a model based on the Theory of the Graphs shape is developed for the net of highways of the region related to the application example.

After collecting information concerning to problems for the determination of the routes and the random methods for evaluation of the risk, we define the method to determine the risk of load robbery by balancing the parameters that compose the variable of the measure of risk. Next step, the phase of interviews and consequent qualitative analysis of the data obtained, using concepts of the Fuzzy Sets Theory that better represents the found imprecision and the uncertainty in the answers of those interviewed.

**Keywords:** Fuzzy Set; Management of Risk; Load Robbery.

## 1. O ROUBO DE CARGA NO BRASIL

Analisando-se as estatísticas fornecidas pelas seguradoras e associações do setor de transportes, relacionadas ao roubo de carga, observa-se que na modalidade de transporte rodoviário esse tipo de sinistro foi responsável por prejuízos acima de R\$ 500 milhões em 2000 e de R\$ 700 milhões no país em 2001. “O roubo de carga se traduz em quase 80% de sinistros na carteira de transporte rodoviário de carga”, afirma o vice-presidente da empresa Sul América Seguros, Ivan Gonçalves Passos.

Segundo a Associação Brasileira dos Transportadores de Carga – ABTC esse problema é vivido diariamente por, aproximadamente, 35 mil empresas e 310 mil transportadores autônomos de um setor que gera 3 milhões de empregos e que, até hoje, pouco tem sido feito no sentido de minimizar os custos associados.

As cargas mais visadas continuam sendo as de combustíveis, alimentos, cigarros, eletroeletrônicos, produtos farmacêuticos, têxteis e confecções, higiene e limpeza, autopeças e produtos químicos

Com objetivo de reduzir os custos decorrentes do roubo de carga as empresas transportadoras, embarcadores e seguradoras têm contratado empresas especializadas para gerenciamento de risco nas operações de transporte de carga.

Essas empresas têm adotado as seguintes medidas de gerenciamento de risco:

- Segurança patrimonial de suas instalações, escolta dos veículos, com equipes fortemente armadas e, em casos extremos, até helicópteros;
- Instalação de equipamentos sofisticados de vigilância eletrônica nos terminais e de rastreamento dos veículos, via satélite. O alto custo dos equipamentos dos sistemas de rastreamento à distância, tem dificultado o avanço de seu uso nas transportadoras;
- Redução da quantidade de carga transportada em cada veículo, no caso de mercadorias de maior valor agregado, assumindo-se os ônus de uma ociosidade forçada, em nome da segurança;
- Contratação de seguros facultativos, de transporte e de mercadorias em depósito como o: Facultativo de Responsabilidade Civil do Transportador Rodoviário por Desaparecimento de Carga - RCF-DC; e
- Seleção ainda mais rigorosa de seus motoristas e colaboradores, mediante consulta a cadastros especializados.

## 2. CONCEITUAÇÃO DO RISCO

O termo risco incorpora duas linhas de raciocínio: a primeira tem como base a identificação entre o possível e o provável, aspectos que pressupõem alguma forma de tentar compreender a regularidade dos fenômenos. A segunda refere-se à esfera dos valores: risco pressupõe colocar em jogo algo que é valorizado.

Apesar das brilhantes realizações dos pensadores da Grécia Clássica e da civilização árabe, nenhum desses povos chegou a formular o conceito matemático de probabilidade. Aos gregos certamente faltava um sistema de notação numérica que permitisse o cálculo probabilístico; e aos árabes, após Maomé, muito provavelmente faltava uma filosofia capaz de pensar o futuro como passível de controle.

O surgimento do pensamento probabilístico forneceu o terreno necessário para analisar os riscos como situações gerenciáveis. Fez-se necessário, então, que fosse adotado, na Europa, um sistema de notação numérica que permitisse cálculos complexos.

O sistema árabe, introduzido no século XIII na Itália por Fibonacci, atendeu à essa necessidade. Mas não era suficiente um sistema de notações: passaram-se, aproximadamente, 400 anos antes que surgisse a Teoria da Probabilidade. Foi necessário ainda que ocorresse um estudo crítico dos princípios, hipóteses e resultados das ciências já constituídas, que permitisse uma nova compreensão do que era considerado como conhecimento verdadeiro,

passando-se a aceitar a “Inferência” como procedimento legítimo de conhecimento. Sem a “Inferência”, é óbvio, não seria possível a formulação de uma Teoria da Probabilidade e seria impensável “jogar” com o futuro.

Na realidade, o surgimento da noção moderna de risco baseia-se em um movimento mais geral de crença na racionalidade humana. Essa idéia norteou as relações sociais sobre risco durante muitos séculos.

São os cálculos sobre risco que têm papel fundamental na formatação da moderna valorização da “segurança”. O desenvolvimento das instituições seguradoras está vinculado à atitude “atuarial” de coletar dados populacionais e ao cálculo de probabilidades em função das regularidades observadas.

Na história desses desenvolvimentos encontra-se um movimento de interesse pelas estatísticas populacionais que, expande-se por toda a Europa, onde tabelas de mortalidade e morbidade tornam-se importantes instrumentos para os “biopoderes” aos quais se refere Foucault, permitindo o fortalecimento das técnicas de governabilidade. Porém, foram as necessidades comerciais, de definição das perdas e ganhos no comércio de além-mar, que impulsionaram à tecnologia dos seguros.

Dos seguros marítimos, passando pelos seguros de vida, chegou-se à posição atual em que tudo pode ser segurado: a vida, a saúde, o veículo, a carga e as perdas, através dos resseguros.

No caso dos seguros, a racionalidade está atrelada à possibilidade de cálculo através de coleta criteriosa dos dados, enquanto que, na área dos comportamentos a racionalidade vai determinar a valorização da atitude de processador de informação que levará à valorização das ciências cognitivas, entre elas a *Fuzzy Theory*, a teoria da matemática nebulosa.

## 2.1. O TERMO RISCO

O conceito de risco é uma noção, basicamente, atual que implica a nova orientação das relações das pessoas com os eventos futuros. Não é que não houvesse experiência de perigo antes da época atual; a novidade é a redefinição desses perigos numa ótica de “controle do futuro”. Como conceito atual e como centro da nova atitude de “controle do futuro”, o conceito de risco surge em oposição ao de fatalidade e destino, conforme afirma BERNSTEIN (1996): A idéia revolucionária que define a fronteira entre os tempos modernos e o passado é o domínio do risco. Ressaltando o conhecimento de que o futuro é mais que um designo divino e de que homens e mulheres não são passivos diante da natureza.

