

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

**Uma metodologia para avaliação de risco do transporte de  
produtos perigosos por meio rodoviário**

---

**Luiz Carlos Hartman**

**Campinas  
2003**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

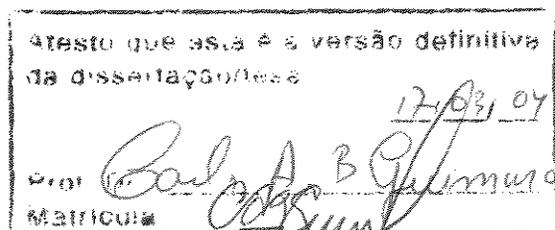
**Uma metodologia para avaliação de risco no transporte de  
produtos perigosos por rodovias**

Luiz Carlos Hartman

**Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Bandeira Guimarães**

Defesa da Dissertação de Mestrado  
apresentado a Comissão de Pós  
Graduação da Faculdade de Engenharia  
Civil da Universidade Estadual de  
Campinas, como parte dos requisitos para  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Civil, na área de  
concentração em Engenharia de  
Transportes.

**Campinas  
2003**



UNIDADE	BC
Nº CHAMADA	UNICAMP
	H255m
V	EX
TOMBO BC/	59227
PROC.	16-117-04
C	<input type="checkbox"/>
D	<input checked="" type="checkbox"/>
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	28/07/04
Nº CPD	

CM00200740-1

BIB ID 318364

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

H255m Hartman, Luiz Carlos  
Uma metodologia para avaliação de risco do  
transporte de produtos perigosos por meio rodoviário /  
Luiz Carlos Hartman. --Campinas, SP: [s.n.], 2003.

Orientador: Carlos Alberto Bandeira Guimarães.  
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de  
Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

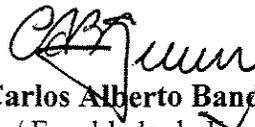
1. Risco. 2. Metodologia. 3. Substâncias perigosas -  
Transporte. 4. Avaliação de riscos. I. Guimarães,  
Carlos Alberto Bandeira. II. Universidade Estadual de  
Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS  
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**

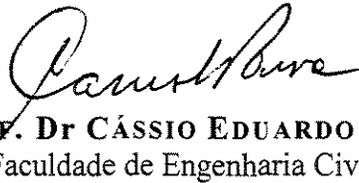
**Uma metodologia para avaliação de risco no transporte de  
produtos perigosos por rodovias**

Engº Luiz Carlos Hartman

Dissertação de Mestrado aprovada pela Banca Examinadora, constituída por:



**PROF. Dr Carlos Alberto Bandeira Guimarães**  
Presidente e Orientador / Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



**PROF. Dr CÁSSIO EDUARDO LIMA DE PAIVA**  
Faculdade de Engenharia Civil - UNICAMP



**PROF. Dr ENNIO PERES DA SILVA**  
Instituto de Física - UNICAMP

Campinas, 28 de Novembro de 2003.

## - AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que diretamente e indiretamente contribuíram para que eu pudesse fazer o curso de mestrado e que sempre constituíram o esteio das necessidades do meu espírito e do meu físico.

Em especial:

À Universidade Estadual de Campinas – UNICAMP, pela minha formação profissional.

Ao Prof. Dr. Carlos Alberto Guimarães Bandeira por ter me orientado durante a elaboração deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Cássio Eduardo Lima Paiva, que me acolheu prontamente no curso de Pós-Graduação, orientando-me durante a escolha do tema da dissertação, com o cuidado de que a mesma tivesse conexão com a minha prática profissional já em curso, também pelas “dicas” dadas de como relacionar-me com o curso.

Ao amigo de todas às horas, que sempre me incentivou, mesmo nos momentos pessoais mais difíceis, de quem sempre uma palavra de apoio ouvi, Prof. Dr. Denys Emilio Campion Nicolosi. Sem este amigo tão pouco teria passado pela porta da UNICAMP.

Aos amigos, que são muitos, sempre me apoiando nos momentos de dificuldade.

À minha família.

Aos meus pais, que deram a oportunidade de sentir a vibração da vida em sua plenitude.

## Sumário

<b>LISTAS DE FIGURAS, GRÁFICOS, QUADROS E TABELAS</b> .....	11
<b>SIGLAS E ABREVIACÕES</b> .....	13
<b>RESUMO</b> .....	15
<b>ABSTRACT</b> .....	17
<b>INTRODUÇÃO</b> .....	19
1.1 Objetivo.....	24
1.2 Estrutura do trabalho.....	24
<b>2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA</b> .....	27
2.1 Introdução.....	27
2.1.1 Acidentes com produtos perigosos nos EUA.....	27
2.1.2 Acidentes com produtos perigosos no Brasil.....	30
2.2 Considerações sobre o capítulo.....	37
<b>3 METODOLOGIAS ATUALMENTE DISPONÍVEIS</b> .....	39
3.1 Introdução.....	39
3.2 Conceitos gerais.....	39
3.3 Estado da arte no que diz respeito as metodologias para a seleção de rotas mais seguras.....	51
<b>4 TÉCNICA ADOTADA PARA GERENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCOS</b> .....	57
4.1 Introdução.....	57
4.2 Uma estrutura para o gerenciamento de riscos.....	59
4.3 Técnica adotada para avaliação de riscos.....	61
4.4 Estudo e adaptação da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.....	78
4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	80
<b>5 ESTUDO DE CASO</b> .....	85
5.1 Introdução.....	85
5.2 Aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	86
5.3 Teste de validação da adaptação da variável zona de impacto à metodologia proposta por Harwood et al (1990).....	100
5.4 Conclusão do capítulo subitem 4.5.....	102
<b>6 CONCLUSÃO SOBRE O TRABALHO REALIZADO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS</b> .....	104
6.1 Conclusões sobre o subitem 5.2 – aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.....	104
6.2 Conclusões sobre o subitem 5.3 - teste de avaliação da adaptação da variável zona de impacto à metodologia proposta por Harwood et al (1990).....	107
6.3 Conclusões sobre o subitem 4.5 – estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos.....	108
6.4 Sugestões para pesquisas futuras.....	109
Bibliografia de Referência.....	112
Bibliografia de Apoio.....	116
<b>ANEXO 1 Ferramentas utilizadas nas metodologias para a análise de riscos no transporte de produtos perigosos</b> .....	117
<b>ANEXO 2 Estrutura para o gerenciamento de riscos</b> .....	134

## Lista de figuras, gráficos, quadros e tabelas.

<b>Figuras</b>	<b>Pág</b>
1 Triângulo estatístico de Bird e Fletcher .....	49
2 Processo passo a passo para mesclar dados da geometria das rodovias, volumes de tráfego e dados sobre acidentes .....	64
3 Influência do tipo de produto transportado sobre a zona de impacto como classificá-la no trecho da rodovia. ....	80
4 Mapa linear com as rodovias eleitas como rotas do estudo de caso .....	87
5 Mapa linear com as rotas I e II do estudo de caso .....	87
6 Duas seqüências possíveis para a avaliação de risco no transporte de produtos perigosos .....	120
7 Comparação entre metodologia histórica e preditiva .....	122
8 Árvore de falhas para o evento “Fogo iniciado” .....	126
9 Árvore de decisões para um problema com atributo .....	127
10 Árvore de decisões simplificada para um problema com atributos múltiplos.....	130
11 Típica análise de causa-conseqüência.....	133
12 Estrutura para o gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos.....	137
13 Modelo de gerenciamento de riscos para o transporte de produtos perigosos ....	143
<b>Gráficos</b>	<b>Pág.</b>
1 Média anual de acidentes no transporte de produtos perigosos nas principais rodovias Estaduais e federais entre 1997 a 1999, a partir da Tabela 1.....	23
2 Distribuição dos condutores de transporte de carga por tipo de carga, segundo faixa etária .....	81
3 Porcentagem de acidentes com produtos perigosos em função da faixa etária do condutor .....	83
<b>Quadros</b>	
1 Classificação de rodovias .....	63
<b>Tabelas</b>	<b>Pág</b>
1 Acidentes no transporte de produtos perigosos nas principais rodovias Estaduais e federais .....	22
2 Taxas de acidentes com caminhões nas rodovias do Estado da Califórnia, 1985 a 1987 (3 anos) .....	67
3 Distribuição por tipo de acidentes com caminhões na malha rodoviária em estudo - (período de 3 anos) .....	68
4 Taxas de acidentes combinadas com caminhões .....	69
5 Probabilidade de vazamento dado que um acidente tenha ocorrido, em função do tipo de acidente .....	71

**Tabelas****Pág.**

6	Probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente tenha ocorrido em função da classe da rodovia .....	72
7	Taxas padronizadas de acidentes com vazamento tendo ocorrido um acidente, em função da classe da rodovia, para a utilização na análise de roteamento do transporte de produtos perigosos .....	74
8	Valores críticos da distribuição de Poisson .....	78
9	Condutores de transporte rodoviário de carga por tipo de carga, segundo faixa etária .....	81
10	Síntese de porcentagem de acidentes com produtos perigosos onde houve vazamentos em função da faixa etária dos condutores. Acidentes com produtos perigosos ocorridos no Estado de São Paulo .....	82
11	Acidentes ocorridos em 2000 e 2001 com produtos perigosos rodovias SP 300, SP 304, SP 330, SP 348 .....	88
12	Densidade demográfica por regiões .....	95
13	Rota I - Jundiaí a Americana via rodovia dos Bandeirantes - SP Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco .....	97
14	Rota I - Jundiaí a Americana via rodovia dos Bandeirantes - SP Cálculo da população exposta ao risco .....	96
15	Rota II - Jundiaí a Americana via rodovia Anhangüera - SP Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco .....	98
16	Rota II - Jundiaí a Americana via rodovia Anhangüera - SP Cálculo da população exposta ao risco .....	99
17	Trecho AK – Km 92,00 ao Km 98,00 – rota II SP-330 – via Anhangüera – estudo relativo a influência da largura da zona de impacto no cálculo do risco final do trecho. Cálculo comparativo da taxa de acidente para avaliação de risco do trecho AK .....	101
18	Trecho AK – Km 92,00 ao Km 98,00 – rota II SP-330 – via Anhangüera – estudo relativo a influência da largura da zona de impacto no cálculo do risco final do trecho. Cálculo comparativo da população exposta ao risco .....	101

## - SIGLAS E ABREVIACÕES

ABIQUIM: Associação Brasileira das Indústrias Químicas  
ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas  
AUTOBAN: Concessionária do Sistema Anhangüera – Bandeirantes S.A  
BA: Bahia  
CCA: Metodologia de Causas e Conseqüências  
CETESB: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental  
CETREM / SUL: Centro de Estudos e Treinamento para Emergências da Região Sul  
CFR: Code of Federal Regulations  
CMA: Chemical Manufacturers Association  
CPRH: Companhia do Estado de Pernambuco do Meio Ambiente  
DDCSC: Departamento de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina  
DER: Departamento de Estradas de Rodagem  
DNER: Departamento Nacional de Estradas de Rodagem  
DOT: U.S. Department of Transportation  
EPA: U.S. Environmental Protection Agency  
EPIs: Equipamentos de Proteção Individual  
EUA: Estados Unidos da América  
FATMA: Fundação do Meio Ambiente  
FEMEA: Failure Mode and Effects Analysis  
FHWA: Federal Highway Administration  
FMECA: Failure Mode, Effects and Criticality Analysis  
GLP: Gás Liquefeito de Petróleo  
GTZ: Gesellschaft für Technisch Zusammenarbeit  
HACCP: Hazard Analysis and Critical Control Point  
HAZOP: Hazard and Operability  
IBGE: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística  
INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia e Qualidade Industrial  
IPEM: Instituto de Pesos e Medidas.  
NACD: National Association of Chemical Distributors  
NBR: Norma Brasileira  
NFPA: National Fire Protection Association  
NPR: Numerical Priority Risk  
ONU: Organização das Nações Unidas  
OSHA: Occupational Safety and Health Administration  
PHA: Preliminary Hazardous Analysis  
Pres: Presidente  
QRA: Quantitative Risk Analysis  
RJ: Rio de Janeiro  
RSPA: Research and Special Programs Administration  
SEADE: Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos  
SECTRANSP: Secretaria de Transporte do Estado de São Paulo  
SI: Sistema Internacional de Unidades.

SP 300: Via Rondon  
SP 304: Rodovia Luiz de Queiroz  
SP 330: Via Anhangüera  
SP 348: Rodovia dos Bandeirantes  
SP: São Paulo  
UDESC: Universidade do Estado de Santa Catarina

## - RESUMO

Hartman, Luiz Carlos. Uma metodologia para avaliação de riscos no transporte de produtos perigosos por meio rodoviário. Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, 2003. p.156. Mestrado.

Conforme dados estatísticos colhidos pela Fundação. SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos), SEADE (2002) o transporte rodoviário de carga no Brasil e especialmente no Estado de São Paulo, constitui um segmento estratégico da economia, que vem se intensificando e exigindo mais estudos e pesquisas voltados para as questões de eficiência, segurança e redução de acidentes. O transporte rodoviário de produtos perigosos adquire uma importância especial, uma vez que a intensidade de risco está associada à periculosidade do produto transportado. Os acidentes envolvendo o transporte destes produtos podem ter consequências catastróficas, sobretudo diante da proximidade de cidades lindeiras das principais rodovias.

