

Uso da Opinião de Especialistas na Avaliação de Acidentes da Hidrovia Tietê-Paraná

Marco Aurélio Pestana – marco.pestana@usp.br

Marcelo Ramos Martins – mrmartin@usp.br

LabRisco - Laboratório de Análise, Avaliação e Gerenciamento de Riscos

Departamento de Engenharia Naval e Oceânica, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo

Marcos Shoiti Saito – marcos.shoiti@fatec.sp.gov.br

Faculdade de Tecnologia de Jahu (FATEC JAHU)

INTRODUÇÃO

O aumento da participação no transporte hidroviário Tietê-Paraná traz uma grande preocupação em relação aos riscos de acidentes, tendo em vista um fluxo maior de embarcações comerciais além da possibilidade de embarcações com capacidades superiores. Segundo o Departamento Hidroviário do Estado de São Paulo, hoje o setor detém de 0,6% de participação no transporte de cargas, onde o planejamento estratégico prevê uma meta de 6% de crescimento para os próximos 20 anos [1]. Desta forma, uma reavaliação dos riscos envolvidos se faz necessária, como uma forma de se antecipar às possíveis consequências e assim controlar e/ou mitigar os possíveis acidentes que possam ocorrer. Nesta reavaliação, o risco pode ser obtido a partir da consequência resultante e sua probabilidade de ocorrência [2] que, em geral, é obtida a partir de uma análise frequentista da probabilidade [3]. Entretanto, em muitos casos, esta avaliação não é suficiente tendo em vista a ausência de dados históricos ou mesmo uma obsolescência dos mesmos. Há casos ainda, onde há uma abundância de dados, mas estes não são suficientemente representativos. A Hidrovia Tietê-Paraná (HTP) encontra-se justamente nesta condição onde, na avaliação de acidentes envolvendo embarcações comerciais, existe um histórico expressivo, mas sua aplicação torna-se bastante restrita tendo em vista as futuras condições de navegação da hidrovia. Nestes casos, a avaliação subjetiva das probabilidades é uma opção bastante viável permitindo trabalhar de forma independente aos dados históricos, produzindo resultados mais confiáveis. Em geral, estas avaliações são realizadas a partir dos métodos e técnicas de elicitación de especialistas, como por exemplo o método Delphi, que faz o uso dos questionários na investigação dos problemas. Nesta condição, este trabalho apresentará a elicitación de especialistas, aplicando os questionários na avaliação de acidentes da HTP.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar o uso da elicitación de especialistas na avaliação de eventos relacionados a acidentes na HTP. Nesta condição, serão exploradas as probabilidades dos eventos relacionados aos tipos de acidentes, as principais consequências e uma análise sobre as probabilidades dos fatores materiais humanos ou organizacionais influenciarem a ocorrência de um acidente.

DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO

O presente trabalho está dividido nas seguintes etapas: (i) Caracterização geral da análise; (ii) Seleção dos especialistas e elaboração dos questionários; (iii) Avaliação dos resultados obtidos; (iv) obtenção das probabilidades de ocorrência dos eventos; (v) comparação dos resultados considerando o histórico de ocorrência dos eventos (vi) conclusão e comentários finais.

Caracterização da Análise

Diversos autores têm discutido a ocorrência de acidentes envolvendo embarcações, incluindo suas causas, consequências e seus possíveis fatores de influência [4, 5, 6]. A HTP não é excluída desta análise considerando seu potencial de periculosidade em vista as suas futuras condições de navegação. Saito [6] faz um levantamento estatístico de acidentes considerando os dados históricos, onde relaciona, entre outros, o tipo de acidente e o número de ocorrências. Estes dados poderiam atuar como uma base para a avaliação da ocorrência dos tipos de acidentes, obtendo assim as taxas de ocorrências dos eventos. A partir destas taxas de ocorrência as probabilidades dos eventos podem ser determinadas considerando uma distribuição de

probabilidades.