Não apenas o conceito é novo: a palavra risco tem seu primeiro registro no século XIV. Não existia no grego, no árabe e no latim clássico. Tem registro em espanhol desde o século XIV, mas só no século XVI que adquire seu significado atual. A hipótese etimológica mais aceita é que a palavra risco seria derivada da palavra latina *resicare*, que significa, cortar. Essa palavra era usada para descrever penhascos submersos que cortavam os cascos dos navios causando naufrágios, dando origem ao uso atual da palavra risco como possibilidade de ocorrência um fato indesejável.

A ambigüidade do conceito de risco que associava o possível e o provável, favoreceu à introdução de novos significados quando passou a ter uso corrente na língua inglesa no século XVII. Permitiu a síntese dos conceitos de sorte e de chance, que já incorporavam o sentido de incerteza de resultados que poderiam vir a ser favoráveis ou desfavoráveis.

Embora em oposição ao conceito de fatalidade, este permanece com sentido de imprevisibilidade do futuro. Conforme a confiança na capacidade de gerenciar os riscos começa a se reduzir, devido à complexidade dos riscos da sociedade globalizada, a fatalidade assume novos contornos, especialmente no contexto dos riscos corporificados decorrentes das novas tecnologias.

Os conceitos de sorte, chance e *hazard* (jogo de azar) fornecem o cenário da incerteza propício à predição. Não é por acaso, que os jogos de azar tenham sido o contexto ideal para o desenvolvimento da Teoria da Probabilidade.

O sentido do risco nos jogos de azar permite compreender a progressiva negatividade do risco à medida que este migra da noção da teoria da probabilidade para a organização do corpo social, em um primeiro momento, e para a rede de significados própria ao que Ulrich Beck chama de “sociedade de risco”. Para Beck a questão central da “sociedade de risco” é a distribuição dos males, em oposição à lógica predominante da sociedade industrial de distribuição dos bens.

Ainda, como conceito de perigo, o termo risco incorpora as diretrizes das ordens morais, principalmente quando o conceito de risco amplia-se associando aos riscos pessoais as consequências dos produtos globalizados da moderna ciência e tecnologia.

Portanto, como repertório lingüístico usado para dar sentido aos eventos da vida cotidiana, a palavra risco é polissêmica.

## 2.2. AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO RISCO

Em termos quantitativos, risco é freqüentemente definido como a probabilidade da ocorrência de um resultado não desejado. Os engenheiros tendem a definir o risco como uma perda, enquanto os economistas tendem a usar a palavra como um sinônimo da “probabilidade da ocorrência de um evento desfavorável”. A política de avaliação de risco pode ser considerada como um esforço visando determinar o nível de risco ou a probabilidade das perdas, em função da situação.

Em muitos casos, entretanto, é praticamente impossível conhecer precisamente a distribuição da probabilidade que necessitamos. Às vezes, os valores estimados das probabilidades podem ser imprecisos, pois possuem significância inexpressiva.

Desde a publicação do primeiro artigo sobre os *Fuzzy Sets* por ZADEH (1965), forma publicados trabalhos onde a *Fuzzy Logic* é empregada como ferramenta para estimar o risco. Esses estudos baseiam-se na premissa de que a linguagem natural pode fornecer os *inputs* para estimar a possibilidade de ocorrência de um fato indesejável

Pode-se citar o trabalho de MACHIAS e SKIKOS (1992) que a partir de uma matriz que relaciona os termos lingüísticos, a velocidade do vento, o valor da freqüência e o risco, propuseram um método para estimar o risco do vento através de um indicador que denominaram de “*Fuzzy Risk Index of Wind Sites*”.

Delgado desenvolveu um trabalho onde formaliza o conceito de intervalo *Fuzzy* de risco para tratar dos problemas da tomada de decisão em que o responsável pelas decisões tem uma informação vaga e incompleta sobre os resultados e sobre os fatores externos.

## 3. FUZZY SETS THEORY

### 3.1. LÓGICA CLÁSSICA

Aristóteles, mentor da “**Ciência da Lógica**”, estabeleceu um conjunto de regras rígidas com o intuito de aceitar conclusões como logicamente válidas. Ciência esta, cujo emprego conduz a uma linha de raciocínio lógico, apoiado em premissas e conclusões, como por exemplo, sendo observado que “todo ser vivo é mortal” (primeira premissa) e a seguir constatado que “o homem é um ser vivo” (segunda premissa), obtém-se a conclusão que “o homem é mortal”. A partir destas regras, a Lógica Ocidental tem sentido binário, ou seja, uma afirmativa é simplesmente falsa ou verdadeira, não podendo ser parcialmente falsa ou parcialmente verdadeira. Adicionada à “**Lei da Não Contradição**”, que afirma “um conjunto (A) e o seu complementar (não A)” definem todos os resultados possíveis, constitui a base do pensamento lógico ocidental.

A ciência da lógica defende o conceito de “**Valor Verdade**” das afirmações, analisando-as como verdadeiras ou falsas. Muitas das experiências humanas não podem ser classificadas apenas como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Notem-se os exemplos: É aquele homem alto ou baixo? A taxa de risco para aquele empreendimento é grande ou pequena? Um sim ou um não como resposta para estas questões torna-se incompleta. Na prática, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existe uma infinidade de níveis de incerteza implícitos à informação.

### 3.2. REPRESENTAÇÃO DA INCERTEZA

A imperfeição da informação é geralmente conhecida na literatura de sistemas baseados em conhecimento como incerteza. No entanto, este termo é muito restritivo, o que se convencionou chamar tratamento de incerteza pode, na verdade, estar endereçando outras imperfeições da informação, como imprecisão, conflito, ignorância parcial, etc.

As informações que se pode obter variam, portanto, de perfeitas, quando se descobre exatamente o que se quer saber, à completamente imperfeitas, seja pela total ausência de informações ou por informações completamente conflitantes. O mais interessante é que, mesmo tratando diariamente com informações dos tipos acima, consegue-se tomar decisões razoáveis.