O objetivo deste trabalho é adaptar uma metodologia de avaliação de riscos no transporte de produtos perigosos, via rodovia. Como procedimento, foram ponderadas metodologias de avaliação de riscos existentes nos EUA, e selecionada uma, cujo perfil aproxima-se às características das rodovias brasileiras. A esta metodologia, adaptou-se três melhorias, que são as contribuições desta dissertação.

As adaptações que contribuíram, para a melhora da metodologia selecionada, são:

- a utilização de uma estrutura para o gerenciamento do risco a ser avaliado.
- alteração da variável da zona de impacto de um produto, quando vazar em

caso de acidente; na metodologia original esta zona é fixa ao longo da rodovia; a proposição é que esta zona varie em função do tipo de produto transportado.

- estudo da influência que faixa etária do condutor do veículo causa na probabilidade da ocorrência de acidentes, no transporte de produtos perigosos

Palavras-Chaves: Transporte, produtos perigosos, risco, rotas, metodologia, modelo.

## ABSTRACT

As of the statistical data from Fundação SEADE (Sistema Estadual de Análise de Dados Estatísticos), SEADE (2002) the goods transportation in Brazil and especially in the Estado of São Paulo constitutes a strategical segment of the economy. Thus, it is intensifying demanding more studies and research come back toward the efficiency questions, security and reduction of accidents. The road transport of hazardous materials have a special importance, because that the risk intensity this associate the danger of the carried product. The accidents involving the transport of these products can have catastrophic consequences, over all ahead of the proximity of bordering cities to the main highways.

The subject of this work is to adapt a methodology of evaluation of risks in the transport of dangerous products, through highway. As procedure they had been evaluated methodologies of risks evaluation in U.S.A. to select one of that whose have a profile like the Brazilian's characteristics highways. After elect, to the methodology were adapted three improvements, which are the contributions, of this dissertation.

The contributions to the methodology select improved it are:

- the use of a structure for the risk management of the to be evaluated
- the change of impact zone when product leak in accident case, (in the original methodology this zone is fixed over the highway), the proposal is that this zone varies in function of the type of carried product
- study of that the age range of the truck drivers, which carries hazardous materials, because, the probability of the accident occurrence is function of how old he is.

Key words: Transportation, hazardous materials, methodology, model, risk, routes.

## **1 – INTRODUÇÃO**

O transporte de produtos perigosos está regulamentado no Brasil pelo Decreto nº 96.044, de 18 de maio de 1988, que estabelece as regras e procedimentos para o transporte desses produtos pelas vias públicas nacionais. Cabe também citar a Portaria 204/97, do Ministério dos Transportes, e a Norma Brasileira - NBR 7.500, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), revisada em março de 2000. Ainda que exista uma legislação adequada, a sociedade, como um todo ainda está despreparada na prevenção de acidentes e atendimentos de emergência, pois desconhece a normas e legislações vigentes, assim com não tem o devido treinamento para o evento acidente.

Um dos propósitos deste trabalho, é munir empresas, órgãos públicos e a sociedade como um todo, de uma forma de com avaliar o risco a que esta exposta, quando um produto perigoso esta transitando ao redor da sua propriedade ou área de convivência. O referido decreto determina que: as autoridades com jurisdição sobre as vias em que os produtos vão ser transportados, tenham restrições ao seu uso, ao longo de todo a sua extensão ou parte dela, objetivando a segurança de que possa estar às vizinhanças das mesmas.

O desenvolvimento de um Banco de Dados, utilizado neste trabalho, foi conduzido pelas Polícias Rodoviárias Estadual e Federal do Estado de São Paulo através da incorporação das informações sobre as ocorrências de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos.

O desenvolvimento de um Banco de Dados, foi conduzido pelas Polícias Rodoviárias Estadual e Federal do Estado de São Paulo através da incorporação das informações sobre as ocorrências de acidentes no transporte rodoviário de produtos perigosos.

Os registros de acidentes envolvendo o transporte rodoviário de produtos perigosos foram localizados no espaço geográfico, com a finalidade de identificar as principais concentrações espaciais no Estado de São Paulo.

Foram identificadas as rodovias e também os trechos rodoviários com as maiores freqüências e concentrações de casos de acidentes com produtos perigosos.

Elaborou-se um levantamento das cidades lindeiras às rodovias, por intermédio da classificação de todos os distritos e sedes de municípios paulistas, cujo centro situava-se a menos de 500 metros de uma rodovia estadual ou federal e a suas respectivas densidades populacionais, obtendo-se estes dados do IBGE.

Foram elaborados mapas, contendo as principais manchas urbanas do Estado, que são atravessadas por rodovias e identificados através de pontos locais, onde ocorreram acidentes.

Algumas características dos motoristas que realizam o transporte rodoviário de produtos perigosos, foram confrontadas com os condutores de cargas em geral, com a finalidade de observar diferenças de padrão. Também foram evidenciadas, algumas características relacionadas com os acidentes registrados, correlacionando-os com os condutores dos veículos..

A existência de um banco de dados na Polícia Rodoviária Estadual, rico em detalhes e com um período de três anos (de 1997 a 1999) consecutivos, possibilitou o levantamento da incidência de acidentes no transporte de produtos perigosos nas rodovias paulistas, constatando-se um total de 1.563 acidentes.

Cerca de 60% dos acidentes ocorridos nas rodovias Estaduais, concentrou-se em dez rodovias e 32%, em somente três rodovias – SP 330 (Via Anhangüera), SP 332 (Pres. Tancredo Neves) e SP 310 (Washington Luiz).

Os acidentes nas rodovias federais que cruzam o Estado, concentram-se nas três principais: BR 381 (Fernão Dias), BR 116 (Via Dutra e Régis Bittencourt) e BR 153 (Transbrasiliana).

Para efeito de melhor visualização da distribuição espacial dos acidentes e permitir a comparação entre as rodovias Estaduais e federais, com períodos de observação distintos, calculou-se a média anual de acidentes ocorridos nos trechos definidos pelos limites dos municípios. Esses indicadores foram representados sobre as linhas das rodovias que compõem a malha rodoviária de São Paulo e sobrepostas ao mapa da divisão municipal do Estado.

A malha rodoviária do Estado, considera que na rodovia codificada com número ímpar, usualmente denominada de rodovia perimetral, um veículo estará circulando a capital, a uma distância aproximada em quilômetros, igual ao próprio número da rodovia. Na rodovia com o número par, usualmente denominada de rodovia radial, o veículo estará se afastando ou aproximando-se da capital. A maior concentração de acidentes, ocorreu nesses grandes eixos, isto é, nas rodovias radiais, as quais, se destacam pela extensão e por constituírem-se grandes rotas de transporte de produtos perigosos, para o interior paulista ou mesmo para além das fronteiras do Estado, (SEADE, 2002).

Para efeito de visualização gráfica considerou-se somente as principais rodovias, segundo o número de acidentes registrados, conforme a Tabela 1 e Gráfico 1. As maiores médias anuais de ocorrências de acidentes, foram verificadas nos trechos rodoviários da SP 332 (Pres. Tancredo Neves) – município de Paulínia – e da SP 330 (Via Anhangüera) –

município de Limeira. A localização de refinaria de grande porte em Paulínia é decisiva na explicação do intenso movimento de transporte de produtos químicos na região, da mesma forma que o grande complexo químico de Cubatão explica o intenso movimento de transporte desses produtos nos municípios de Cubatão e São Bernardo do Campo, (SEADE, 2002).

A concentração de acidentes nessas regiões está, diretamente associada ao intenso fluxo de veículos de carga assim como de automóveis.

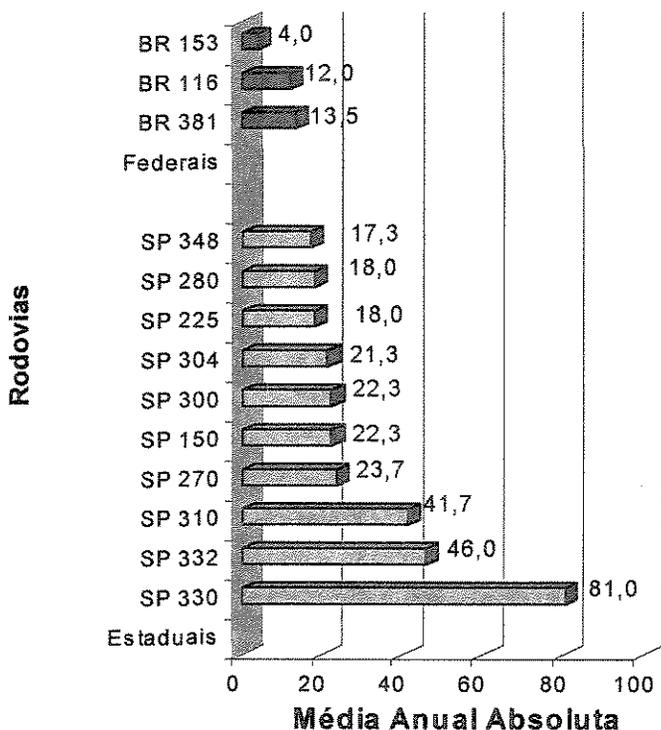
Outros fatores de risco que agravam esse quadro estão, relacionados com as condições das rodovias, dos veículos de carga e do condutor.

**Tabela 1**  
Acidentes no transporte de produtos perigosos nas principais rodovias estaduais e federais

Sigla das Rodovias	1997		1998		1999		Total		Rodovias	Média Anual Absoluta
	nº Absolutos	%	nº Absolutos	%	nº Absolutos	%	nº Absolutos	%		
<b>Total</b>	<b>293</b>	<b>100,00</b>	<b>329</b>	<b>100,00</b>	<b>313</b>	<b>100,00</b>	<b>935</b>	<b>100,00</b>	<b>Estaduais</b>	
SP 330	76	25,94	74	22,49	93	29,71	243	25,99	SP 330	81,0
SP 332	39	13,31	48	14,59	51	16,29	138	14,76	SP 332	46,0
SP 310	42	14,33	57	17,33	26	8,31	125	13,37	SP 310	41,7
SP 270	26	8,87	29	8,81	16	5,11	71	7,59	SP 270	23,7
SP 150	19	6,48	21	6,38	27	8,63	67	7,17	SP 150	22,3
SP 300	29	9,90	16	4,86	22	7,03	67	7,17	SP 300	22,3
SP 304	15	5,12	24	7,29	25	7,99	64	6,84	SP 304	21,3
SP 225	19	6,48	23	6,99	12	3,83	54	5,78	SP 225	18,0
SP 280	13	4,44	19	5,78	22	7,03	54	5,78	SP 280	18,0
SP 348	15	5,12	18	5,47	19	6,07	52	5,56	SP 348	17,3
<b>Federais</b>									<b>Federais</b>	
<b>Total</b>			<b>23</b>	<b>100,00</b>	<b>36</b>	<b>100,00</b>	<b>59</b>	<b>100,00</b>		
BR 381	<b>Sem dados</b>		13	56,52	14	38,89	27	45,76	BR 381	13,5
BR 116	<b>Sem dados</b>		8	34,78	16	44,44	24	40,68	BR 116	12,0
BR 153	<b>Sem dados</b>		2	8,70	6	16,67	8	13,56	BR 153	4,0

Fontes: Policias Militar Rodoviárias Federal e Estadual

Nota : As rodovias federais não apresentaram dados no ano de 1997



**Gráfico 1 - Média anual de acidentes no transporte de produtos perigosos nas principais rodovias estaduais e federais entre 1997 a 1999 a partir da Tabela 1 -**  
**Fontes: Polícias Militares Rodoviárias Federal e Estadual.**

Na Tabela 1 e Gráfico 1 os dados são relativos a acidentes somente com produtos perigosos com vazamento, embora fosse conveniente que houvesse uma comparação entre o número de acidentes com produtos perigosos relativo ao volume de tráfego de caminhões (que transportam somente esses produtos) por rodovia; contudo, não existe um banco de dados que tenha separado os volumes de caminhões com as cargas comuns das perigosas. Embora a legislação vigente obrigue as empresas a informarem a Polícia Rodoviária Federal com os dados sobre o volume, origem e destino das cargas perigosas.

Dessa forma, não é possível, obter uma amostra probabilística de ocorrência dos acidentes com cargas perigosas com o volume transportado.