Entretanto esta mesma avaliação poderia ser realizada utilizando a elicitación de especialistas, o que daria uma certa independência em relação a base de dados. Para o caso da HTP buscou-se justamente este fato, de forma que a base de dados daria apenas um suporte para comparação dos resultados. Na literatura há uma extensa lista de métodos de elicitación [7, 8, 9], ficando a cargo do analista escolher a técnica mais adequada ao problema. Inicialmente antes da escolha da técnica deve-se levar em consideração três perguntas: 1) Qual o objetivo ou o problema a ser analisado? 2) Quem e quantos serão os especialistas? 3) Como o objetivo será alcançado?

A primeira questão refere-se o objeto de estudo. Por exemplo, em estudos de confiabilidade e análise de risco pode-se ter como objetivo a estimativa probabilidades de ocorrências de eventos (incluindo ou não a sua distribuição) ou mesmo a previsão cenários. No caso particular da HTP o objetivo era estimar as probabilidades de ocorrência de determinados eventos considerando o uso dos questionários. A escolha pelos questionários faz parte da técnica e baseou-se no fato que estes são altamente atrativos, permitindo a aplicação de forma individualizada e anônima. Esta característica evita a exposição direta do especialista, prevenindo alguns vieses de comportamento, como a heurística da ancoragem [10]. Os questionários fazem parte do método Delphi [7] um método estruturado bastante popular efetivo na elicitación de especialistas. Na literatura há outras técnicas, podendo algumas priorizar a geração de ideias através de debates presenciais. É o caso da técnica NGT [8], uma evolução do método Delphi, que surgiu com objetivo de introduzir seções de *brainstorm* sem que este influencie as escolhas dos especialistas. Outras técnicas estão disponíveis e podem ser consultadas na literatura [9].

Contudo, no caso da HTP, a simplicidade e a agilidade dos questionários foram determinantes na escolha, resultando na elicitación de um grupo de 12 especialistas.

Seleção dos Especialistas e Elaboração dos Questionários

Os 12 especialistas foram selecionados considerando apenas os profissionais atuantes na categoria de pilotos fluviais (PFL) e posicionados na função de comandantes (CMT) ou imediatos (IMT). Esta escolha está condicionada ao fato que estes poderiam gerar bons resultados, considerando a experiência teórica e prática adquirida no setor hidroviário. Por envolver questões relacionadas à HTP, buscou-se também que estes profissionais tivessem experiência de navegação em hidrovias, em especial na condução de comboios na HTP. Estas características, apresentadas na Tabela 1, foram obtidas na primeira etapa dos questionários, onde os especialistas ratificaram suas habilidades. O objetivo desta etapa foi fazer um levantamento sobre os perfis dos especialistas de forma a identificar os indivíduos mais experientes, potencializando as respostas destes especialistas na etapa de agregação das opiniões.

Tabela 1 – Resumo da qualificação e experiência dos especialistas em anos

Especialista	Experiência de aquaviário	Categoria de atuação	Experiência na categoria	Função ocupada	Experiência na função	Experiência na HTP
E1	> 20	PFL	0 – 2	CMT	0 – 2	17 – 20
E2	> 20	PFL	0 – 2	IMT	0 – 2	13 – 16
E3	17 – 20	PFL	0 – 2	CMT	0 – 2	17 – 20
E4	> 20	PFL	0 – 2	IMT	0 – 2	9 – 12
E5	> 20	PFL	0 – 2	CMT	> 10	*
E6	> 20	PFL	9 – 10	IMT	9 – 10	17 – 20
E7	> 20	PFL	0 – 2	IMT	0 – 2	> 20
E8	13 – 16	PFL	3 – 4	IMT	0 – 2	*
E9	13 – 16	PFL	0 – 2	IMT	0 – 2	13 – 16
E10	> 20	PFL	5 – 6	IMT	0 – 2	> 20
E11	9 – 12	PFL	0 – 2	IMT	0 – 2	9 – 12
E12	17 – 20	PFL	7 – 8	IMT	5 – 6	17 – 20

* Questões não respondidas pelos especialistas

Na determinação dos pesos dos especialistas foi considerado um método bem tradicional, que atribui uma pontuação ao especialista em função de suas habilidades. A cada habilidade ou quesito avaliado, sucessivos pontos são obtidos e acumulados, de forma a obter pontuação total do especialista. O peso do

especialista é obtido a partir da normalização da pontuação total considerando a soma dos pontos obtidos por todos especialistas. A Tabela 2 apresenta os critérios de avaliação e a pontuação obtida em função das habilidades selecionadas.