Para tanto, de alguma forma, encontra-se um modelo adequado para representar a informação que se obteve e a trata segundo o modelo escolhido. O mesmo deve ocorrer com sistemas baseados em conhecimento, em face de informações imperfeitas.

Além disso, tem-se na literatura implementações, formais, para cada um desses modelos. A informação de conotação “probabilista” pode ser tratada pela Teoria de Probabilidades, enquanto que a informação “possibilista” e a informação imprecisa podem ser tratadas pela Teoria das Possibilidades ou pela *Fuzzy Sets Theory*, respectivamente (ZADEH, 1965).

### 3.3. FUZZY LOGIC

A *Fuzzy Logic* baseia-se na *Fuzzy Sets Theory*, diferenciando-se dos sistemas lógicos tradicionais devido às suas características fundamentais, sendo considerada, portanto, mais adequada que a Teoria das Probabilidades, para tratar as ambigüidades da informação.

Propositadamente, pode-se definir a *Fuzzy Logic* como uma ferramenta capaz de representar informações imprecisas, descritas em uma linguagem natural, e transformá-las em formato numérico, facilmente manipulável pelos computadores atuais. Observe-se a seguinte afirmativa: Se o tempo de um percurso é muito longo, a possibilidade de roubo de carga é mais alta, consequentemente a taxa de risco também é mais alta. As expressões: “muito longo” e “mais alta” transmitem informações vagas. Sendo assim, o emprego da *Fuzzy Sets Theory* permite representar adequadamente tais informações.

O Valor Verdade de uma proposição pode ser descrito como um subconjunto de um *Fuzzy Set* ordenado, distinguindo-se dos sistemas binários, nos quais o Valor Verdade só é capaz de assumir os valores “1”, se verdadeiro, ou “0”, se falso.

A *Fuzzy Logic* diferencia-se da Lógica Clássica por admitir o uso de um intervalo compreendido entre os limites “0” e “1”, fundando-se não apenas nestes limites, tal qual ocorre na Lógica Binária. Em outras palavras, pode-se utilizar não somente os valores “0” e “1”, mas todos os valores contidos entre o intervalo [0,1].

Pelo fato da *Fuzzy Logic* utilizar valores contínuos, e não discretos, torna-se essencial empregar uma representação que utilize conjuntos descritos pelas Funções de Pertinência.

### 3.4. LINGUAGEM NATURAL

Segundo ZADEH (1965), a "nossa linguagem tem sido denominada a base de nossos pensamentos". A comunicação humana envolve termos naturais normalmente vagos, imprecisos, ambíguos e incertos.

Na descrição numérica dos termos imprecisos, bem como na determinação de conexão de termos de expressões inteligíveis é empregada a *Fuzzy Sets Theory*, que procura tratar essa imprecisão através das Funções de Pertinência.

A linguagem consiste de termos fundamentais, igualmente conhecidos como Termos Atômicos ou Termos Lingüísticos, caracterizados pelos átomos da literatura.

Ainda consoante o entendimento de ZADEH (1965), Termo Atômico pode ser definido como uma variável lingüística que pode ser interpretada usando-se *Fuzzy Sets*.

O Termo Atômico pode ser classificado como simples ou composto.

- **Termos Atômicos Simples:** Ex.: rápido, bonito, seguro
- **Termos Atômicos Compostos:** Ex.: bem rápido, muito bonito, pouco seguro

#### 3.4.1. Variáveis Lingüísticas

As variáveis empregadas na *Fuzzy Logic* são chamadas de lingüísticas, porque não assumem valores precisos, podendo ser definidas como na linguagem, de modo a representar um conjunto de valores. Poder-se-ia afirmar que, sendo o risco de roubo médio, não se apuraria um valor exato, mas sim, um intervalo.

Definem-se as Variáveis Lingüísticas usando-se conjuntos para determinar os intervalos a partir da análise e compreensão das próprias variáveis. Por exemplo, o conjunto para risco médio pode ser representado por uma função trapezoidal, na qual o intervalo entre os pontos " $m_1$ " e " $m_2$ " define, o risco médio, aproximadamente, entre "4" e "6" graus de uma escala de risco compreendida entre "1" e "9". O início " $i$ ", poderia ser "2" graus; o final " $f$ ", poderia ser "8" graus de risco.

Formalmente, uma variável lingüística é caracterizada pela quintupla  $\{X, T(X), U, G, M\}$ , onde " $X$ " é o nome do conjunto de termos, " $U$ " o universo de discurso, " $G$ " uma gramática para gerar os termos " $T(X)$ ", e " $M$ " o significado dos termos lingüísticos, representado através de *Fuzzy Sets*.

Variáveis lingüísticas podem também conter modificadores (também lingüísticos) que alteram seu valor. Exemplos de modificadores válidos são: "muito", "pouco", "não muito", "mais ou menos". Existem, também, conectivos que podem ser aplicados a estas variáveis, "e" e "ou".

Na Lógica Clássica predominam os sistemas lógicos binários, nos quais os predicados são exatos (como por exemplo, par, impar, igual, menor que, maior que, etc.), enquanto na *Fuzzy Logic* os predicados são nebulosos, (dentre os quais, alto, médio, baixo, pequeno, grande, etc.).

Nos sistemas Lógicos Clássicos, o Elemento Modificador mais utilizado é o de negação, ao passo que na *Fuzzy Logic* é possível utilizar-se uma variedade de Elementos Modificadores de predicados, (tais como, muito, mais ou menos). Estes elementos são essenciais na geração de termos lingüísticos, como por exemplo, muito alto, mais ou menos perto, entre outros.

### 3.5. FUZZY SETS

O conceito formal dos *Fuzzy Sets*, fundamentado na *Fuzzy Logic*, foi introduzido por ZADEH em 1965. Na *Fuzzy Sets Theory* existe um Grau de Pertinência (também chamado Grau de Certeza) para cada elemento de um determinado conjunto.

**Definição:** Um *Fuzzy Sets*  $A$  definido no universo de discurso  $U$  é caracterizado por uma *Função de Pertinência*  $\mu_A$ , a qual mapeia os elementos de  $U$  para o intervalo  $[0, 1]$ .

Desta forma, a Função de Pertinência associa a cada elemento “ $x$ ” pertencente a “ $U$ ” um número real “ $\mu_A(x)$ ” no intervalo  $[0, 1]$ , que representa o grau de possibilidade de que o elemento “ $x$ ” venha a pertencer ao conjunto “ $A$ ”.