## 1.1 Objetivo

Esse trabalho objetivou-se em três propostas:

- estudar os modelos existentes de avaliação de riscos para o transporte de produtos perigosos por rodovias, e a partir do modelo de Harwood et al (1990) e Ramos (1997), adaptá-lo, à realidade atual das estradas do Estado de São Paulo. Essa alteração, constituiu em alterar a **variável largura** da zona de impacto, que compõem o modelo original, deixando-o, com isto, o valor do risco, mais sensível em relação ao tipo de produto transportado.
- a utilização de **uma estrutura de gerenciamento de riscos para o transporte de produtos perigosos**, que deverá anteceder a qualquer tipo de cálculo, que possa avaliar o risco entre possíveis rotas, pois se aplicada promoverá a redução de acidentes e os impactos que estes ocasionam.
- uma pesquisa da influência da idade média do motorista sobre número de acidentes ocorridos com produtos perigosos, inexistente no modelo original citado. Tendo sido explorada a possibilidade incorporação desta variável, ao modelo original.
- a avaliação de rotas propostas através dos modelos levou à análise e o reavaliar dos modelos disponíveis, adotados em diversas regiões dos EUA.

## 1.2 Estrutura do Trabalho

Este trabalho além do capítulo introdutório, apresenta mais cinco capítulos: **Colocação do Problema, Metodologias Atualmente Disponíveis, Técnica Adotada Para Gerenciamento e Avaliação de Risco, Estudo de Caso, Conclusão e Sugestões Para Futuras Pesquisas.**

No capítulo dois é apresentado um cenário dos acidentes ocorridos nas rodovias do Estado de São Paulo, através de dados obtidos de várias fontes, assim como uma estrutura de gerenciamento de riscos moderna influi na diminuição da taxa de acidentes e nas conseqüências de maneira preditiva. Por fim o que cada metodologia de avaliação de riscos enfoca e os dados que exigem as suas aplicações no país de origem contrapondo com

os disponíveis no Brasil.

O capítulo três, contém as Metodologias Atualmente Disponíveis sobre a avaliação de riscos, no transporte de produtos perigosos.

O capítulo quatro, foi destinado a:

(a) sugerir uma técnica para o gerenciamento de risco, com propósito de minimizá-lo ou eliminá-lo, antes da utilização de uma metodologia que o avalie.

(b) uma metodologia para avaliação de risco,

(c) adaptação da **variável largura de faixa de impacto**, que compõem a metodologia original citada no item (b). para uma situação real.

(d) um estudo, que relaciona a faixa etária do condutor com a ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos. Salienta-se, que este trabalho tem como foco principal, as contribuições para diminuir ou eliminar, as possíveis conseqüências de um acidente.

No capítulo cinco é feita uma aplicação da metodologia (citada no capítulo quatro) para duas rodovias importantes do Estado de São Paulo, e comparados os efeitos da adaptação da **variável largura de faixa** com o valor do risco em um determinado trecho de uma rota selecionada.

O capítulo seis destinou-se à apresentação das conclusões sobre o assunto pesquisado e a análise da influência da utilização de uma zona de impacto, sobre o risco. Além disso, são apontadas algumas possibilidades de pesquisas, dando a continuidade ao estudo de metodologias em função da realidade brasileira, no que tange a seleção de rotas do transporte de produtos perigosos.

## **2 COLOCAÇÃO DO PROBLEMA**

### **2.1 Introdução**

Nesse capítulo aborda-se o assunto relativo aos acidentes com transporte de produtos perigosos nos EUA e no Brasil, diante das principais estratégias adotadas para a redução das conseqüências.

Em relação ao Brasil, serão consideradas as experiências realizadas nos Estados de Santa Catarina, Paraná, Pernambuco e São Paulo e as dificuldades existentes na obtenção de dados relativos a estes acidentes. Também serão desenvolvidas pesquisas relativas a promoção de ações que previnam os acidentes, assim como as suas conseqüências.

#### **2.1.1 Acidentes com produtos perigosos nos EUA**

Segundo Pijawka (1985), o transporte de produtos perigosos está em crescimento e como conseqüência o aumento do número de acidentes que envolve tais produtos, e os danos provenientes de tais acontecimentos. Neste artigo Pijawka (1985), sugere um modelo que gerencia a redução do risco (ou mitigação deste), justificando que essas ocorrências se

dão pela vulnerabilidade e acondicionamento do produto perigoso transportado.

Referindo-se ao Estado do Arizona, nos EUA, Pijawka (1985), cita, que através de avaliação de embarque de materiais perigosos ao longo das maiores rotas, permitiu-se obter aproximações comparativas, que trouxeram algumas considerações. A avaliação pressupôs tipo e volume do fluxo, os quais, foram determinados a partir do volume de caminhões comerciais, permitindo uma análise dos acidentes com transporte de produtos perigosos, resultando desta forma, no valor da probabilidade de acidentes por rotas individuais. O aumento da consciência de acidentes com materiais perigosos e o potencial de conseqüências catastróficas, tem liderado formas de mitigar o risco e implantar o planejamento no transporte deste tipo de carga.

O fator vulnerabilidade foi relacionado com os fatores risco e planejamento. Como conseqüência, a redução da vulnerabilidade implica na expansão do planejamento e na redução do risco.

Scalon (1985), refere-se à Avaliação do risco e segurança no transporte de produtos perigosos, como um item grande e complexo, mal gerido pelo governo através de uma grande quantidade de medidas administrativas e executivas, sendo que as aplicações de metodologias de avaliação de risco são as melhores formas de ajudar a comunidade a minimizar e posicionar-se na percepção relativa ao produto perigoso a que esta exposta. Conclui Scalon (1985), que métodos de avaliações absolutas de risco e segurança, devem ser desenvolvidos para que haja aceitação e uso dos usuários comuns, enquanto os métodos absolutos e relativos teóricos, não são cabíveis de entendimento e de utilização prática dos que se utilizam das rotas de transporte de cargas perigosas.

Embora existam metodologias de avaliação absolutas que norteiam algumas gestões, estas não são suficientes, para evitar acidentes e as suas conseqüências, Scalon (1985) ressalta a necessidade de minimizar a vulnerabilidade da população exposta, aumentando o grau de “**preparação**” em face de um possível acidente minimizando a exposição ao risco.

Sacomanno (1985), afirma, que o potencial de risco de derramamento de produtos perigosos quando transportado, pode ser reduzido “escolhendo” rotas mais seguras. Vários critérios para a escolha de tais rotas podem ser adotados, tendo como consequência uma ampla gama de resultados. Três estratégias são sugeridas; a **minimização do risco**, a **mínima probabilidade de acidente**, e o **menor custo operacional para um caminhão**. Cada estratégia de roteamento é aplicada a uma malha rodoviária nas quais acidentes com caminhões são freqüentes.

Rotas seguras são analisadas para um custo efetivo e para uma grande variedade de condições ambientais. Dois importantes aspectos são emergentes desta análise de custo efetivo: **(a) na estratégia de um roteamento, a minimização do risco produz uma melhora na segurança e uma série de ganhos econômicos, (b) uma significativa negociação ocorre entre o custo de operação de um caminhão e benefícios com a segurança**. Esta negociação é uma preocupação fundamental para a implementação deste tipo de melhora na estratégia de transporte de materiais perigosos.

Sacomanno (1985) conclui, que o transporte seguro de materiais perigosos em grades área urbanas, pode ser melhorado através da adoção de estratégias de roteamento. O projeto de roteamento deve ser sensível as influencias das variações ambientais. Essas influências podem variar ao longo do tempo e para diferentes locais da malha rodoviária. Uma estratégia de roteamento de mínimo risco, pode reduzir o potencial de danos associados ao derramamento de produtos perigosos, e pode produzir uma série de ganhos econômicos à sociedade. As rotas de risco mínimo são claramente, o melhor custo efetivo e o meio de restringir o envio de produtos perigosos através das malhas rodoviárias urbanas.

Os custos com a prevenção de um acidente, não são significantes, quando comparados com despesas operacionais ou exposição ao risco. Sacomanno (1985)

Harwood et al (1990) propala, que a estimacão de acidente e a taxa de vazamento são essenciais no estudo do roteamento de rodovias para o transporte de produtos perigosos. Ele enfatiza a importância da **avaliação do risco e atalhos para obtenção de dados**.

Novas taxas de acidentes têm sido calculadas, a partir da combinação de dados obtidos de órgãos federais e Estaduais. Essas taxas foram desenvolvidas como função do tipo de rodovia, tipo de área (urbana ou rural), geometria da rodovia, volume de tráfego, número de acidentes e a probabilidade de vazamentos .

O “U. S. Department of Transportation - D.O.T (1999), emitiu um guia para a utilização de um modelo de cálculo para substituir a falta de dados da probabilidade de acidente e das taxas de vazamento para o transporte de produtos perigosos. Testes estatísticos, baseados nas distribuições Qui-Quadrado e Poisson, são utilizados para avaliar se os dados obtidos sobre as taxas de acidentes de uma área específica, são válidos.

Uma parte das probabilidades das diretrizes de roteamento sobre o transporte de produtos perigosos, emitida pelo DOT (1999), no que diz respeito a vazamento destes produtos pode ser aplicada, a uma situação real. A equação fornecida, é recomendada para a determinação da probabilidade relativa de um vazamento de materiais, para uma determinada remessa em um segmento particular de rota. Os elementos chaves na revisão das diretrizes são explícitos na consideração de:

**(a) a taxa de acidentes com caminhões.**

**(b) a probabilidade de vazamento dado um acidente.**

### **2.1.2 Acidentes com produtos perigosos no Brasil**

Ramos (1997), descreve a importância do combate ao problema de acidentes com veículos que transportam produtos perigosos no Estado de Santa Catarina, e que a principal estratégia é encontrar rotas que ofereçam o menor risco possível à população. A metodologia que utiliza, leva em consideração o volume de tráfego, o número de acidentes com veículos e a densidade demográfica. No seu trabalho, Ramos (1997) consolida como importante, o planejamento da prevenção dos acidentes e que estes acidentes, ocorrem nas diversas fases do processo: produção, transporte, transformação, utilização e disposição final do produto perigoso. Como dado de relevância e justificando o seu trabalho Ramos (1997), cita que somente na rodovia BR-101 circulam em média 600 veículos por dia transportando produtos perigosos.

Segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER (2002), o transporte rodoviário de produtos perigosos é matéria de interesse nacional, regional e local e que as questões ligadas a esse tipo de transporte interessam não só aos fabricantes e transportadores, mas a todas as organizações públicas e privadas, que de alguma forma, estão ligadas à segurança do trânsito em redes viárias.

O Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER (2002), promove periodicamente pesquisa sobre transporte de produtos perigosos, em estreita ligação com outras entidades públicas e privadas, visando, entre outros objetivos, criar um banco de informações incluindo rotas geo-referenciadas e outras informações necessárias à monitoração desse tipo de transporte.

No Estado de Santa Catarina, o Departamento de Defesa Civil, DDCSC (2002), tem desenvolvido esforços no sentido de prevenir acidentes assim como mitigar as suas conseqüências, publicando informações a usuários e transportadores de produtos perigosos.

O Departamento de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina DDCSC (2002), considera PRODUTO PERIGOSO aquele que represente risco para saúde de pessoas, para a segurança pública ou para o meio ambiente. Os riscos de desastres com produtos perigosos, de natureza tecnológica, ocorrem no transporte rodoviário, ferroviário, marítimo, fluvial ou lacustre, no deslocamento por dutos, em instalações fixas como portos, depósitos, indústrias produtoras de produtos perigosos, indústrias consumidoras de produtos perigosos, refinarias de petróleo, pólos petroquímicos, depósitos de resíduos, rejeitos ou restos, no consumo, uso ou manuseio de produtos perigosos.

Como justificativa, de suas ações relativa a acidentes com produtos perigosos o Departamento de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina DDCSC (2002), explana que centenas de milhares de produtos químicos são produzidos, armazenados, transportados e usados anualmente. Um acidente com produto perigoso, ocorre todas as vezes que se **perde o controle sobre o risco**, resultando em vazamentos que causa danos aos humanos, a propriedade e ao meio ambiente. Devido à natureza perigosa de muitos deles, foram

estabelecidas normas para reduzir os danos prováveis. Se essas normas não forem seguidas, perde-se o controle efetivo sobre o risco e origina-se uma situação de desastre iminente. Os acidentes com produtos perigosos, variam em função do tipo do produto químico e da quantidade e das características dos mesmos.

Um acidente de produto, perigoso para o Departamento de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina DDCSC (2002), é uma situação, na qual, um produto perigoso vaza ou pode vazar, para o ambiente que o rodeia. Todas as atividades que são requeridas, quando se aciona uma ação emergencial nestes acidentes, podendo ser divididas em cinco amplos elementos que se interagem:

- **RECONHECIMENTO** - identificação da substância envolvida e as características que determinam seu grau de periculosidade

- **AVALIAÇÃO do IMPACTO ou RISCO** apresentado pela substância perigosa à saúde pública e ao meio ambiente

- **CONTROLE** - métodos para eliminar ou reduzir o impacto do acidente.

- **INFORMAÇÃO** - conhecimento adquirido através da Inteligência, Instrumentos de Leitura Direta e Exames de Amostras.

- **SEGURANÇA** – proteção daquelas pessoas que atuam durante as ações emergenciais, tentando atender as conseqüências do acidente.