Tabela 2 – Pontuação adquirida pelo especialista em função de suas habilidades		
Critérios		Pontuação
Categoria		
Piloto fluvial (PFL)		4 Pts
	0 – 2	0 Pts
	3 – 4	1 Pts
Pontuação adicional em função do tempo de experiência na categoria (em anos)	5 – 6	2 Pts
	7 – 8	3 Pts
	9 – 10	4 Pts
	> 10	5 Pts
Função Exercida		
Comandante (CMT)		5 Pts
Imediato (IMT)		6 Pts
	0 – 2	0 Pts
	3 – 4	1 Pts
Pontuação adicional em função do tempo de experiência na função (em anos)	5 – 6	2 Pts
	7 – 8	3 Pts
	9 – 10	4 Pts
	> 10	5 Pts
Experiência na HTP		
	0 – 4	1 Pts
	5 – 8	2 Pts
Pontuação adicional em função do tempo de experiência atuando na HTP (em anos)	9 – 12	3 Pts
	13 – 16	4 Pts
	17 – 20	5 Pts
	> 20	6 Pts
Experiência de Aquaviário		
	0 – 4	1 Pts
	5 – 8	2 Pts
Pontuação adicional em função do tempo de experiência atuando como aquaviário (em anos)	9 – 12	3 Pts
	13 – 16	4 Pts
	17 – 20	5 Pts
	> 20	6 Pts

Desta forma, por exemplo, o especialista E1 acumulou 20 pontos, correspondendo a 6 pontos referentes à sua experiência de aquaviário, 4 pontos referentes à sua categoria de atuação, 5 pontos referentes a sua função ocupada e 5 pontos referentes ao seu tempo de navegação na HTP. Os 20 pontos acumulados foram normalizados, obtendo-se o peso de 0,09 para especialista E1. Para os demais especialistas este processo foi repetido, obtendo-se os pesos informados na Tabela 3. Alguns especialistas não informaram experiências e foram admitidos como integrantes da menor classe disponível.

Tabela 3 – Pontuação e Peso obtido pelos especialistas													
Especialista	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12	Soma
Pontuação	20	18	19	17	20	27	20	13	16	22	14	23	229
Peso	0,09	0,08	0,08	0,07	0,09	0,12	0,09	0,06	0,07	0,10	0,06	0,10	1,00

A partir da avaliação dos especialistas foi tratado na segunda etapa dos questionários o problema em questão: a ocorrência de eventos relacionados acidentes na HTP. Inicialmente buscaram-se identificar quais seriam os tipos de acidentes de maior ocorrência, considerando os seguintes casos: naufrágio, encalhe, colisão, abalroação, água aberta, explosão, incêndio, variação, arribada, alijamento, avaria ou defeito. A partir desta avaliação buscaram-se identificar as consequências de maior frequência considerando os danos ao

indivíduo, os danos materiais e os danos ambientais. Os danos ao indivíduo representavam os casos de acidentes ocorridos na HTP onde os tripulantes poderiam sofrer de pequenas lesões, mortes ou acidentes capazes de resultar na invalidez permanente do indivíduo. Nos casos de danos materiais estes foram subdivididos e representavam os danos envolvendo somente embarcações, e os danos envolvendo embarcações e obras civis. Por fim avaliaram-se os danos ambientais, complementando assim o quadro de consequências. O estudo de acidentes tem uma relação bastante estreita com os fatores de influência. Por este motivo buscou-se entender em conjunto com os especialistas quais seriam as possibilidades destes acidentes estarem relacionados aos fatores humanos, materiais ou operacionais. Os fatores humanos estavam relacionados aos casos de tripulantes com quadros biológicos ou psicológicos adversos; como por exemplo, uma deficiência nos sentidos ou alteração psicológica em virtude de substâncias químicas potencialmente danosas como álcool e/ou entorpecentes. No caso dos fatores materiais estes estavam associados às condições inadequadas da embarcação podendo estar associadas ao projeto, à construção, à manutenção, entre outros. Por fim as condições operacionais representavam os erros, omissões e violações de procedimentos e regras de segurança e navegação.