#### 4. AVALIAÇÃO DO RISCO DE ROUBO DE CARGA

A partir dos conceitos da *Fuzzy Logic* foi proposta sistemática com o objetivo de avaliar o risco de roubo de carga definindo-se, desta forma, uma variável que identifica o risco de ocorrência de roubo em cada segmento de via, que foi denominada de Grau de Risco - GdR.

##### 4.1. FUNDAMENTOS DA SISTEMÁTICA

A representação adequada do problema utilizando a *Fuzzy Logic* envolveu a compreensão dos conceitos apresentados a seguir, resumidos no quadro 4.1.

**a) Conjunto de Elementos:**

Conceito similar ao da Teoria Geral de Sistemas - TGS, caracteriza o agrupamento de elementos que possuem atributos em comum Neste trabalho, o conjunto “Rota ou Caminho” compreende o conjunto de Segmentos de Rota .

**b) Variável Lingüística:**

Representa um atributo dos elementos. Neste trabalho, a variável Grau de Risco - GdR representa o atributo “Possibilidade de ocorrência de roubo de carga” do elemento Segmento de Rota do conjunto “Rota”.

**c) Termo Lingüístico:**

Rótulo (adjetivo ou advérbio, de conjunto de Termos Lingüísticos), que é atribuído à uma Variável Lingüística. Neste trabalho, o termo “Risco Alto”, pode ser atribuído à variável Grau de Risco - GdR.

**d) Intervalo Mensurável ou Intervalo de Validade:**

Corresponde ao intervalo numérico  $X[i, j]$  definido para cada variável ( $X$ ) que corresponde à um atributo de um elemento. Neste trabalho, adotou-se  $GdR[0,1]$  como Intervalo Mensurável do atributo “Possibilidade de ocorrência de roubo de carga” representado pela variável Grau de Risco - GdR.

**e) Grau de Certeza - GdC:**

Também denominado Valor Verdade ou Grau de Pertinência, corresponde a um valor real no intervalo  $[0,1]$ . Procura medir quanto um elemento pertence a um *Fuzzy Set*, ou seja, até que ponto pertence a um Conjunto de Elementos, representados por uma Variável Lingüística rotulada por um Termo Lingüístico.

A *Fuzzy Logic* é utilizada para modelar problemas qualitativos de tomada de decisões. Neste contexto, pode-se utilizar a *Fuzzy Logic* para analisar de que forma os atributos (componentes da variável lingüística) interferem na composição da variável Grau de Risco - GdR usada na avaliação do risco de roubo de carga, uma vez que são, em sua maioria, avaliados a partir de conceitos subjetivos e de avaliação não trivial.

CONCEITOS		CORRESPONDÊNCIAS
Variável Lingüística		Grau de Risco (GdR)
Conjunto de Termos (X)		Conjunto Risco de Roubo de Carga
Universo do Discurso (U)		Variáveis de Entrada (PE <sub>i</sub> )
Gramática (G)		Baixo, Médio e Alto
Termos Lingüísticos T(X)		Risco baixo – RB Risco médio – RM Risco alto – RA
Conjuntos dos Termos (M)		Fuzzy Set Risco Baixo Fuzzy Set Risco Médio Fuzzy Set Risco Alto
SISTENA	Objeto do Discurso	O roubo no sistema de transporte rodoviário de cargas
	Elemento	Segmento de via
	Conjunto de Elementos	Rota ou Caminho
	Atributo dos Elementos	Possibilidade de ocorrência de roubo de carga
INTEVALO DE VALIDADE	Grau de Risco	GdR[0,1]
	Grau de Certeza	GdC[0,1]

Quadro 4.1: Resumo dos conceitos aplicados no estudo.

## 4.2. ETAPAS DA SISTEMÁTICA

A avaliação do risco de roubo de carga empregando a *Fuzzy Logic* desenvolveu-se etapas descritas a seguir.

### 4.2.1. Construção dos *Fuzzy Sets*

A construção dos *Fuzzy Sets* foi baseada no conhecimento dos responsáveis pela gerência do risco e na vivência caminhoneiros. Estudos por Zadeh concluíram que são necessárias de 15 a 20 opiniões de especialistas, uma vez que acima de 20 existe uma estabilização dos valores atribuídos aos Graus de Certeza, porque as opiniões tendem a convergir (BRAGA et al., 1995).

CURY (1999) destaca o trabalho de Turksen (1984) que descreve alguns dos métodos mais utilizados para a definição dos *Fuzzy Sets* quais sejam: **avaliação e dedução subjetiva**, no qual os especialistas ou os usuários do setor simplesmente desenham ou especificam de alguma forma curvas de pertinência diferentes ou escolhem entre as curvas apresentadas aquela mais apropriada ao problema em questão.

Ressalta, também, a técnica de pesquisa da preferência declarada, na qual, por meio da medição das preferências dos usuários do setor é possível estimar-se o comportamento dos mesmos diante das diversas alternativas.

No presente estudo adotou-se a técnica da preferência declarada, pela facilidade de obtenção dos resultados. Para aplicação dessa técnica elaborou-se questionário, com questões objetivas, que foram respondidos por vinte caminhoneiros.

### 4.2.2. Obtenção do Conhecimento

Como o Objeto do Discurso é o “risco de roubo de carga”, recorreu-se aos especialistas da área do transporte rodoviário de carga (responsáveis pela gerência do risco) para a identificação dos *Fuzzy Sets*. Para isso foi realizado um questionário que teve como função identificar as variáveis que de alguma forma influenciam o Objeto do Discurso. As questões apresentadas no quadro 4.2 deram origem ao questionário respondido pelos caminhoneiros



ITENS	QUESTÕES
1	O que caracteriza o risco de roubo de carga em rodovias?
2	Quais as principais causas do roubo de carga em um trecho de rodovia?
3	O que modificaria o risco de roubo de carga em rodovias?

**Quadro 4.2: Questões motivadoras da pesquisa das Variáveis de Entrada**

#### 4.2.2.1. Avaliação das respostas dos questionários

O quadro 4.3 resume e justifica as respostas de cinco especialistas em gerência de risco, para a questão: Quais as principais causas do roubo de carga em um trecho de rodovia?