Alguns acidentes graves que ocorridos no Brasil, são citados pelo Departamento de Defesa Civil do Estado de Santa Catarina DDCSC (2002), justificando as preocupações do assunto pelo governo estadual:

“PÓ DA CHINA” - ocorrido no Rio de Janeiro/RJ – em um depósito - uma partida de “Pó da China” (quimicamente Pentaclorofenato de Sódio), chegou ao Brasil em embalagens muito avariadas. A transferência do produto para novos vasilhames, foi realizada por vários homens vestidos apenas com calções, sem máscaras, luvas, óculos etc, e num dia de 40°C de calor. A "poeira" do “Pó da China” foi INALADA para os pulmões, enquanto que os corpos cobertos de suor, absorveram “Pó da China” pela pele. Resultado: três operários mortos por intoxicação.

GASOLINA e ÁLCOOL - acontecido no Município de Pojuca / BA - um trem descarrilou, tombando vários vagões com Gasolina e Álcool. A população residente nas imediações aproveitou para encher baldes e latas com combustíveis derramado, para venda a terceiros, até que de repente, uma faísca incendiou os combustíveis vazados e os vagões carregados, enfim, toda a composição ferroviária. Resultado: mais de cem mortos, especialmente, crianças.

VAZAMENTO EM DUTO ocorrido na Vila Socó, Município de Cubatão / SP - nesta área a Petrobrás enterrou uma rede de dutos para deslocamento de sua gasolina, diesel, etc. Sobre os dutos, a população de Vila Socó construiu uma favela. Certa noite, um dos dutos vazou e o combustível derramado pegou fogo, talvez em contato com algum fogão doméstico aceso, um grande incêndio que lavrou a morte de mais de 500 pessoas.

SHOPPING CENTER de OSASCO – Osasco / SP - a instalação fixa subterrânea destinada a conduzir o GLP (gás de cozinha) para diferentes pontos do prédio vazou e, de repente, o gás acumulado, numa parte inferior da construção, explodiu - certamente em contato com chama ou faísca - provocando destruição parcial do shopping e morte de mais de 40 pessoas, além de inúmeros feridos.

No Estado de Santa Catarina, os objetivos do programa do Departamento de Defesa Civil DDCSC (2002), são:

- Prevenir acidentes de cargas com produtos perigosos;
- Reduzir o risco de acidentes de tráfego rodoviário nas áreas dos mananciais;
- Minimizar as conseqüências, provenientes de sinistros de cargas com produtos perigosos;
- Adotar ações e medidas mitigadoras eficientes, em função dos eventuais acidentes que venham ocorrer;
- Disciplinar ações padronizadas de emergências, que colaborem para reduzir os prejuízos decorrentes de cargas com produtos perigosos;
- Envolver os órgãos competentes, que por sua elevada especialização desenvolvem ações eficientes de prevenção, controle, monitoramento e treinamento quanto a acidentes de cargas com produtos perigosos.

Órgãos que participam do programa: Defesa Civil, Secretaria dos Transportes e Obras, Secretaria da Fazenda, Polícia Militar, Polícia Rodoviária Federal, Polícia Rodoviária Estadual, Polícia de Proteção Ambiental, Corpo de Bombeiros, Vigilância Sanitária, DER, FATMA, INMETRO e Comitê Catarinense de Controle de Qualidade dos Combustíveis.

Conforme UDESC (1996), segundo pesquisa realizada em 1990, coordenada pelo CETREM / SUL - UDESC - FATMA, através de aplicação de questionários aos motoristas de veículos especializados no transporte de produtos perigosos, comprovou-se que 1.500 veículos por dia, em média, cruzam as principais rodovias da Região Sul. Somente em Santa Catarina, foram registrados 19 acidentes por ano de grande porte, que exigiram resposta sistêmica dos órgãos emergenciais, com uma complexa atividade de coordenação.

Segundo UDESC (1996), nos estados da Região Sul, os acidentes envolvendo produtos químicos podem ocorrer em qualquer fase de sua utilização, mas não há dúvida que as operações de transporte são as mais críticas, por agregar ao potencial natural de risco, outras variáveis importantes, tais como a exposição ao meio ambiente livre, a possibilidade de acidentes provocados por outros veículos, condições nem sempre ideais de transporte, bem como outras condições adversas, capazes de desencadear emergências a qualquer hora do dia e em qualquer ponto do deslocamento entre o local de despacho da carga e o seu destino final, com sérios impactos sobre o meio ambiente e a saúde das pessoas expostas.

Assim sendo, é entendida como prioritária a ação deste projeto nas atividades de transporte, sobretudo o rodoviário, estendendo-se numa segunda etapa para as outras fases do processo de uso de tais produtos.

Corroborando com tais informações, é argumentado que:

- ainda, são insipientes as informações disponíveis sobre o transporte e demais operações com produtos perigosos.

- por ocasião da plenitude do MERCOSUL, haverá o incremento no intercâmbio entre o Brasil e os demais países, por conseqüência, poderá ocorrer um aumento no número de acidentes com produtos químicos, considerando-se que a Região Sul é a principal interface com a região sul americana.

- a grande variedade de produtos e condições de transporte, exigirá um permanente acompanhamento para reduzir o risco de acidentes.

- há necessidade de pesquisas e estudos que gerem conhecimentos mais precisos sobre as condições de transporte, capazes de identificar problemas, difundir informações e servir de base técnica para o planejamento de ações pelos tomadores de decisão nos três Estados da Região Sul.

- há necessidade de uma revisão da literatura nacional atinente, bem como maior conhecimento da legislação e normas técnicas dos países envolvidos.

No Estado de Pernambuco, a Companhia Pernambucana do Meio Ambiente CPRH, (2002), é o órgão responsável pela realização da política ambiental do Estado. Para exercer a sua missão de forma eficaz e eficiente, fez uma parceria com organizações nacionais e internacionais, como é o caso do Projeto Controle Ambiental no Estado de Pernambuco – CPRH / GTZ, resultando num acordo de cooperação técnica firmado entre os governos do Brasil e da Alemanha e executado através da própria CPRH e da Sociedade Alemã de Cooperação Técnica -GTZ.

O Projeto CPRH / GTZ foi planejado e desenvolvido, em etapas, no período de 1995-2002, para apoiar a CPRH, de forma que o órgão ambiental melhorasse o desempenho de suas atribuições em prol das condições ambientais do Estado de Pernambuco. A partir de uma avaliação geral da situação ambiental de Pernambuco e da capacidade de atuação da CPRH, bem como da GTZ, foi possível traçar as diretrizes para que o Projeto viesse a contribuir eficientemente nas ações da Companhia, com atividades realizadas, sobretudo, na Região Metropolitana do Recife, onde está concentrado o maior percentual populacional do Estado e o maior número de indústrias, fatores que, conseqüentemente, geram problemas ambientais.

Para promover ações que resultassem na melhoria das condições ambientais nas indústrias, fez-se necessário que a CPRH aprimorasse os seus instrumentos de controle ambiental, investindo no aperfeiçoamento do licenciamento e da fiscalização. Estas mudanças exigiram a reestruturação do órgão, para se tornar uma instituição mais ágil, moderna e eficiente no seu funcionamento. Com o objetivo, de atingir esta meta, foram identificados os pontos fundamentais de mudança na Companhia e definidas as seguintes áreas estratégicas para atuação do Projeto CPRH / GTZ:

- Aprimorar os mecanismos de fiscalização ambiental junto as indústrias. Com a elaboração de sofisticados Roteiros Complementares aos Manuais de Licenciamento e de Fiscalização, com medidas de controle por tipologias industriais, sendo inicialmente contempladas as tipologias papel e celulose, têxtil e galvanoplastia. Durante todo o processo, foi enfatizado que as medidas de controle deviam ser adotadas desde o início da produção, para impedir a geração de poluentes.

- A reutilização e a reciclagem foram adotadas na nova forma de produção. Outros instrumentos de controle foram otimizados, como o automonitoramento e o controle eco-toxicológico dos efluentes.

- A elaboração do Inventário de Resíduos Sólidos Industriais de Pernambuco e o Plano de Emergência para Transporte de Produtos Perigosos fazem parte dessa área estratégica de atuação do Projeto, melhorando o desempenho do corpo técnico da CPRH, nas análises ambientais, nas vistorias, na elaboração de pareceres e de propostas para soluções individuais e globais.

Em virtude da a relevância dos acidentes com produtos perigosos, no Estado, quando transportados, a Secretaria de Estado dos Transportes de São Paulo, SECTRANSP (2002) criou, em 28 de abril de 1999, a Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos, cujo objetivo é a prevenção e a redução dos acidentes com produtos perigosos nas rodovias Estaduais, Esta comissão é integrada por representantes do DER, empresas concessionárias de rodovias, Polícia Militar Rodoviária, Corpo de Bombeiros, CETESB, INMETRO, Defesa Civil, Sindicatos de Transportadores, Associações, e diversos órgãos representativos do segmento de segurança e de transportes.

## **2.2 Considerações do capítulo.**

Conclui-se pelo exposto que os acidentes com o transporte de produtos perigosos é um problema que preocupa o Estado e a sociedade, não só com o acidente em si, mas também as conseqüências que este acidente ocasiona, no caso de um derramamento ou vazamento, atingindo a população e o meio ambiente, isto se não considerarmos todos os custos com a perda do próprio produto, do meio de transporte, com a mobilização do socorro e a interdição de rotas.

Todos os autores e sociedade ratificam que antes de preocupar-se com o acidente em si é de fundamental importância ocupar-se com a prevenção, para que este não ocorra. Essa prevenção no entanto é passível de estudos mais elaborados, das falhas humanas, dos meios de manipulação e do transporte do produto perigoso em si.

Sistematicamente é enfatizada a necessidade de um forte esquema de planejamento e controle de ações preventivas, e que esse conjunto de ações tenha um gerenciamento eficiente e eficaz. Segundo Hartman (1997), sistemas de detecção e alarme fazem o papel dessas ações preventivas, em plantas fixas, o que é inviável nos meios de transporte de produtos via “containeres”.

## 3 METODOLOGIAS ATUALMENTE DISPONÍVEIS

### 3.1 Introdução

Neste capítulo, devido a constatação da necessidade de considerar múltiplos fatores na avaliação das metodologias para a seleção de rotas mais seguras, haverá quatro subdivisões; a **primeira** contendo conceitos e ferramentas que usualmente são empregadas no campo da segurança; a **segunda** parte será composta do estado da arte no que diz respeito às metodologias empregadas para a seleção de rotas mais seguras, e na **terceira** e última parte, será abordado o motivo pelo qual há uma necessidade de modificar-se a metodologia escolhida para ser aplicada no Brasil

### 3.2 Conceitos Gerais

A abrangência da área de segurança sendo ampla e estando presente em todos os segmentos da sociedade, nos profissionais e pessoas que estão envolvidas tem como consequência, experiências diferenciadas adquiridas ao longo do tempo. Essa diferenciação, torna a área de segurança, rica no conhecimento dos perigos e riscos em que cada comunidade esta potencialmente exposta. Essa diversidade de experiências, gera procedimentos específicos e necessários a cada situação em si, tendo também como consequência a denominação de termos próprios, o que a este trabalho, no intuito de torná-los cognoscíveis.

Real e Braga (2000), em seu artigo expõem que alguns conceitos como os de:

**perigo** (*danger*, ou *peril*), **fonte de perigo** (*hazard*), **incerteza e probabilidade**, são utilizados com sentidos semelhantes e muitas vezes confundidos com os de riscos.

Desse modo, é conveniente destacar alguns destes conceitos para consolidar a questão.

**Risco**, conforme a National Academy of Sciences – NAS (1996), é “um conceito utilizado para dar significado às coisas, forças ou circunstâncias que apresentam perigo para as pessoas ou para aquilo que elas valorizam”. Ainda, de acordo com a NAS, ao se descrever um risco deve-se indicar as probabilidades de ocorrência danos ou de perdas, associadas a uma determinada fonte de perigo. Fonte de **perigo**.(*hazard*) “é algo que pode , provocar danos, ou que pode expor alguém ao perigo” de acordo com definição estabelecida no Oxford (1995), ou ainda, segundo Rejda (1995), uma condição que gera ou aumenta a possibilidade de riscos. Já o conceito de **perigo**, conforme Gratt (1987), expressa uma exposição relativa a uma fonte de perigo.

Pode-se considerar que se uma fonte de **perigo** é algo que pode provocar danos, e se os perigos são os vários tipos de danos que podem por ela ser provocados, então os riscos seriam formas de avaliação quantitativas e qualitativas, das possibilidades de uma fonte de perigo provocar danos.

Segundo Merkhofer (1987), a forma de se estabelecer um risco envolve três condições básicas: **fontes de perigo, o processo de exposição e os efeitos adversos**. Pelo exposto o transporte rodoviário de produtos perigosos conjuga várias delas, pois além das características de sua carga, ela está inserida em um ambiente onde existem simultaneamente outras fontes de perigo, tais como, estado da rodovia, estado de conservação do veículo, sinalização deficiente e etc.