Para todas estas avaliações os especialistas avaliaram a possibilidade de ocorrência considerando uma das opções disponíveis no questionário. Estas opções, representadas por Muito Baixa (MB), Baixa (B), Moderada (M), Alta (A) e Muito Alta (MA) e Zero (Z), foram indicadas no questionário considerando sua fácil assimilação e seu aspecto intuitivo, já que esta muito próxima aos conceitos humanos. A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos nos questionários de acordo com os especialistas E1 a E12.

Tabela 4 – Opiniões dos especialistas em relação à possibilidade de ocorrência dos eventos

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
Tipo de acidente												
Naufrágio	B	B	M	M	MB	MB	MA	MB	MB	MB	MB	MB
Encalhe	M	B	MA	B	B	A	A	B	*	A	MA	MB
Colisão	B	B	M	*	MB	MB	MA	MB	B	A	MA	B
Abalroação	B	M	M	M	MB	MB	MA	MB	MB	A	MA	MB
Água aberta	B	M	MB	A	Z	M	A	Z	M	MB	M	B
Explosão	B	MB	*	Z	Z	MB	MA	Z	B	MB	M	MB
Incêndio	B	B	B	MB	MB	MB	MA	MB	MB	MB	M	B
Variação	B	MB	B	MB	MB	B	A	MB	MB	B	MB	Z
Arribada	B	M	MB	Z	MB	B	Z	MB	MB	B	MB	MB
Alijamento	B	B	M	MB	Z	M	Z	Z	MB	MB	MB	MB
Avaria ou defeito	B	*	*	*	*	*	*	*	*	*	B	*
Danos ao indivíduo												
Morte ou invalidez	B	MB	A	MB	Z	MB	A	Z	B	MB	MB	Z
Lesões	B	M	A	M	MB	B	A	MB	B	M	MA	MB
Danos materiais												
Em embarcações	B	MB	A	B	MB	B	Z	MB	B	M	M	MB
Em obras civis	B	B	A	B	MB	MB	MA	MB	B	M	M	MB
Danos Ambientais	B	B	MA	MB	Z	B	MA	MB	M	MB	M	*
Fator Contribuinte												
Fator humano	MA	B	M	M	MB	A	MA	*	MB	A	MA	MB
Fator material	MA	MB	MA	M	Z	MB	A	*	MB	A	MA	B
Fator operacional	M	MB	M	MB	M	MB	A	*	MB	A	MA	MB

(MB)= Muito Baixa (B)= Baixa (M)=Moderada (A)=Alta (MA)=Muito Alta (*) = Indefinido

É notório que durante o processo ocorreram algumas divergências entre as opiniões dos especialistas como, por exemplo, as opiniões referentes aos especialistas E6 e E7. Enquanto o especialista E6 acredita que a possibilidade de ocorrer de um naufrágio é muito baixa, o especialista E7 contraria esta opinião considerando uma possibilidade de ocorrência muito alta. Estes e outros casos de divergências são comuns em processos de elicitação e, em geral, são tratados nas etapas de agregação das opiniões.

Por outro lado, foi observado que alguns especialistas julgaram as probabilidades de ocorrência como sendo nulas. São os casos da ocorrência de eventos do tipo explosão avaliados por E4, E5 e E8; os casos de danos em embarcações avaliadas por E7, entre outros. Tais avaliações podem estar associadas ao fato da heurística da disponibilidade [10], onde as opiniões são influenciadas a partir da lembrança de fatos recentes,

podendo assim um especialista lembrar de uma colisão que ocorreu no passado, mas nunca ter presenciado um caso envolvendo uma explosão da embarcação. Estes casos foram tratados de maneira particular, sendo estas opiniões dispensadas para as próximas etapas, a fim de prover maior robustez ao processo e eliminar possíveis ruídos na análise [11]. O critério para dispensa destas opiniões levou em consideração o fato da existência de um histórico de ocorrências relacionado a tais eventos [6] e, portanto, não seria razoável ignorar a ocorrência destes eventos. O mesmo procedimento foi adotado para os casos em que os especialistas foram indiferentes às respostas.