CAUSA	JUSTIFICATIVA
A velocidade em relação ao estado de conservação do trecho da via.	Trechos de via mal conservados, com pavimentação irregular ou deficiente reduzem a velocidade do veículo, facilitando a sua abordagem.
A velocidade em relação às condições locais e da geometria do trecho da via.	Trechos de via muito sinuosos ou em aclives reduzem a velocidade do veículo, facilitando a sua abordagem.
O horário do transporte no trecho da via.	Os horários entre o por do sol e o amanhecer aumentam a fadiga do caminhoneiro, sendo um dos fatores determinantes para abordagem do veículo.
A proximidade dos centros urbanos em relação do valor agregado da carga transportada.	Em trechos de via próximos a áreas urbanas cargas que apresentam maior facilidade de escoamento e maior valor agregado têm sido mais visadas
Adoção de medidas de gerenciamento do risco (escolta).	A presença de escoltas inibe a ação dos assaltantes. Assim sendo quanto maior for a distância escoltada menor é a possibilidade de roubo.
A distância entre postos de policiamento ostensivo no trecho da via.	A presença de policiais rodoviários inibe a ação dos assaltantes. Assim sendo quanto maior a distante entre os postos maior é a possibilidade de roubo.

**Quadro 4.3: Principais causas do roubo de carga segundo informações dos especialistas.**

#### 4.2.2.2. Identificação das Variáveis de Entrada

O quadro 4.4 apresenta a lista das Variáveis de Entrada, que foram definidas a partir das causas dos roubos de carga relacionadas pelos especialistas, com as respectivas descrições, unidades de medidas e Intervalos de Validade.

VARIÁVEL	DESCRIÇÃO	INTERVALO DE VALIDADE	UNIDADE
PE <sub>1</sub>	Limitação da velocidade do veículo em relação ao estado de conservação da via.	[40,90]	km/h
PE <sub>2</sub>	Limitação da velocidade do veículo em relação às características da via.	[40,90]	km/h
PE <sub>3</sub>	Horário de transporte.	[0,24]	h
PE <sub>4</sub>	Proximidade de área urbana	[20,120]	km
PE <sub>5</sub>	Adoção de medidas de gerenciamento de risco (escolta).	[0,100]	%
PE <sub>6</sub>	Distância entre postos de policiamento ostensivo.	[20,120]	km

**Quadro 4.4: Características das Variáveis de Entrada**

#### 4.2.3. O Processo de “Fuzificação”

O primeiro do processo de “Fuzificação” (construção dos *Fuzzy Sets* das Variáveis de Entrada - PE<sub>i</sub> do modelo proposto), foi definir os subintervalos compreendidos nos Intervalos de Validade e Termos Lingüísticos Pertinentes.

Por exemplo: Para a Variável de Entrada –  $PE_1$  na qual avalia-se a influência da redução da velocidade, em virtude da dificuldade de tráfego, no risco de roubo, foi definido pelos especialistas o Intervalo de Validade compreendido entre 40 e 90 km/h que foi subdividido em intervalos de 10 km/h sendo relacionado aos Termos Lingüísticos: Risco Baixo (RB), Risco Médio (RM) e Risco Alto (RA).

Depois de definidas as Variáveis de Entrada, os subintervalos dos Intervalos de Validade e Termos Lingüísticos Pertinentes, aplicou-se questionário que foi respondido por vinte caminhoneiros.

Como os usuários vivem quotidianamente o problema, tiveram facilidade em opinar sobre as Variáveis de Entrada, relacionando-as com os Termos Lingüísticos.

Com base nestas respostas, construíram-se os *Fuzzy Sets* dos Parâmetros de Entrada, computando-se as respostas positivas para cada subintervalo e para cada Termo Lingüístico. Ressalta-se que os caminhoneiros foram solicitados a marcarem apenas um “X” por relação (subintervalo x Termo Lingüístico), evitando-se, desta forma a necessidade de normalização dos dados.

#### 4.2.3.1. Estratificação das respostas dos caminhoneiros

Para exemplificar a construção de um *Fuzzy Set*, tomou-se a estratificação das respostas referentes ao quesito “Limitação da velocidade devido às condições de conservação da via”. O gráfico da figura 4.1, apresenta a distribuição das freqüências das respostas, considerando-se cada Termo Lingüístico.

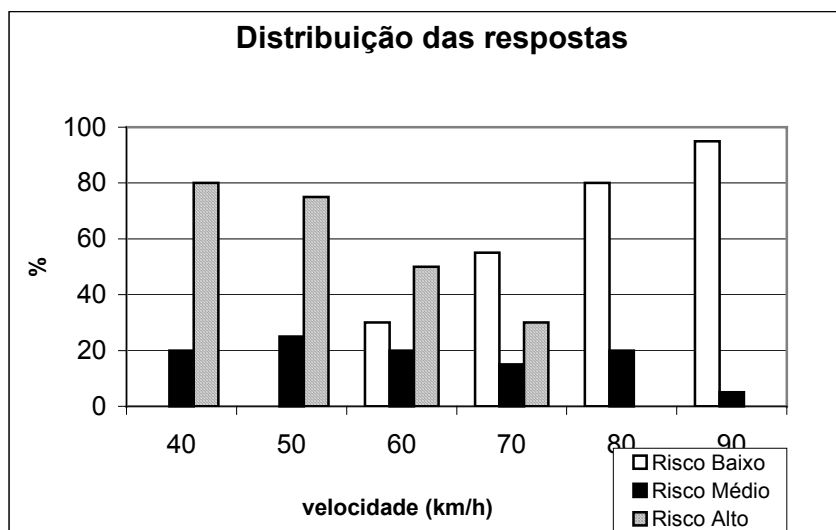
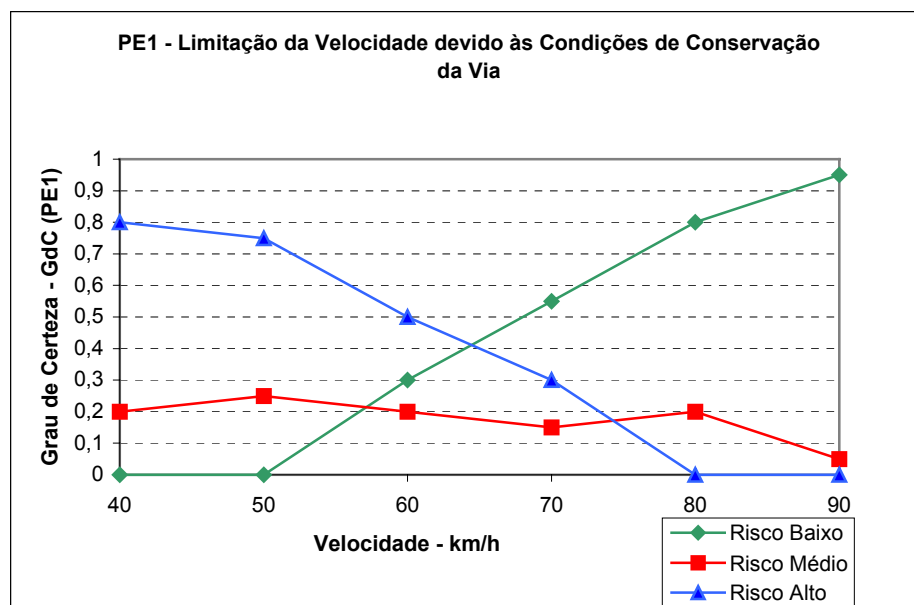