Rhyne (1994), conceitua os termos **perigo e risco**, como sendo sinônimos no uso diário, mas que na realidade são bastante diferentes em uma linguagem técnica, assim ter-se-ia:

- **Perigo** é inerente as características de um produto, condição ou atividade que tem o potencial de causar dano a população, à propriedade ou ao meio ambiente. Um tanque pressurizado que contém ar, tem o potencial de causar danos à população se os fragmentos atingi-la, em caso de rompimento, com fragmentação deste tanque. Um tanque, não pressurizado cheio de produto tóxico, tem o potencial de causar danos em razão da quantidade que pode vaziar.

- **Risco** é a combinação da **probabilidade** e da **conseqüência** de um perigo em situação específica. O risco usualmente, é definido como a *Freqüência x Conseqüências*. Quando a freqüência (ou probabilidade) é multiplicada pelas conseqüências, um acidente que é esperado para causar uma fatalidade e ocorre 10 vezes em um ano tem, o mesmo risco matemático de um acidente que é esperado e cause 1000 fatalidades e ocorra a cada 100 anos. Como pode ser notado uma grande parte da informação é perdida, quando o risco é expresso pelo produto da freqüência e conseqüência.

- A **Análise Quantitativa de Risco**, (QRA) incorpora a estimativa numérica de freqüência e conseqüências de uma forma sofisticada, porém aproximada. Na prática, poucas decisões requerem iguais níveis de sofisticação de ambos os componentes, freqüência e conseqüência. Os procedimentos de análise quantitativa de riscos, aplicados em um processo industrial (em uma planta fixa), basicamente são os mesmos os aplicados na atividade de transporte.

- **Probabilidade**, pode ser expressa como freqüência. Ela é um valor numérico que se situa entre zero e um, e expressa o grau de certeza da possibilidade da ocorrência do evento. Nos casos de acidentes com produtos perigosos, esta probabilidade é condicional a eventos que previamente tenham ocorrido e precedam imediatamente ao evento que está sendo avaliado.

- **Freqüência**, é a taxa na qual os eventos ocorrem e pode ser expressa com eventos por ano, acidentes por milha, etc. A freqüência como componente do risco, usualmente consiste na freqüência multiplicada por diferentes termos de probabilidades condicionais.

- **Conseqüência**, é o efeito direto, usualmente não desejado, resultante de um acidente ou incidente. As conseqüências usualmente são medidas pelos efeitos causados a saúde humana, podendo, entretanto serem expressas como, custos da perda de propriedade

ou o valor do material, que vazou em razão do acidente.

- **Avaliação de risco e análise de risco**, usualmente são utilizados de forma intercambiável. Rhyne (1994), adota como análise de risco a computação dos riscos e a avaliação de risco, como a determinação da aceitabilidade de um risco, através da comparação de resultados de outros riscos.

- **Gerenciamento de riscos**, é definido como a ação tomada para a redução ou eliminação de riscos.

- **Evento inicial**, é o primeiro na seqüência de eventos que podem levar a uma consequência não desejável. Um exemplo, é a falha das funções do sistema de freios de um caminhão, a que foi destinado.

- **Um acidente relatável**, é aquele que tem suficiente severidade para ser informado às autoridades competentes. Um acidente relatável não necessariamente envolve vazamento de um produto perigoso no transporte, Rhyne (1994). Conforme o dicionário da língua portuguesa seu autor Houaiss (2002), define como acidente um acontecimento casual, fortuito, imprevisível, o que se acresce ao principal

Rhyne (1994), cita que o DOT define um **incidente**, como um vazamento durante o processo de carga e descarga quando o veículo está a serviço de transporte ou quando esta armazenando o produto perigoso. Assim, um incidente, pode não estar relacionado a um acidente, também podendo resultar de um acidente. Um acidente, pode ou não resultar em um incidente. Para Houaiss (2002), incidente é algo que sobrevém, que ocorre, que incide, surgido de um fato.

Pode-se constatar, que as definições de cada termo, conforme foi inicialmente abordado, dependem do meio em que se implementa a segurança. Dando continuidade as diversas formas de enfoque das definições a serem utilizadas neste trabalho, Torreira (1997), escreve sobre segurança: “O povo aplica seus conhecimentos, fazendo seu mundo particular tecnologicamente seguro, constituindo estes conceitos ferramentas que são empregadas no campo da segurança.”

Na prática, as pessoas envolvidas com a área de segurança, desenvolvem a cada

momento conceitos de compreensão, às vezes complexos, às vezes confusos, com o intuito de solucionar os problemas imediatos e relativos ao perigo.

Alguns conceitos, são aprimorados e têm sido incorporados ao vocabulário da segurança profissional. Destes, alguns conceitos ajudaram, conforme apreciação particular de alguns profissionais, para outros foram caracterizados como prejudiciais.

Os estudos na área segurança, devem considerar todos estes conceitos, (errados confusos ou não) podendo complementá-los, extraindo proposições mais adequadas ao contexto tecnológicos tomando os mais apropriados, na solução de problemas relativos a segurança, Torreira (1997).

Como ponto de partida, é importante conceituar a importância da segurança de uma forma geral, sendo este conceito fundamental para a utilização de termos e procedimentos.

Existem, obviamente, grandes motivos para pensar em segurança, pois a sociedade consagra elevado valor ao bem estar e a vida humana. Este fato proporciona a primeira e fundamental razão para a segurança: *humanitarismo*.

Os padrões do que é certo e errado para a maioria da sociedade é subjetivo e segue os valores pessoais. Este subjetivismo na sociedade é minimizado pela criação de leis que formalizam procedimentos, tornando-o a segunda razão para a segurança. Os padrões sociais demonstram que a vida e a capacidade de viver constituem um mérito ou um direito. A propriedade, também é um direito e como parte de um sistema econômico, a todo instante a sociedade determina o valor da sua propriedade, da sua capacidade humana e da sua própria vida.

O terceiro motivo ou razão quanto à segurança, está constituído pelo custo. O custo mede-se em despesas reais, evitando-o; na perda da capacidade de trabalho ou ainda da sua propriedade. Cada uma destas três razões: humanitarismo, leis e custos merecem um

tratamento diferenciado.

É importante reconhecer a ampla gama de padrões que a sociedade necessita e espera, para obedecer, possuir e naturalmente segui-los conscientemente.

Segundo Torreira (1997), sobre definições de Acidentes, Danos, e Perdas; Definição de Acidente – “*Acontecimento casual, fortuito, imprevisto*” Acontecimento casual ou não, e que resulta ferimento, dano, estrago, prejuízo, avaria, ruína, etc. O próprio acontecimento constitui o elemento chave desta definição, termo acidente evoca considerações acerca de conseqüências indesejáveis. O termo sugere a maior parte das pessoas, uma sincronicidade entre o evento e efeito, tendo por conseqüência o raciocínio de que um acidente é evento rápido e de curta duração. Algumas definições e idéias associadas ao termo acidente, criam problemas para os campos da segurança e saúde.

Para Torreira (1997), pode-se determinar três das principais dificuldades:

- A idéia da ocorrência devido a probabilidade.
- A relação entre o acidente, eventos e conseqüências.
- Duração dos eventos.

Em segurança, caracteriza-se um acidente a uma ou mais causas identificáveis.

- Atos inseguros
- Condições inseguras

Os acidentes podem incluir uma ou as duas causas. O reconhecimento destas duas características, tem como conseqüência a prevenção. Considerar que existe uma correlação entre evento acidental e conseqüências, podem levar a cometer um erro. Às vezes poderá ser admitido que um acidente inclui condições adversas.

O relato de uma ocorrência sobre um acidente havido, tem usualmente com primeiro questionamento “todos estão bem?”. Isto define, o quanto a palavra acidente está relacionada a existência de danos (conseqüências). Esta correlação, não necessariamente esta sempre correta, pois alguns acidentes não incluem dano ou perda significativa.

Uma outra relação: tipo de acidente-conseqüência, pode conduzir ao erro denominado de “imediatismo”. Nem sempre os “resultados” do acidente aparecem imediatamente logo após o evento. Em segurança e saúde, deve-se considerar doenças e problemas posteriores. Pelo exposto, pode-se determinar a existência de um período de demora ou estado de latência, entre o evento e a manifestação. Por exemplo, os sintomas de queimadura podem acusar maior intensidade, decorrido maior tempo. Alguns tipos de câncer têm um período de latência de 20 a 40 dias após o agente causante. A idéia de efeito imediato, implica no fato de que no termo acidente torna-se difícil incluir em sua conotação doenças e distúrbios manifestados a longo prazo em decorrência do acidente. O evento acidente, usualmente é considerado de curta duração, quando na realidade os seus efeitos, sejam eles no ser humano, meio ambiente ou propriedade podem ocorrer em períodos de horas, dias, semanas ou até anos.

Pelo exposto e sem modificar o termo expresso no dicionário e mas complementando-o, Torreira (1997) define; “Acidente é um evento incompreensível, não planejado, de seqüência simples ou múltipla, causado por atos ou condições inseguras ou ambos, e que podem resultar em efeitos imediatos ou delongados.”

As perdas conseqüentes dos acidentes são constituídas de vários tipos: doenças, moléstias, hospitalização, reabilitação ou morte, danos à propriedade, equipamento, materiais, meio ambiente, custos de substituição, perda de tempo, produção, vendas, viagens, elaboração de relatórios, investigações, limpeza, serviços legais, e recuperação da imagem pública.

Alguns termos também, devem ser definidos, dada a sua importância:

- **Segurança** :É o estado, no qual as pessoas, materiais, edifícios e outros elementos, encontram-se livres de dano, perigo, ou moléstia.

- **Risco** :É a medida das probabilidades e conseqüências de todos os perigos de uma atividade ou condição. Pode ser definido ainda, como a possibilidade de dano, prejuízo ou perda.

- **Perigo**: É a possibilidade ou probabilidade de uma determinada atividade, condição, circunstância ou mudança de condições, produzir efeitos perigosos, Torreira (1997).

Para o U.S. Department of Transportation Research and Special Programs Administration DOT (1998), o propósito do Programa de Transporte de Produtos Perigosos, inicialmente estabelecido através de estatuto em 1974, era e é, o de identificar e gerenciar os riscos presentes nas atividades de transporte de produtos perigosos. Sendo a segurança de suprema importância para o DOT, este busca envolver o público, a indústria, e outras partes interessadas na determinação de níveis de riscos aceitáveis , e comparáveis a com outros riscos que fazem parte de uma sociedade moderna. O DOT estabelece regras definidas para o gerenciamento de riscos associados ao transporte de produtos perigosos identificando: os riscos em potencial , a probabilidade de ocorrência de acidentes e as conseqüências deste acidentes. Decorrente destas ações ele define;

- **Perigo**, é inerente as características de um produto, condição, ou atividade que tem o potencial de causar dano a população, a propriedade ou ao meio ambiente.

- **Risco**, é a combinação da probabilidade e da conseqüência de um específico perigo ter sido concretizado.

- **Probabilidade**, é expressa como uma freqüência ou uma probabilidade. Freqüência é a medida de uma taxa na qual eventos ocorrem durante um período de tempo (e.g., eventos/ano, acidentes/ano, mortes/ano, etc.). Probabilidade é uma medida da taxa de um possível evento expresso como uma fração do total número de eventos (e.g., um em um milhão , 1/1 000 000, ou  $1 * 10^{-3}$ ).

- **Conseqüência**, é o efeito direto de um evento, acidente ou incidente. Ela e expressa com um efeito à saúde humana (e.g., morte, dano, exposição), perda de

propriedade, efeitos ao meio ambiente, evacuação, ou quantidade de produto vazado (liberado).

- **Análise do perigo**, é a identificação; das propriedades do produto perigoso e elementos do sistema ou eventos que levam a um dano ou perda. O termo análise do perigo pode também incluir avaliação das conseqüências provenientes de um evento ou acidente.

- **Análise de risco**, é o estudo do risco para entendê-lo e quantificá-lo, podendo então gerenciá-lo.

- **Avaliação ou caracterização do risco**, é a determinação do contexto do risco e aceitabilidade, freqüentemente através da comparação de riscos similares.

- **Análise quantitativa do risco (QRA)**, incorpora valores numéricos estimados da freqüência /probabilidade e conseqüência. Na prática, uma análise sofisticada de risco, requer uma grande quantidade de dados, os quais, são custosos na sua aquisição ou freqüentemente são impossíveis de obtê-los, sendo poucas as decisões que exigem uma quantificação sofisticada de freqüência e conseqüências.

- **Análise relativa de risco**, é a forma que um risco é avaliado em relação ao outro risco. Este tipo de análise é a mais utilizada em razão; dos dados disponíveis, da exposição, da freqüência e da severidade do potencial de perda.

- **Gerenciamento de risco**, é a aplicação sistemática de políticas, práticas e recursos para avaliar, controlar o risco efetivo à saúde humana e a segurança. A análise do perigo, risco, e custo/benefício, são usados como suporte para desenvolver opções de redução do risco, programas objetivos e priorização de conteúdos e recursos. Uma regra crítica da área de segurança, é identificar as atividades que envolvam riscos significativos e o estabelecimento de um nível aceitável destes riscos. Um nível de risco perto do zero pode ser muito custoso na maioria dos casos e inviável de se obter.