Avaliação dos Resultados Obtidos

As respostas informadas através de valores linguísticos são bastante intuitivas, mas apresentam algumas limitações do ponto de vista qualitativo. Enquanto os valores numéricos podem ser facilmente comparados e combinados matematicamente, os valores linguísticos não podem ser trabalhados diretamente. Em linhas gerais, trabalha-se com a lógica *Fuzzy* [14, 15] onde os valores linguísticos são associados a funções de pertinência. Estas definem os possíveis valores numéricos que uma variável linguística pode assumir. Esta definição é bastante flexível, pois um valor numérico pode pertencer a dois conjuntos diferentes e com diferentes graus de pertinência, tipificando bem imprecisão dos termos linguísticos. A Figura 1 mostra a definição das variáveis linguísticas que foram atribuídas aos questionários.

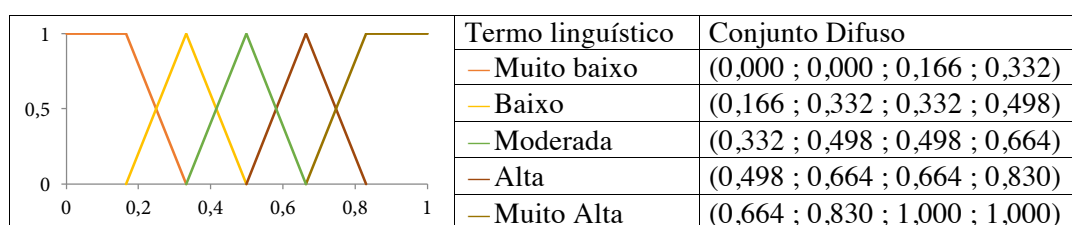


Figura 1 – Definição dos termos linguísticos em conjuntos difusos

Esta definição associa a cada termo linguístico um conjunto difuso que ira permitir o cálculo e agregação das opiniões a partir do método *Similarity Aggregation Method* (SAM) [16]. A primeira etapa do método consiste no cálculo das similaridades entre os especialistas. Estas foram obtidas aos pares (entre especialistas), em relação ao grupo (entre o especialista e o grupo) e em termos relativos. A Tabela 5 exemplifica as similaridades existentes entre os 12 especialistas considerando a possibilidade de ocorrência de um acidente do tipo naufrágio na HTP.

Tabela 5 – Similaridade entre os especialistas em relação à possibilidade de ocorrência de um acidente do tipo naufrágio na HTP

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
E1	1,00	1,00	0,79	0,79	0,83	0,83	0,42	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
E2		1,00	0,79	0,79	0,83	0,83	0,42	0,83	0,83	0,83	0,83	0,83
E3			1,00	1,00	0,63	0,63	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
E4				1,00	0,63	0,63	0,62	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
E5					1,00	1,00	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E6						1,00	0,25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E7							1,00	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25
E8								1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
E9									1,00	1,00	1,00	1,00
E10										1,00	1,00	1,00
E11											1,00	1,00
E12												1,00

A interpretação da similaridade entre as opiniões dos especialistas é obtida a partir de uma escala numérica que varia entre 0 a 1. Quando o valor de $S = 1$ diz-se que as opiniões são idênticas. À medida que este valor decai, assume-se que ocorreram divergências intensificadas em função do decaimento. É o caso dos pares de especialistas (E5, E7), (E6, E7), (E7, E8), (E7, E9), (E7, E10), (E7, E11) e (E7, E12) que apresentam as maiores divergências, quando o assunto é a ocorrência de eventos de naufrágio na HTP. Por

outro lado, é possível notar opiniões idênticas como o caso de (E1, E2), (E3, E4), (E5, E6), entre outros. Nestes casos a similaridade assume o valor unitário. Para obtenção do consenso o método sugere o cálculo do coeficiente de consenso considerando os pesos dos especialistas atribuídos anteriormente e as similaridades relativas calculadas. Este coeficiente é obtido a partir da equação (1) onde, existe um fator de relaxamento (β), a ser atribuído pelo analista.

$$CC(E_u) = \beta \times w(E_u) + (1 - \beta) \times RA(E_u) \quad (1)$$

Este fator é um número, que está contido no intervalo de 0 a 1, que tem a função de equilibrar as importâncias entre os pesos e as similaridades. Quanto maior a proximidade do fator de relaxamento do valor unitário, maior será a importância do peso sobre a similaridade e vice-versa. Em linhas gerais procura-se utilizar este fator a fim de dar uma maior ou menor importância ao peso e similaridade, considerando as possíveis incertezas que estes valores podem apresentar. A Tabela 6 exemplifica alguns coeficientes de consenso obtidos em função das similaridades média e relativa calculadas. Estes valores são referentes à possibilidade de ocorrência de um naufrágio na HTP considerando $\beta = 0,5$.