Figura 4.1: Distribuição das respostas

#### 4.2.3.1. Grau de Certeza e Função de Pertinência

Após a estratificação das respostas determinou-se os Graus de Certeza para cada Subintervalo de Validade em relação ao respectivo Termo Lingüístico. Os Graus de Certeza - GdC foram obtidos a partir do percentual de respostas positivas, sem a necessidade de normalização pois para cada Subintervalo de Validade foram obtidas 20 respostas, cujo gráfico com a Função de Pertinência encontra-se na figura 4.2.



**Figura 4.2: Apresentação gráfica das Funções de Pertinência**

Pelo gráfico da figura 4.2 pode-se perceber que quanto mais o valor da Variável de Entrada PE1 se aproxima de “40 km/h”, mais a variável fica caracterizada como Risco Alto - RA. Entre “60 e 70 km/h” os valores do GdC ficam relativamente próximos para os Termos Lingüísticos Risco Baixo - RB e Risco Alto - RA. Para a velocidade de “65 km/h” o GdC é, praticamente, igual para os Termos Lingüísticos Risco Baixo - RB e Risco Alto - RA (0,425 para RB e 0,4 para RA). Isto caracteriza o grau de incerteza que os usuários apresentam em relação ao risco de roubo nestas velocidades.

#### 4.2.4. Regras de Inferência Fuzzy

As regras *Fuzzy* são do tipo *IF-THEN* que procuram relacionar as Variáveis de Entrada com as Variáveis de Saída passando por um Bloco de Inferência no qual as regras são processadas.

O agrupamento as Variáveis de Entrada que constituem cada Bloco de Inferência deve basear-se em uma arquitetura pré-definida pelos especialistas. Com base nesta arquitetura, realiza-se a Inferência *Fuzzy*, que consiste na avaliação de duas proposições: Agregação e Composição.

Na agregação, a parte *IF* define se a regra é válida para o presente caso ou não e na composição, cada regra define o resultado da avaliação para a parte *THEN*.

Na parte *THEN*, define-se o resultado da avaliação para a regra, gerando um valor lingüístico para o parâmetro de saída do respectivo Bloco de Inferência representado na arquitetura.

##### 4.2.4.1. Determinação do Modelo de Inferências

As Variáveis de Entrada - PE<sub>i</sub>, obtidas a partir análise das causas do roubo de carga listadas no quadro 4.4, foram incorporadas como componentes da variável Grau de Risco (GdR), sendo elaborado o modelo de inferências apresentado na figura 4.3 que possui a seguinte conformação: Seis Variáveis de Entrada, convergindo para duas Variáveis Intermediárias, que por sua vez convergem para a Variável de Saída -Grau de Risco (GdR).

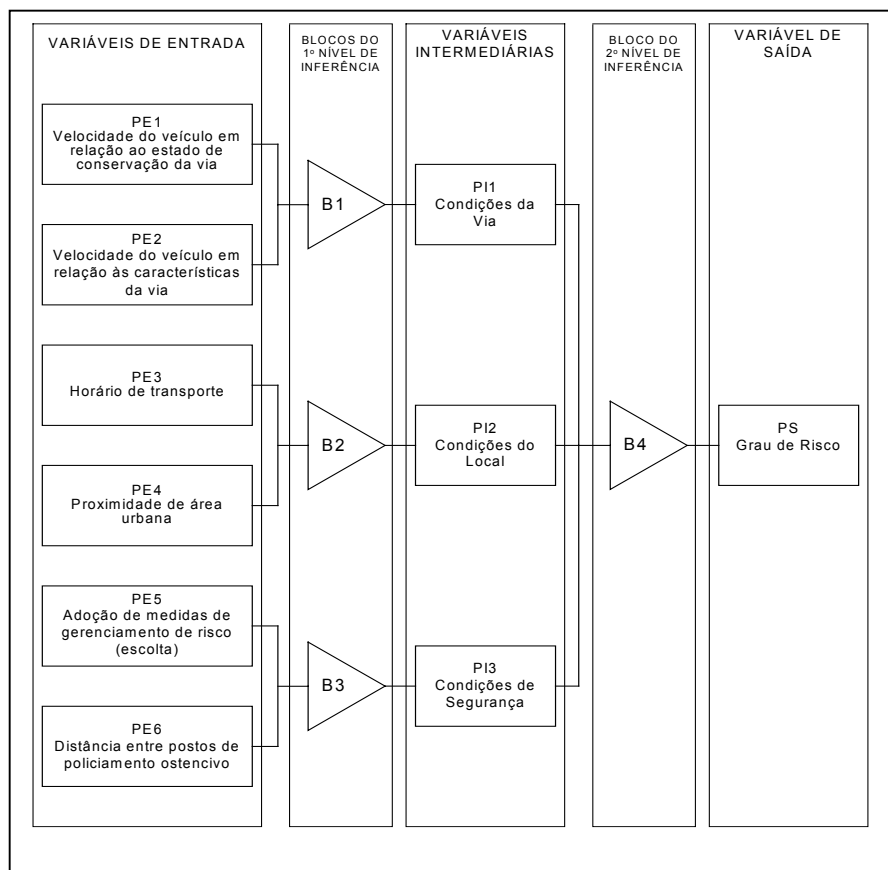


Figura 4.3: Modelo de Inferências

#### 4.2.4.2. Fator de Certeza

A cada regra foi associado um fator de ponderação individual, denominado Fator de Certeza - FC, compreendido entre “0” e “1”, que procurou indicar o Grau de Validade na Base de Regras *Fuzzy*. Foi solicitado aos cinco especialistas que atribuíssem, segundo as suas convicções sobre os “conseqüentes” das regras, os FC no intervalo [0,1]. O FC a ser considerado para cada regra, foi obtido pela média aritmética de todos os FC informados.