- Um nível aceitável de risco para as normas de segurança e exceções a estas, é estabelecido através da consideração do risco, custo/benefício e opinião pública.

A análise relativa ou comparativa de risco, é mais freqüentemente usada onde a análise quantitativa não é prática ou justificada. A participação do público é importante no processo da análise de risco, não somente para uma melhor compreensão da população envolvida ao risco associado ao transporte do produto perigoso, mas também para assegurar

que o ponto de vista, esta população, esteja incluído no processo de análise. A análise do risco e custo/benefício, são ferramentas importantes para informação do público sobre o risco a que está sujeito. Através de um processo público, o RSPA estabelece uma classificação de riscos, meios de informe sobre riscos, formas de acondicionamento de produtos perigosos e normas operacionais de controle de riscos, DOT (1998).

As ferramentas que são empregadas na segurança do transporte de produtos perigosos são aquelas que ajudam a gerenciar riscos ou eliminá-los. Em geral essas ferramentas saíram das áreas de produção, dos centros de controle de qualidade e dos pólos administrativos e foram sendo adaptadas para cada caso em particular.

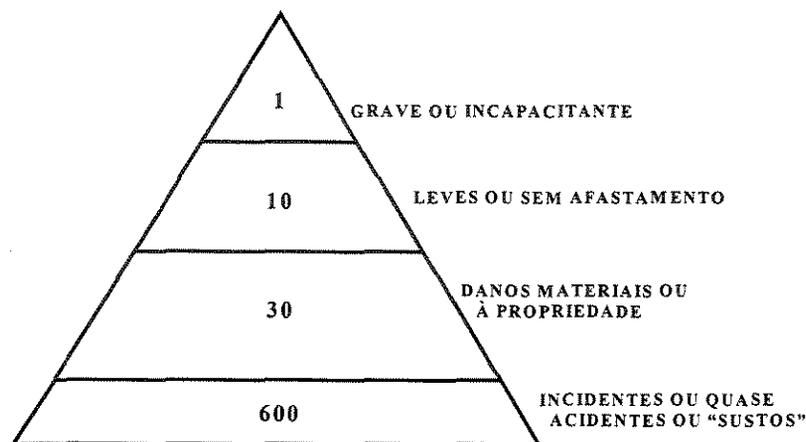
Formas de avaliação estatísticas, árvores de falhas, árvores eventos, métodos de causa e efeitos, FEMEA e etc são utilizados para uma análise quantitativa e qualitativa do risco. Estas ferramentas serão descritas com detalhes no Anexo 1 deste trabalho.

O foco principal da análise, é que vai determinar os métodos mais convenientes e possíveis a serem aplicados, assim como a disponibilidade de dados sobre o que se quer avaliar.

---

O desenvolvimento da aplicação de vários métodos, pode-se dizer que começou de uma forma organizada, com Frank Bird Jr e John Fletcher, que realizaram estudos na *Insurance Company of North America*, envolvendo cerca de 1 750 000 casos de acidentes registrados em 297 empresas norte americanas, culminando com o plano *Total Loss Control*, hoje aplicado nas empresas com o nome de Prevenção Total de Perdas, que é baseado na teoria de controle de danos. A partir de 90 000 acidentes ocorridos durante um período de sete anos, obteve-se a seguinte proporção:

Para cada 600 situações potenciais de acidentes (incidentes ou “sustos”), um tornou-se grave ou fatal, dez provoca lesões graves e trinta atingiram a propriedade ou patrimônio das empresas, sem lesões ao ser humano, Lopes e Paulo (2001). Tal representação, pode ser vista na Figura 1 – Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.



**Figura 1 – Triângulo estatístico de Bird e Fletcher.**  
**Fonte: Lopes e Paulo (2001)**

Existe uma importante correlação, entre a frequência de acidentes com danos e os custos diretos. Um conceito a respeito deste tema, estabelece que os custos são desigualmente distribuídos para cada acidente do mesmo tipo. Verifica-se que, itens significantes para um determinado grupo de acidentes, são considerados pequenos com relação ao total. Torreira (1997).

Disto deduz-se que, em todos os casos deve ser dada a importância devida a cada tipo de acidente, quantificando e qualificando-o corretamente, Torreira (1997).

Dentre as ferramentas citadas para avaliação do risco surgem teorias de como o acidente ocorre, porém é de opinião unânime que a melhor situação é que o acidente não ocorra, ou seja, que haja uma posição preventiva. O custo, da não ocorrência de um acidente, é muito menor do que o custo das consequências do mesmo.

De um modo geral, há um conceito aceito de que um acidente pode sempre ser evitado, pois o mesmo é precedido sempre de *atos* ou *condições inseguras*, Paulo e Lopes (2001).

Dependo da teoria em que se baseia a análise de um risco as “ferramentas” são

utilizadas para quantificá-lo ou qualificá-lo.

Uma das analogias mais feitas, para demonstrar uma situação de acidente e que pode ser transposta é da seqüência de cinco pedras de dominó, onde cada pedra é disposta verticalmente, a uma distância menor que sua própria altura, cada pedra representa uma ação ou conseqüência. Havendo a queda de uma pedra, essa derrubará a subseqüente representando uma seqüência de eventos, daí estudando-se as causas e conseqüências de cada elemento que gerou o acidente.

Outras teorias manifestam, que acidentes e danos são devidos a transferência de energia entre dois corpos, como por exemplo uma expansão (violenta) de um gás, gerando uma explosão.

A teoria da energia sugere, que a quantidade de energia, assim com os meios e as taxas de transferência, encontram-se relacionadas ao tipo e gravidade dos danos.

Às vezes, esta teoria é denominada de teoria de vazamento da energia, porque a taxa de vazamento constitui um componente importante. Essa teoria pode ser válida ou atrativa quanto à sua aplicação a um nível razoável de profissionais, onde possibilita sugestões e idéias para o controle de condições inseguras.

Segundo Torreira (1997) algumas pessoas, particularmente treinadas na prevenção e investigação de acidentes, podem ter a idéia de que exista uma causa única para um acidente. A teoria do fator único estabelece, que quando a causa é determinada, não há necessidade de maiores aprofundamentos. Existe uma outra teoria para acidentes, que estabelece que estes acidentes são causados por vários fatores atuando conjuntamente. Nesta teoria os fatores se combinam de forma casual ou não, causando acidentes.

Outro modelo também aceito, é denominado dos quatro pontos ou quatro letras: ***Homem, Máquina, Meio e Estrutura Organizacional.***

O ***Homem***, refere-se a pessoas. ***Máquina***, refere-se a qualquer equipamento ou

veículo. *Meio*, inclui elementos tais como instalações, pistas, calçadas, vias de trânsito e clima. *Estrutura Organizacional ou administração*, é o contexto no qual, os três anteriores existem e operam.

### 3.3 – Estado da arte das metodologias para a seleção de rotas mais seguras.

As metodologias de análise de riscos, em particular, utilizadas na seleção de rotas mais seguras são baseadas na investigação de riscos, proveniente da área financeira da equação (1) ou seja:

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de Acidente} \times \text{Conseqüências}) \quad (1)$$

Existem varias ferramentas para análises quantitativas e qualitativas de riscos em geral, que serão referenciadas com maior detalhe no Anexo 1 deste trabalho. Porém, especificamente para a avaliação de rotas de menor risco no transporte de produtos, destacam-se os autores mais recentes: Rhyne (1994), Harwood et al (1990), Scalon (1985), Pijawka (1985).

Pijawka (1985), além de sugerir um modelo de gerenciamento de riscos (ou a mitigação destes), considera que o risco, é resultante do produto da vulnerabilidade e do acondicionamento do produto perigoso transportado. Através da utilização de distâncias para evacuação em casos de derramamento de produtos químicos, um fator de risco (para população) foi definido como, o produto da probabilidade de acidente com materiais perigosos vezes a número de pessoas a este produto. A pontuação para uma rota individual reflete a interação de quatro variáveis:

- (a) o número de eventos perigosos que tem ocorrido na rota.
- (b) a probabilidade de acidente com produtos perigosos.
- (c) a população exposta ao risco e o potencial de perigo relativo, composto do potencial da severidade do acidente.

(d) volume de materiais perigosos por classe.

Segundo o artigo publicado por Pijawka (1985), o aumento da consciência de acidentes com materiais perigosos, o potencial de conseqüências catastróficas e atividades de planejamento do transporte deste tipo de carga tem liderado formas de atenuar o risco. O fator vulnerabilidade foi apresentado como a interação do risco propriamente dito com os fatores de planejamento. A redução da vulnerabilidade implica no aumento e expansão em planejamento e uma redução do risco.

Duas aproximações foram empregadas -- o método do risco da população e uma composição ponderando o PHR *Potential Hazard Rating* – que é composto de dois fatores de risco: volume de material perigoso transportado através de classes e distância de evacuação que recebe uma classificação vinculada ao tipo de produto perigoso. Comparações dos resultados, entre as duas aproximações revelam algumas diferenças embora elas não sejam significantes, pontuando valores para cada rota onde foi aplicada a metodologia.

A “medida” do risco proposta por Pijawka (1985) inclui em sua formulação:

- a) probabilidade de um acidente ocorrer.
- b) probabilidade de um rompimento no tanque que transporta o produto perigoso e as conseqüências de um vazamento ao meio ambiente.
- c) as conseqüências de um vazamento em termos da população exposta ao risco.

A estimativa (c) é a mais difícil de se quantificar. O domínio sobre a avaliação das conseqüências requer estimar a extensão e as características da população exposta ao risco e incorpora:

- (a) o tipo de produto perigoso em trânsito (classe de risco) e as propriedades deste (toxicidade, natureza dos efeitos a vida humana, impactos ambientais).
- (b) população exposta ao risco (evacuação / distância por tipo de produto químico, densidade populacional).
- (c) fatores geográficos locais predominantes.

Considera-se ser muito difícil obter dados sobre os seguintes aspectos: quantidades de produtos perigosos em trânsito, pessoas envolvidas na manipulação (embarque desembarque, armazenamento etc) destes produtos, número e severidade dos acidentes que diretamente envolvem produtos perigosos, os riscos e custos subseqüentes a sociedade.

Scalon (1985), em seu artigo escreve, que as metodologias para avaliação de riscos tendem ser mais relativas do que formulações absolutas utilizadas por autoridades locais. As diferenças entre estas formulações são debatidas, contudo elas são impraticáveis, um modelo de avaliação de risco absoluto e seguro. O modelo sugerido, a ser aplicado a uma situação real, deve ter a capacidade de determinar a segurança global de um cenário que um acidente pode ocorrer do que a de um simples risco de acidente. Através da do modo de transporte de uma rodovia, um modelo é desenvolvido sendo estabelecido um índice de avaliação de segurança a comunidade. Este índice é composto: do índice do estado “**estar preparado**” da população e **índice de risco da comunidade**. O argumento para a utilização deste índice composto é que as técnicas de avaliação não distinguem os dois principais meios de medição da segurança existente (da falta de preparação e do risco), não distinguindo também, as variáveis controladas e as não controladas pela comunidade.

Conforme Scalon (1985), o risco pode ser estimado quantitativamente se a ele for possível associar valores quantitativos, em termos de probabilidades de ocorrência e conseqüências. A probabilidade de eventos improváveis pode ser estimada em um número de formas. Em alguns casos, o evento é resultante de uma combinação de outros eventos que ocorrem com maior freqüência; desta forma o evento em estudo pode ser estimado estatisticamente através de probabilidades combinadas de sub-eventos que contribuíram para a ocorrência do evento considerado como principal. Em outros casos técnicas de extrapolação permite a estimação de probabilidades de “não eventos”, com base em eventos previamente tomados como experimentos.

Define ainda Scalon (1985), que a maioria das formulações de avaliação de risco, possui uma variedade relativa, expressa numericamente, através da qual, cada rota ou

mesmo os modos de transporte podem ser avaliados entre si. O resultado final, é indicar que a rota A é considerada melhor do que a rota B, ou de outra forma a rota A é mais segura que a rota B.

Risco absoluto, é uma medida direta do risco, é uma estimativa do número de pessoas que podem ser mortas ou sofrer danos e a quantidade de dinheiro que de fato envolve um dano ambiental. Embora, o cálculo do risco absoluto, seja o mais desejável entre os usuários acadêmicos, que possuem conhecimentos sobre Estatísticas ele também o mais difícil de se obter. O ideal é que a medida do risco tenda para um valor absoluto, contudo deve fornecer ao prático, também a sensação da condição de segurança na qual a comunidade se acha, em caso de um potencial exposição em face a um acidente com produtos perigosos.

Um índice de risco da comunidade (CR) e um índice de preparo da comunidade (CP) são desenvolvidos por Scalon (1985), utilizado-se dos conceitos citados.