Tabela 6 – Similaridades média, relativa e coeficiente de consenso entre as opiniões dos especialistas em relação à possibilidade da ocorrência de um acidente do tipo naufrágio na HTP

	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11	E12
$\bar{S}_R(E_i)$	0,804	0,804	0,690	0,690	0,834	0,834	0,349	0,834	0,834	0,834	0,834	0,834
$RA(E_u)$	0,088	0,088	0,075	0,075	0,091	0,091	0,038	0,091	0,091	0,091	0,091	0,091
$CC(E_u)$	0,087	0,083	0,079	0,075	0,089	0,104	0,063	0,074	0,080	0,093	0,076	0,096

Uma das últimas etapas do método SAM é a agregação das opiniões. Estas são obtidas a partir da somatória dos produtos dos coeficientes de consenso pelas as opiniões de todos os especialistas. Estes valores devem ser desfuzificados a fim de obter a possibilidade de ocorrência fuzzy. A desfuzificação dos valores considerou método do centroide [17].

Obtenção das Probabilidades de Ocorrência dos Eventos

Os valores das variáveis desfuzificadas ainda não representam a probabilidade de ocorrência. Esta consideração parte da metodologia proposta por [18] que considera que existe uma distinção entre a possibilidade de ocorrência e probabilidade de ocorrência. A argumentação atribui o fato que as estimativas realizadas pelos especialistas são modificadas com objetivo de considerar os fatores de influência, que muitas vezes não estão claros e, portanto, estes valores serem convertidos.

Desta forma, aplicou-se esta metodologia, obtendo-se as probabilidades apresentadas na Tabela 6.

Tabela 7 – Resultados agregados e probabilidade de ocorrência dos eventos analisados

Item avaliado	Resultado Agregado \tilde{R}_{AG}	Possibilidade de ocorrência fuzzy	Probabilidade de ocorrência
Consequências			
<i>Danos ao indivíduo</i>			
Morte ou Invalidez Permanente	(0,135; 0,204; 0,264; 0,467)	0,275	$6,62 \times 10^{-4}$
Lesões	(0,254; 0,379; 0,385; 0,586)	0,407	$2,46 \times 10^{-3}$
<i>Danos materiais</i>			
Embarcações envolvidas	(0,161; 0,267; 0,263; 0,493)	0,307	$9,55 \times 10^{-4}$
Obras civis e outros	(0,194; 0,301; 0,315; 0,526)	0,342	$1,37 \times 10^{-3}$
<i>Danos ambientais</i>	(0,235; 0,353; 0,374; 0,568)	0,388	$2,10 \times 10^{-3}$
Tipos de acidentes			
Naufrágio	(0,121; 0,185; 0,269; 0,453)	0,263	$5,71 \times 10^{-4}$
Encalhe	(0,345; 0,496; 0,479; 0,678)	0,504	$5,15 \times 10^{-3}$
Colisão	(0,238; 0,358; 0,364; 0,571)	0,390	$2,13 \times 10^{-3}$

Abalroação	(0,232; 0,326; 0,407; 0,565)	0,386	$2,06 \times 10^{-3}$
Água aberta	(0,264; 0,398; 0,395; 0,596)	0,419	$2,72 \times 10^{-3}$
Explosão	(0,137; 0,211; 0,277; 0,469)	0,280	$7,06 \times 10^{-4}$
Incêndio	(0,122; 0,202; 0,240; 0,454)	0,263	$5,73 \times 10^{-4}$
Variação	(0,105; 0,183; 0,204; 0,437)	0,244	$4,39 \times 10^{-4}$
Arribada	(0,083; 0,152; 0,195; 0,415)	0,221	$3,15 \times 10^{-4}$
Alijamento	(0,112; 0,186; 0,241; 0,444)	0,254	$5,04 \times 10^{-4}$
Avaria ou defeito	(0,166; 0,332; 0,166; 0,498)	0,332	$1,24 \times 10^{-3}$
Fatores Contribuintes			
Humano	(0,350; 0,473; 0,545; 0,683)	0,514	$6,50 \times 10^{-3}$
Material	(0,344; 0,462; 0,540; 0,678)	0,507	$5,25 \times 10^{-3}$
Operacional	(0,229; 0,317; 0,406; 0,561)	0,381	$1,98 \times 10^{-3}$