#### 4.2.4.3. Processo de Agregação / Composição

Sistemas baseados em regras, em sua maioria, envolvem mais que uma regra. O processo utilizado para obter-se um **conseqüente** e o seu GdC é conhecido como “Agregação / Composição de Regras”. Esse processo baseia-se nas operações de interseção e união das Funções de Pertinência dos *Fuzzy Sets*.

**Processo de Agregação (Conjuntivo) das Regras:** As “n” regras “y<sub>i</sub>” são conectadas por “e” (*and*), logo o conseqüente agregado “y” pode ser definido pela expressão 4.1.

Expressão 4.1: 
$$y = y_1 \cap y_2 \cap y_3 \cap \dots \cap y_n$$

Considerando-se a Função de Pertinência  $\mu_y$  tem-se a expressão 4.2.

Expressão 4.2: 
$$\mu_y(y) = \text{Min}\{\mu_{y_1}(y), \mu_{y_2}(y), \mu_{y_3}(y), \dots, \mu_{y_n}(y)\}$$

**Processo de Composição (Disjuntivo) das Regras:** As “n” regras “ $y_i$ ” são conectadas por “ou” (*or*), logo o conseqüente agregado “y” pode ser definido pela expressão 4.3.

Expressão 4.3: 
$$y = y_1 \cup y_2 \cup y_3 \cup \dots \cup y_n$$

Considerando-se a Função de Pertinência  $\mu_y$  tem-se a expressão 4.4.

Expressão 4.4: 
$$\mu_y(y) = \text{Max}\{\mu_{y1}(y), \mu_{y2}(y), \mu_{y3}(y), \dots, \mu_{yn}(y)\}$$

#### 4.2.5. Técnicas de “Defuzificação”

Para alguns tipos de aplicações a interpretação lingüística dos resultados é suficiente, ou seja, quando a resposta desejada é qualitativa ou verbal. Em outras situações, como no presente estudo, um valor numérico, para a variável de saída é extremamente importante. Nesses casos torna-se necessário a aplicação de uma técnica de “Defuzificação”.

A “defuzificação” é um procedimento que permite interpretar a distribuição de possibilidades da saída de um modelo lingüístico *Fuzzy* de forma quantitativa, ou seja, fornece um valor numérico representativo que captura o significado dessa distribuição de possibilidades.

No presente trabalho adotou-se a Técnica do Centro de Área (CA) por envolver todos os pontos, não apenas os pontos máximos.

Para aplicação dessa técnica levantou-se, com os especialistas, os Termos Lingüísticos relacionados aos valores do Intervalo de Certeza [0,1] da Variável Lingüística Grau de Risco - GdR, confeccionando-se a seguir as Funções de Pertinência para cada Termo Lingüístico e determinando-se os centros das áreas sob cada função através de média ponderada, onde os pesos foram os GdC atribuídos à cada GdR.

### 4.3. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

#### 4.2.5. Descrição do Estudo

Como exemplo de aplicação da teoria, selecionou-se um grupo de rodovias federais e estaduais, que ligam a cidade do Rio de Janeiro ao norte fluminense, mais especificamente à cidade de Campos dos Goytacazes, determinado-se o caminho onde o “Risco de Roubo de Carga” seja minimizado.

Não é coerente falar-se em “Risco Total”, resultante do somatório dos riscos determinados para cada segmento do caminho, por esse motivo cada  $GdR_i$  entra como “peso” da variável distância e o objetivo torna-se determinar o caminho de menor distância, ponderada pelos valores da variável  $GdR_i$  para cada segmento de via

Os dados sobre as características das vias utilizados na determinação Parâmetros de Entrada foram estimados com auxílio dos caminhoneiros.

A partir do mapa rodoviário de 2002 e de informações obtidas através do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes – DNIT e pela Fundação do Departamento Estadual de Estradas de Rodagem do Rio de Janeiro - DER-RJ, foram selecionadas as rodovias federais e estaduais para o presente estudo.

Essas rodovias integram os possíveis caminhos que ligam a cidade do Rio de Janeiro ao norte/nordeste do estado. Entre as quais incluiu-se entre outras as, BR-101, BR-116, BR-040, BR-356, BR-393, BR-493, BR-495 e as RJ-116, RJ-130, RJ-174, RJ-186 e RJ-192, selecionadas e modeladas como integrantes de uma rede, que foi desenvolvida utilizando-se os conceitos da “Teoria dos Grafos”.