O índice de risco da comunidade (CR) proposto, é composto de valores tabelados conforme a natureza do tráfego, nível de acidentes, características geográficas de rodovias, condições do pavimento, número de riscos existentes nas margens das rodovias, condições dos dispositivos de controle de tráfego, diversas proporções de veículos que trafegam transportando diversos produtos perigosos, condições de manutenção dos veículos, nível dos motoristas incluindo histórico de acidentes e treinamento. O índice de risco a comunidade CR exige para a sua determinação os valores: da densidade da população exposta, número de produtos perigosos, (fabricantes, consumidores, armazenadores), valores em dólares das propriedades a serem afetadas, número de estabelecimentos e entidades sensíveis que possam ser afetadas em caso de acidente (tais como escolas, igrejas, hospitais, etc). Ainda é necessário determinar, o índice de capacidade de resposta da comunidade em caso de emergência e o nível de obediência desta comunidade as ordens em caso de uma suposta evacuação por exemplo.

Como pode ser constatado, tais informações defrontam-se com a impossibilidade

de obtenção de respostas, devido a não viabilidade das condições em consegui-las, mesmo no Estado mais rico do Brasil.

Na metodologia proposta por Rhyne (1994), a formulação do cálculo de risco é a mesma proposta dada pelos outros autores citados, isto é, a da equação (1), entretanto para o cálculo da probabilidade de acidentes inclui as variáveis: as forças que atuaram no container, vinculadas a um tipo de acidente, as probabilidades das condições meteorológicas do trecho de rodovia em estudo, a área impactada e os efeitos à vida humana.

Rhyne (1994), analisa em seu artigo, a possibilidade da utilização de um indicador simplificado de riscos em comparação a um completo. O indicador simplificado de riscos assume, por exemplo, que em ambas as rodovias determinadas condições sejam as mesmas (tal como as mesmas condições probabilísticas meteorológicas).

Assim como para Scalon, e proposto por Rhyne, determinados tipos de dados não são disponíveis no Brasil inviabilizando a aplicação da sua metodologia para avaliação de rotas.

Esse trabalho considerou a aplicação da metodologia proposta por Harwood et al (1990), em razão de já ter sido aplicada por Ramos (1997), na disponibilidade de dados, e na possibilidade de uma melhora da mesma, com duas contribuições. Essas duas contribuições, refletem com maior precisão os riscos parciais de cada trecho em análise.

No capítulo 4 deste trabalho, há um detalhamento da metodologia proposta por Harwood et al (1990).

## 4 TÉCNICA ADOTADA PARA GERENCIAMENTO E AVALIAÇÃO DE RISCOS

### 4.1 Introdução

Os autores Pijawka (1985), Scalon (1985), Harwood et al. (1990) e Rhyne (1994), utilizando as técnicas de análise citadas, desenvolveram metodologias específicas, destinadas a análise de rotas para o transporte de produtos perigosos. Cada autor propõe a adoção de variáveis conforme o enfoque dado à análise, tendo como consequência um determinado resultado. Todas as metodologias propostas, têm um objetivo geral, o de analisar a rota de menor risco, através da Equação 1, entretanto o tratamento de cada metodologia é função direta dos tipos de dados disponíveis, assim como o público a ser atingido; comunidade, leigos, bombeiros, autoridades, legislação, empresas seguradoras e etc...

$$\text{Risco} = (\text{Probabilidade de Acidente}) * (\text{Consequência do Acidente}) \quad (1)$$

Cada uma das metodologias foi desenvolvida em locais diferentes dos EUA, espelhando as peculiaridades e realidades de cada local em específico, desta forma Ramos (1997), em seu trabalho, analisou-as e procurou adequar uma dessas metodologias às condições das estradas do seu Estado.

Para optar por uma das metodologias, Ramos (1997), considerou como fatores preponderantes, aquela que ponderasse o ser humano como principal elemento os dados necessários para os cálculos e os existentes no Brasil, que inviabilizou as demais metodologias.

Ramos (1997) acrescenta que, no trabalho de Harwood et al. (1990), há uma aproximação da realidade das estradas brasileiras, fator este, que decidiu a escolha da metodologia, como teste de validação da metodologia de Harwood et al (1990) para rodovias brasileiras, em seu trabalho calculou os riscos com valores padronizados dos EUA e com os valores corrigidos pelo teste estatístico Qui-Quadrado, concluindo que os resultados obtidos são muito próximos entre si e validos. Foi dessas premissas que este é iniciado.

Há de se observar, que toda metodologia de avaliação de riscos tem como propósito obter um resultado numérico relativo ao resultado da equação (1), sendo composta de diversas variáveis, sendo tais variáveis colhidas em função de dados disponíveis ou enfoque a ser dado ao risco calculado. O custo relativo a obtenção dos dados ,depende também, do que se deseja representar com o valor de risco obtido, assim se é tomada como parâmetro, por exemplo, a condição meteorológica (probabilística) de cada trecho, é muito provável que não se obtenha tal parâmetro para uma rota longa, por questões de custo. Com vistas a aplicação prática de uma metodologia, e a filosofia de prevenção de acidentes, este trabalho adotou como estratégia as seguintes etapas: (a) propor uma estrutura para gerenciamento de riscos – que propicie um investigação prévia do risco tentado eliminá-lo ou reduzi-lo, tendo como consequência uma otimização de recursos na obtenção de dados para a utilização de uma determinada metodologia, (b) adotar uma metodologia testada em território brasileiro, em particular no Estado de Santa Catarina, e que também houvesse a quantidade de dados necessários e suficientes para o cálculo do risco, (c) em razão de que a metodologia adota por Ramos (1997) utiliza uma variável, em seu cálculo, que contempla a zona de impacto ao longo da rota, como sendo constante, foi estudado a possibilidade de utilizar esta zona de impacto variável em função do produto transportado, o que melhora o resultado final obtido, (d) finalmente, percebeu-se, que a

probabilidade da ocorrência de um acidente com produto perigoso varia conforme a faixa etária do condutor, desta forma foi elaborado um estudo a respeito.

Pelo exposto, e na ordem acima citada as etapas são, detalhadas a seguir:

## **4.2 - Uma estrutura para o gerenciamento de riscos.**

Considerando que modernamente a gestão de uma empresa ou serviço, é uma gestão integrada em todos os níveis e áreas, da mesma forma os riscos inerentes ao transporte de produtos perigosos devem ser geridos no contexto desta gestão integrada.

O custo da obtenção da informação sobre o risco, às vezes torna inviável uma avaliação mais precisa, é desejável sendo que haja uma minimização ou a eliminação do risco, reduzindo este custo. É por isso, que se insiste muito em planejamento de ações, antes de qualquer avaliação de um risco.

A proposição da implantação de uma estrutura de gerenciamento de riscos aplicada ao transporte de produtos perigosos não é a remodelação de tudo que já está implantado e funcionando, tendo dispêndio de tempo e recursos. O objetivo é, que cada parte envolvida no transporte deste tipo de produto aproveite os recursos e métodos que dispõe otimizando-os.

A estrutura sugerida, neste trabalho, não foi baseada em um único modelo de gestão “**que deu certo**” ou em um único componente, mas sim composta de partes de modelos já existentes e que foram julgados como eficientes e aplicáveis genericamente, sem que com isto os valores fossem perdidos. A premissa básica de partida, teve na sua essência que a estrutura teria de ser facilmente entendida para todas as partes envolvidas expostas ao risco, amplamente aplicável a todos os produtos perigosos, ser flexível o suficiente para que pudesse ser adaptada a vários (desde órgãos governamentais e industriais dos diversos segmentos), ainda, aplicável a empresas de pequeno porte, com recursos limitados e também às empresas de grande porte, que já tivessem investido

pesadamente e praticado um gerenciamento, ICF (2000).

A filosofia básica da estrutura, é a *ação informada pela análise*. A análise de riscos, custos, benefícios, possibilidades técnicas, e outros itens é necessária para um efetivo gerenciamento do risco, particularmente dentro de um sistema complicado, como o transporte de produtos perigosos, mas a análise não deverá constituir-se em um fim por si mesma. A análise fornece informações necessárias a quem toma decisões e planeja, mas por si, não reduz o risco. Os riscos são reduzidos por ações, sendo essas ações tomadas a partir das informações geradas pelas análises, que é a verdadeira base para um efetivo gerenciamento de riscos. A análise deverá se dirigida pela necessidade da informação, subsidiar decisões, as quais, deverão ser acompanhadas de ações que serão apropriadas. O valor da informação a ser obtido pela análise, precisará ser explícito, e dirigido ao início da investigação, em razão da significância do estudo a ser empreendido.

Sete princípios elaborados com abrangência suficientes e abordados com detalhes no Anexo 2, devem envolver diferentes produtos, modos de transporte e as partes envolvidas com produtos perigosos compondo a filosofia adota. Estes sete princípios são:

- Comprometimento
- Cultura
- Parceria
- Priorização
- Ação
- Melhora Contínua
- Comunicação

A aplicação efetiva do gerenciamento de riscos poderá basear-se na estrutura proposta nos sete princípios acima, porém deverá ser por principio flexível o suficiente para adaptar-se as diversas situações, isto é não existe uma “receita” aplicável a todos os casos, motivo pelo qual este trabalho posicionou no Anexo 2 as diretrizes gerais da estrutura proposta.

### **4.3 Técnica adotada para avaliação de riscos.**

Como citado, os autores do artigo, Harwood et al. (1990), propõem um modelo revisado para a probabilidade de acidentes a partir das diretrizes de determinação de rotas para materiais perigosos, do Departamento de Transportes dos EUA (DOT). Tal metodologia ainda permite aplicar testes estatísticos baseados em distribuições de Poisson, em áreas de contraste, para determinar as taxas de acidentes baseadas nos dados de localidades específicas ou em valores, abrangendo todo o sistema.

As taxas de acidentes com caminhões disponíveis, são médias ponderadas, obtidas de uma grande malha rodoviária. A malha rodoviária teve seus arquivos de dados combinados de acidentes, rodovias, e dados sobre volume de tráfego. Estes dados incluem dados sobre a porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego. Taxas de acidentes para um tipo em específico de rodovia variam de local para local, em razão disto o DOT estimula que cada localidade desenvolva o seu próprio banco de dados tornando uma análise mais real e específico a cada segmento de rodovia.

- **Determinação de taxas de acidentes para caminhões**

O elemento chave para comparação de riscos para escolha de rotas de transporte de produtos perigosos é ter dados confiáveis sobre a taxa de acidentes com caminhões, para possibilitar a utilização do cálculo da probabilidade de um produto perigoso quando vazar. O efeito dos tipos de rodovia, área e taxas de acidentes com caminhões precisam ser considerados nos estudos. Por exemplo, rodovia com velocidade livre, geralmente esta tem menores taxas de acidentes do que outros tipos de rodovias com velocidades controladas, assim como vias urbanas têm maior incidência de acidentes, do que rodovias rurais. Essas diferenças entre rodovias e tipos de áreas, são bem relacionadas a taxa de acidentes relativas a todos os tipos de veículos, sendo que para caminhões esse mesmo estudo (relativos a taxas de acidentes) ficam restritos a um número limitado e a trechos de rodovias secundárias. Para melhorar as características das taxas de acidentes utilizadas como valores padrões (para transporte de Produtos Perigosos), devem ser considerados os efeitos dos tipos de rodovia e área de cada caso em estudo.

As análises das taxas de acidentes, requerem três tipos de dados: **geometria da rodovia, volume de tráfego, e registros de acidentes**. Para uma análise ser realizada eficientemente esses dados tem que estar disponíveis de uma forma computadorizada, utilizando parâmetros referenciais comuns tal como identificadores de posição na rodovia (postes de quilometragem), desse modo os três tipos de dados poderão ser inter-relacionados.

Arquivos sobre a geometria das rodovias foram necessários para definir as características de trechos de rodovias nos quais devido o volume do tráfego de caminhões e taxas de acidentes puderam então ser adicionados. Arquivos sobre a geometria de trechos numa rodovia da ordem de 0,35 milha ou menores, foram também incluídos na base de dados referenciado. Os dados extraídos dos arquivos relativos a geometria de uma rodovia (ou trecho desta) foram;

- Número de pistas
- Estrutura das pistas (dividida ou não dividida)
- Controle de acesso (uma mão ou duas mãos)
- Tipo de área (urbana ou rural)

Os arquivos sobre o volume de tráfego de caminhões, foram obtidos da **Média Anual Diária de Tráfego (AADT)**, com a média diária do volume de caminhões ou a porcentagem de caminhões no fluxo de tráfego. As características utilizadas, para classificar os acidentes foram: a **quantidade e tipo de veículos envolvidos, o tipo de colisão (de que forma)**, e a **severidade do acidente (sendo maior quando houver danos)**. As características sobre a rodovia e tráfego associadas com esses acidentes foram obtidas a partir dos dados relativos a geometria da rodovia (ou trecho) e volume de tráfego. Cada acidente envolvendo um veículo, foi tratado com uma observação separada (i.e. um acidente envolvendo dois caminhões foi contado como dois acidentes).

### **Processamento dos Dados**

O processamento dos dados foi conduzido em uma série de **cinco** passos como é mostrado na Figura 2.