Comparação dos Resultados com o Histórico de Ocorrência dos Eventos

Os resultados obtidos anteriormente foram comparados com os dados históricos onde, para cada evento analisado, foi calculada a probabilidade de ocorrência considerando uma distribuição de Poisson. As taxas históricas dos eventos foram obtidas a partir do levantamento de [6] que avaliou os acidentes registrados na HTP durante o período 2000 a 2011, a partir dos acórdãos dos tribunais marítimos. Nestes acórdãos foi possível contabilizar os tipos de acidentes ocorridos além das consequências conforme mostra Figura 2. Esta figura considera o número de ocorrências em um período de 11 anos.

Em uma análise secundária o mesmo procedimento foi efetuado para o cálculo das probabilidades a partir das opiniões dos especialistas, considerando as mesmas condições. Em virtude da condição que os especialistas realizaram suas estimativas considerando a operação de sua embarcação, isto é, um único comboio ajustou-se as probabilidades considerando uma frota de 48 comboios. Esta condição resultou nos valores de apresentados na Figura 2.

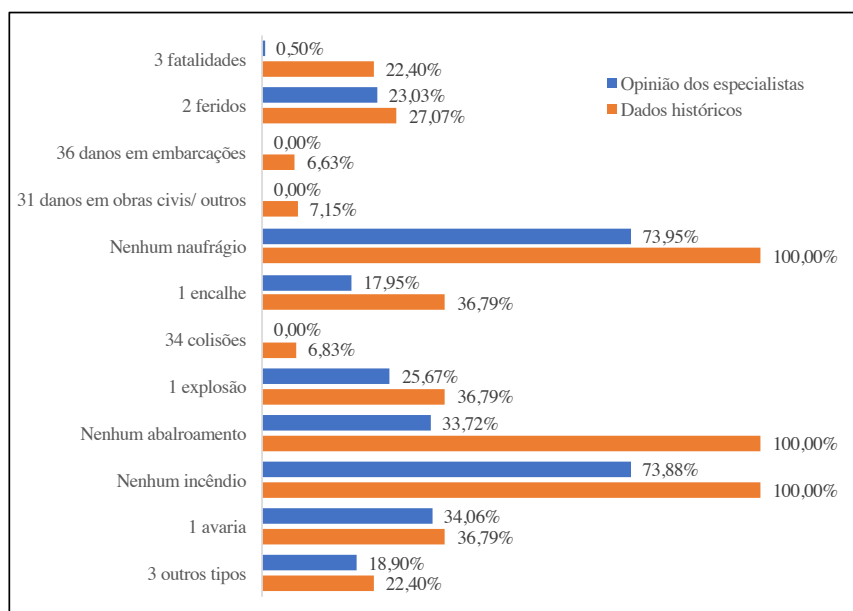


Figura 2 – Probabilidade de ocorrência dos eventos segundo os especialistas e segundo os dados históricos.

CONCLUSÕES E COMENTÁRIOS FINAIS

Considerando os resultados obtidos observou-se que há uma semelhança entre as opiniões especialistas e os dados históricos. Entretanto algumas diferenças foram encontradas e são resultados das condições de segurança e navegação na hidrovia. Estas condições podem estar relacionadas a um menor número de embarcações operando no passado, às dimensões da embarcação, bem como aos procedimentos operacionais.

Em todos os casos analisados as probabilidades obtidas pelos especialistas foram inferiores às probabilidades obtidas a partir dos dados históricos, de forma a concluir que os especialistas se mostraram bastante otimistas.