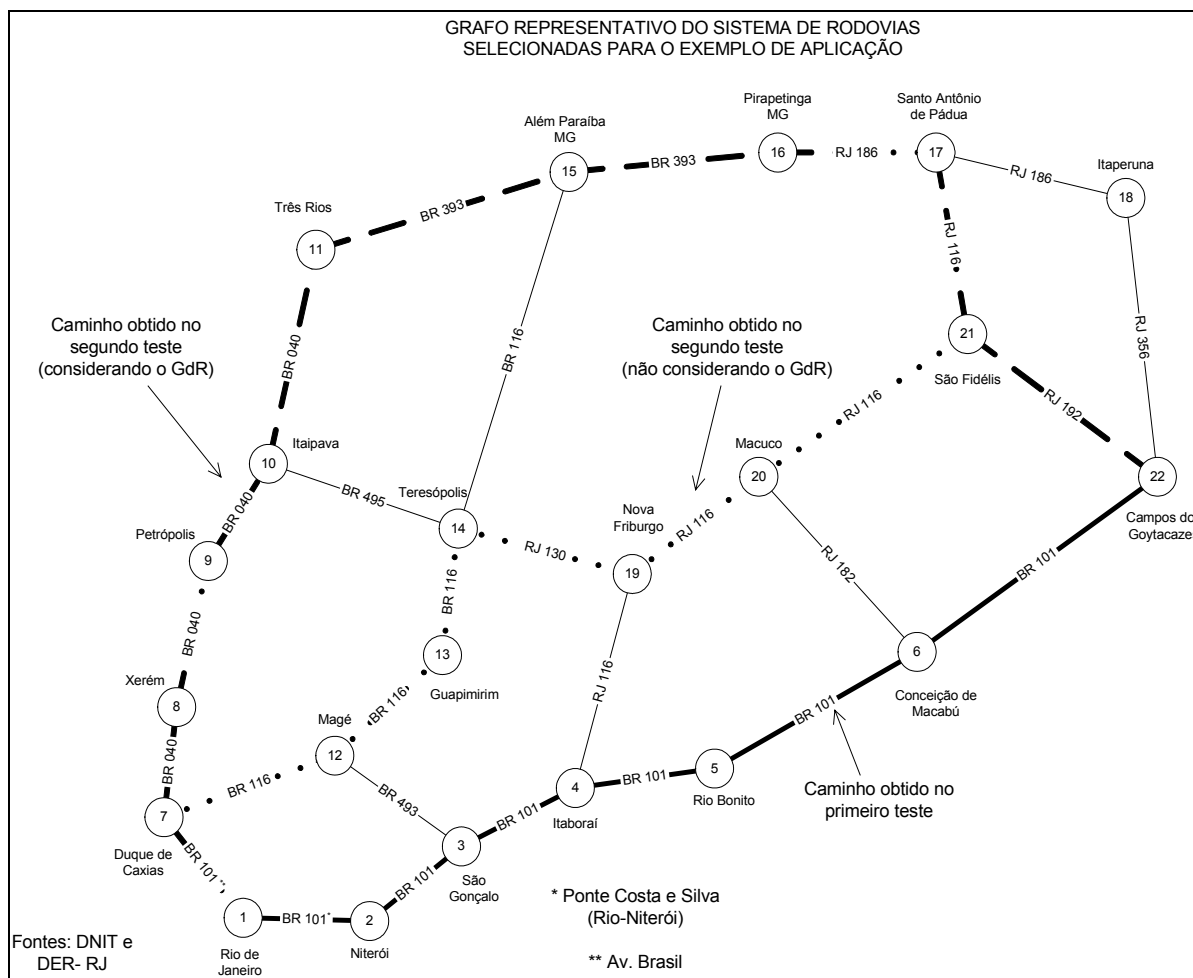
#### 4.2.6. Obtenção do Caminho Ótimo

Foram feitos dois testes, um com o grafo completo e outro sem considerar a opção de caminho pela BR-101. Para rotear executou-se o algoritmo de Dijkstra (Edsger Wybe Dijkstra), uma considerando-se apenas as distâncias entre os arcos e uma segunda ponderando-se essas distâncias com os  $GdR_i$ .

Na análise dos resultados do primeiro teste não se pôde observar, uma mudança efetiva na opção do caminho, pois a alternativa de caminho utilizando a BR-101 é a ideal, seja considerando-se apenas a distância ou empregando-se a distância ponderada pelos  $GdR_i$ .

No segundo teste foi retirada do modelo a opção de caminho pela BR-101 observando-se então que o caminho mínimo obtido na primeira execução considerando-se apenas as distâncias apresenta maior risco que o gerado na segunda execução, verificando-se que a ponderação do risco pode, efetivamente, influenciar na escolha do caminho considerado como ÓTIMO.

Na figura 4.4 é apresentado o grafo das rodovias do presente estudo, com a indicação dos caminhos obtidos nos dois testes.



**Figura 4.4: Caminhos Obtidos nos Testes**

#### 4.2.7. Resultados observados

Como resposta da aplicação do Algoritmo de Dijkstra obteve-se os caminhos ótimos apresentados no quadro 4.5.

PRIMEIRO TESTE			
Ponderação	Seqüência de nós	Distância (km)	GdR do caminho (média ponderada)
Sem GdR <sub>i</sub>	1-2-3-4-5-6-22	275	0,25
Com GdR <sub>i</sub>			
SEGUNDO TESTE			
Sem GdR <sub>i</sub>	1-7-12-13-14-19-20-21-22	363	0,30
Com GdR <sub>i</sub>	1-7-8-9-10-11-15-16-17-21-22	387	0,27

Quadro 4.5: Resultados dos Testes

Os resultados apresentados no quadro 4.5 apontam para a conclusão, de que o caminho mais curto, nem sempre é ÓTIMO. No segundo teste observa-se que o caminho mais curto (363 km) utiliza rodovias estaduais que possuem condições deficientes de tráfego, o que eleva o risco de roubo, por esse motivo o GdR do caminho é mais longo (387 km) obtido na segunda execução do algoritmo é menor (0,27 contra 0,30 do primeiro caminho) porque utiliza em sua maior parte rodovias federais relativamente menos degradadas.

Estas análises só foram possíveis graças ao emprego da metodologia, que visa o apoio à tomada de decisão, baseada na *Fuzzy Sets Theory* o que deixa claro a relevância do estudo visando o seu emprego na gerência do risco.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BERNSTEIN, P. L., 1996, *Desafio aos deuses: A fascinante história do risco*, 2 ed. Rio de Janeiro, Editora Campus.
- [2] ZADEH L. A., 1965, "Fuzzy Sets", *Information and Control*, v.8, pp. 338-353.
- [3] MACHIAS, A.V. SKIKOS, G.D., 1992, "Fuzzy Risk Index of Wind Sites". In: *Energy Conversion, IEEE Transactions On*, Dept. of Electr. Eng., Nat. Tech. Univ. of Athens, Athens, v.7, n.4 (Dez), pp 638-643.
- [4] BRAGA, M. J.F., BARRETO, J. M., MACHADO, M. A. S., 1995, *Conceitos da Matemática Nebulosa na Análise de Risco*, Rio de Janeiro, Editora Artes & Rabiskus.
- [5] CURY, M. V. Q., 1999, *Modelo Heurístico Neuro-Fuzzy para Avaliação Humanística de Projetos de Transporte Urbano*, Tese de Doutorado, Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- [6] TURKSEN, I. B., 1991, *Measurement of membership functions and their acquisition*, Fuzzy Sets and Systems, IFSA, Special Memorial v. 25 years of Fuzzy Sets, Amsterdam, North- Holland.