Por fim é importante dizer que a HTP hoje passa por grandes transformações que se não avaliadas devidamente podem acarretar em um aumento do número de acidentes, em virtude das novas condições de operação. As frequências de ocorrência obtidas a partir de eventos passados podem não ser representativas tendo em vista diferentes condições de segurança e navegação o que sugere uma análise baseada na opinião de especialistas. O uso da elicitación de especialistas nestes estudos é uma importante fonte de conhecimento, pois permite determinar as probabilidades de ocorrência dos eventos independente dos dados históricos.

AGRADECIMENTOS

Este artigo apresenta parte dos resultados obtidos no projeto executado e desenvolvido com apoio financeiro da Marinha do Brasil, cujo suporte os autores agradecem imensamente. Os autores também agradecem ao Programa de Desenvolvimento de Recursos Humanos da Petrobrás (PRH19).

REFERÊNCIAS

- [1] DEPARTAMENTO HIDROVIÁRIO – DH. **Potencial de Transporte**. <http://www.dh.sp.gov.br/potencial-de-transporte/>. Acesso em: 27/04/2017
- [2] ZIO, E. An introduction of the basics of reliability and risk analysis. Danvers: World Scientific, 2007. 222p. ISBN-13 978-981-270-639-3.
- [3] MODARRES, M.; KAMINSKIY, M.; KRIVTSOV, V. **Reliability engineering and risk analysis: a practical guide**. New York: CRC PRESS LLC, 1999. 568 p. ISBN 978-0-8247-2000-1
- [4] MARTINS, M. R. AND M. C. MATURANA. Human error contribution in collision and grounding of oil tankers. **Risk Analysis** 30(4),p. 674-698, 2010.
- [5] Uğurlu, Ö., Yıldırım U., and E. Başar. Analysis of grounding accidents caused by human error V.15 P. 748-760, 2015.
- [6] SAITO, M. S. et al. **Análise estatística dos acidentes na Hidrovia Tietê-Paraná, no período de 2003-2012**. 9º Seminário de Transporte e Desenvolvimento Hidroviário Interior. 2015
- [7] LINSTONE, H. A.; TUROFF, M. **The delphi method - techniques and applications**. 2002. ISBN 978-0-201-04294-8
- [8] DELBECQ, A. L.; GUSTAFSON, D. H. VAN DE VEN, A. H. **Group techniques for program planning: a guide to nominal group and delphi processes**. Middleton: Green Briar Press, 1986. 174 p. ISBN 978-0-9614511-1-0.
- [9] AYYUB, B. M. **Elicitation of expert opinions for uncertainty and risks**. Boca Raton: CRC Press LCC, 2001. 328p. ISBN 978-0-8493-1087-4.
- [10] KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. judgment under uncertainty: heuristics and biases. **Science**, v. 185, n. 4157, p. 1124–1131, 1974.
- [11] COOKE, R. M.; GOOSSENS, L.L.H.J. TU Delft expert judgment data base. **Reliability Engineering and System Safety**, v. 93, n. 5, p. 657–674, maio 2008.
- [12] EMRE, Y. et al. Expert systems with applications fault tree analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach. **Expert Systems With Applications**, v. 42, n. 12, p. 5232–5244, jul. 2015.
- [13] KAHNEMAN, D.; TVERSKY, A. judgment under uncertainty: heuristics and biases. **Science**, v. 185, n. 4157, p. 1124–1131, 1974.
- [14] ZADEH, L. Fuzzy Sets as a Basis for Possibility. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 1, p. 3–28, jan. 1978.
- [15] ZADEH, L. A. Fuzzy sets. **Information and Control**, v. 8, n. 3, p. 338–353, jun, 1965.
- [16] HSI, M. H.; CHEN, T. C. Aggregation of fuzzy opinions under group decision making. **Fuzzy Sets and Systems**, v. 79, n. 3, p. 279–285, maio 1996.

- [17] SUGENO, M. **Fuzzy modelling and control**. 1 ed. ed. Florida, USA: CRC Press, 1999.
- [18] ONISAWA, T. Fuzzy reliability assessment considering the influence of many factors on reliability. **International Journal of Approximate Reasoning**, v. 5 p. 265–280, maio 1991.
- [19] MEYER, M. A.; BOOKER, J. M. **Eliciting and analyzing expert judgment, a practical guide**. London: Society for Industrial and Applied Mathematics and American Statistical Association, 2001. p. 491. ISBN 978-0-89871-474-6.