O elemento chave no processamento foi a interconexão apropriada entre o volume de caminhões e dados de acidentes para um segmento individual obtidos de arquivos sobre a geometria da rodovia com a utilização de referenciais comuns de localização (postes de quilometragem). Cada passo da conexão de dados desses arquivos é descrito a seguir:

#### Passo 1

Os dados necessários para segmentos individuais da rodovia, foram obtidos de arquivos sobre a geometria da rodovia. A classe da rodovia, (tipo de rodovia e tipo de área) de cada segmento, foram determinadas a partir de dados disponíveis. As rodovias são classificadas como no Quadro 1.

#### **Quadro 1 - Classificação de rodovias**

Rural rodovia de duas faixas

Rural rodovia de multifaixas não divididas

Rural rodovia multifaixas divididas

Rural com velocidade livre

Urbana - ruas de duas faixas.

Urbana - ruas multifaixas não divididas

Urbana - ruas multifaixas divididas

Urbana - ruas de mão única

Urbana - ruas sem limite de velocidade

**Fonte: Harwood et al (1989)**

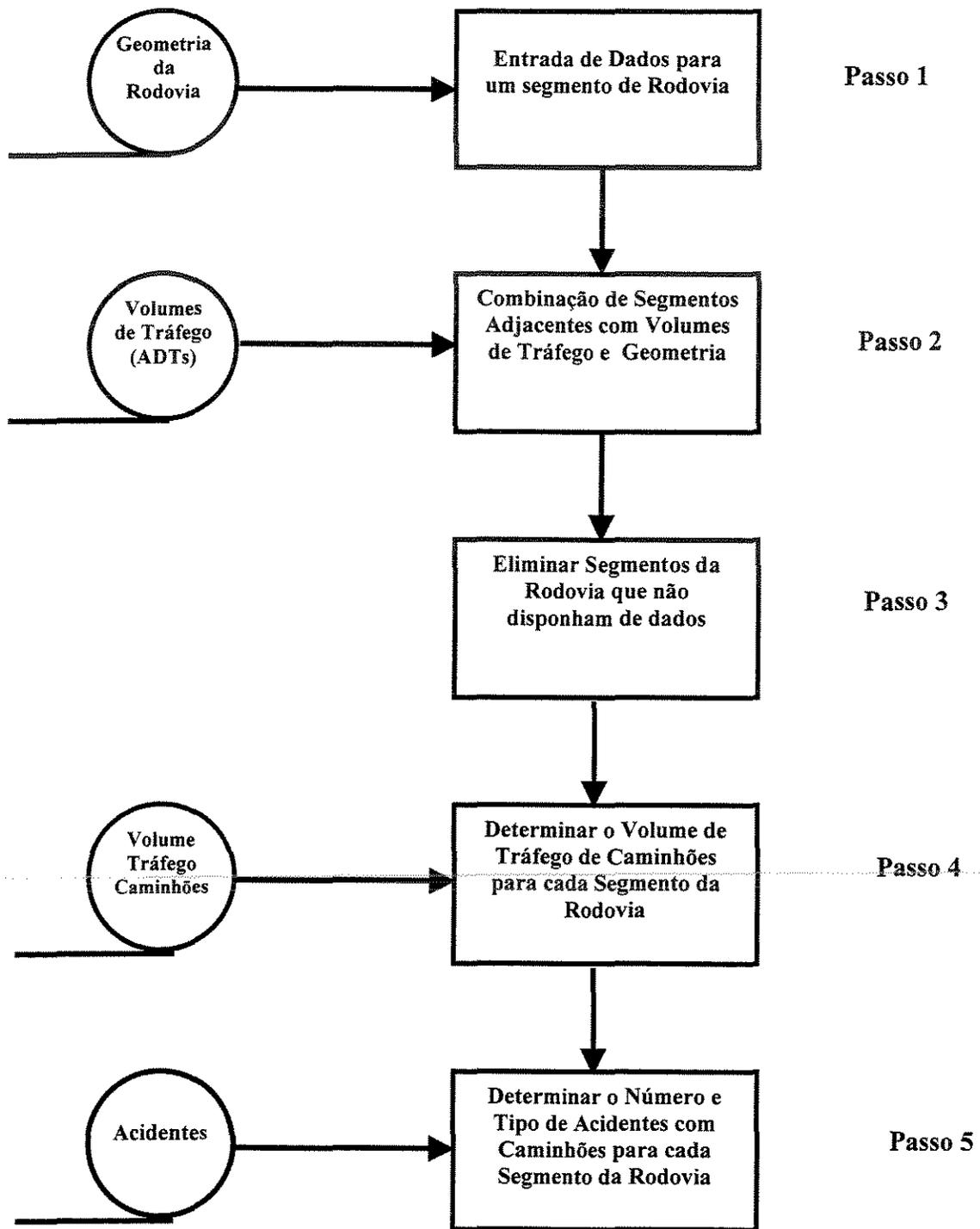


Figura 2 - Processo passo a passo para mesclar dados da geometria das rodovias, volumes de tráfego e dados sobre acidentes.

Fonte: Harwood et al. (1989).

### Passo 2

Segmentos individuais de rodovia que são relativamente curtos, foram combinados a segmentos extensos, isto é, se os segmentos adjacentes coincidem com a classe da rodovia e a média diária de volume de tráfego (ADT) esta entre 20% de uma outra. Quando os segmentos adjacentes de rodovia foram combinados, os volumes combinados (ADT) foram ponderados segundo a média pelo comprimento deste segmento conforme a Equação (2)

$$ADT_c = \frac{ADT_1 L_1 + ADT_2 L_2}{L_1 + L_2} \quad (2)$$

Onde :

$ADT_c$  = média diária do volume de trafego no segmento combinado

$ADT_i$  = média diária do volume de trafego no Segmento de Rota  $i$  ( $i = 1, 2$ )

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota  $i$  ( $i = 1, 2$ )

### Passo 3

Qualquer segmento de rodovia para o qual o volume de caminhões ou volume de acidentes, os dados não foram disponíveis ou que não se ajustem a uma classe de rodovia anteriormente descrita, foram eliminados desta análise. A base de dados usada para análise foi completa, e somente 0,2 % de segmentos de rodovia foram eliminados por falta de dados.

### Passo 4

Os volumes de caminhões para as seções combinadas, foram obtidos a partir dos arquivos de volume. O dado sobre o volume de caminhões, foi usado para o comprimento do segmento, para computar a quantidade anual de viagens dos caminhões, isto para cada segmento (veículo \* milha).

$$TVMT_i = TADT_i * L_i * 365 \quad i = 1,2 \quad (3)$$

Onde :

$TVMT_i$  = número de viagens (veículos \* milhas) por ano (via caminhões) no Segmento de Rota  $i$

$TADT_i$  = média diária do volume de trafego ( em veículos por dia) no Segmento de Rota  $i$

$L_i$  = comprimento em milhas do Segemento de Rota  $i$

### Passo 5

Dados sobre acidentes com caminhões, foram obtidos dos arquivos de acidentes. Cada acidente com caminhão envolvido, foi classificado por ano, severidade do acidente, e tipo do acidente. Um sistema de localização comum a todos, que conecta o acidente ao arquivo sobre a geometria da rodovia foi usado para determinar qual segmento incorria maior índice de acidentes por local, por ano, por nível de severidade e por tipo de acidente. O resultado do passo 5, foi um arquivo contendo o volume de caminhões e o histórico individual de cada segmento de rodovia, o que possibilitou determinar as taxas de acidentes e probabilidades de vazamento.

### Análise de Dados

A média da taxa de acidentes com caminhões para cada classe de rodovia, foi computada como a relação do total de acidentes com caminhões, pelo total de veículos \* milha (viagens) para cada classe de rodovia. A equação utilizada foi a Equação (7).

$$TAR_j = \sum_i \frac{A_{ij}}{VMT_{ij}} \quad (4)$$

Onde :

$TAR_j$  = taxa média de acidentes com caminhões para uma Rodovia Classe j

$A_{ij}$  = número de acidentes em um ano no Segmento de Rota i na Rodovia Classe j

$VMT_{ij}$  = viagens anuais em veículos \* milhas no Segmento de Rota i na Rodovia Classe j

Este procedimento foi aplicado para todos os arquivos do sistema de rodovia Estadual (Estados da Califórnia, Illinois, e Michigan), no que diz respeito a geometria da rodovia, volume de tráfego, e acidentes, os quais puderam ser referenciados pelos postes de sinalização de distância existentes nas rodovias. As Tabelas 2 e 3 apresentam as taxas de acidentes e a distribuição por tipo de acidente. Tabelas similares foram preparadas para as rodovias de Illinois e Michigan.

TABELA 2

Taxas de acidentes com caminhões nas rodovias do estado da Califórnia , 1985 a 1987 (3 anos)

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
Classe da Rodovia		Comprimento total (milhas)	Nº de seções	Média de caminhões (veículos / dia)	Nº de acidentes envolvendo caminhões	Viagens efetuadas (MVM)	Taxa de acidentes c/ caminhões (por MVM)
Tipo de Área Tipo de Rodovia							
Rural	Duas pistas	8 808,96	2 607	392	6 577	3 781,16	1,74
Rural	Multipistas não divididas	209,13	334	858	1 070	196,48	5,45
Rural	Multipistas divididas	726,85	450	1 839	1 801	1 463,66	1,23
Rural	Velocidade livre	2 068,20	405	4 791	5 759	10 850,08	0,53
<b>Rural</b>	<b>TOTAL</b>	<b>11 813,14</b>	<b>3 796</b>	<b>1 260</b>	<b>15 207</b>	<b>16 291,38</b>	<b>0,93</b>
Urbana	Duas pistas	513,49	648	748	1 778	420,58	4,23
Urbana	Multipistas não divididas	141,50	341	1 116	2 251	172,92	13,02
Urbana	Multipistas divididas	754,18	793	1 644	4 996	1 357,66	3,68
Urbana	Rua de mão única	22,26	47	1 387	223	33,81	6,60
Urbana	Velocidade livre	1 969,65	817	8 395	28 860	18 106,06	1,59
<b>Urbana</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3 401,08</b>	<b>2 646</b>	<b>2 658</b>	<b>38 108</b>	<b>20 091,02</b>	<b>1,90</b>
<b>TOTAL</b>		<b>15 214,22</b>	<b>6 442</b>	<b>2 388</b>	<b>53 315</b>	<b>36 382,40</b>	<b>1,47</b>

Fonte: Harwood et al (1990)

Tabela 3

Distribuição por tipo de acidentes com caminhões na malha rodoviária em estudo - (período de 3 anos)

Classe da Rodovia		Porcentagem de envolvimento em acidentes										
		Acidentes sem colisão c/ um único veículo			Acidentes com colisão c/ um único veículo				Acidentes com colisão com múltiplos veículos			
		Saída de estrada	Capotagem	Outros	Colisão c/ veículo estacionado	Colisão c/ trem	Colisão c/ não motorizados <sup>a</sup>	Colisão c/ objetos fixos	Outras Colisões	Colisão c/ carros de passageiros	Colisão c/ caminhões	Colisão c/ outros veículos
Tipo de Área	Tipo de Rodovia											
Rural	Duas pistas	4,5	6,6	4,4	2,4	0,0	0,6	7,0	5,7	29,8	26,6	12,4
Rural	Multipistas não divididas	3,6	7,5	3,9	4,3	0,0	0,4	7,5	5,7	27,4	26,1	13,7
Rural	Multipistas divididas	3,6	4,0	3,8	3,9	0,0	0,2	6,1	4,7	33,4	26,4	13,8
Rural	Velocidade livre	3,5	3,3	3,8	3,8	0,0	0,4	7,4	5,0	31,3	22,3	19,4
<b>Rural</b>	<b>TOTAL</b>	<b>3,9</b>	<b>5,1</b>	<b>4,1</b>	<b>3,2</b>	<b>0,0</b>	<b>0,5</b>	<b>7,1</b>	<b>5,3</b>	<b>30,6</b>	<b>24,9</b>	<b>15,3</b>
Urbana	Duas pistas	1,5	2,6	3,4	3,6	0,0	0,3	5,1	3,9	39,6	30,7	9,3
Urbana	Multipistas não divididas	0,2	0,6	2,6	8,5	0,0	0,8	5,1	4,0	41,3	30,1	6,9
Urbana	Multipistas divididas	0,8	1,3	2,4	7,0	0,0	0,6	5,7	3,8	43,7	28,1	6,6
Urbana	Rua de mão única	0,0	2,2	0,9	9,4	0,0	1,3	6,3	2,2	45,7	27,4	4,5
Urbana	Velocidade livre	0,6	1,0	1,3	1,9	0,0	0,2	3,2	1,7	50,6	25,6	13,9
<b>Urbana</b>	<b>TOTAL</b>	<b>0,6</b>	<b>1,1</b>	<b>1,6</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,3</b>	<b>3,8</b>	<b>2,2</b>	<b>48,6</b>	<b>26,4</b>	<b>12,3</b>
<b>TOTAL</b>		<b>1,6</b>	<b>2,3</b>	<b>2,3</b>	<b>3,1</b>	<b>0,0</b>	<b>0,4</b>	<b>4,7</b>	<b>3,1</b>	<b>43,4</b>	<b>26,0</b>	<b>13,1</b>

a - não motorizados incluem animais, pedestres, e bicicletas

Fonte : Harwood et al (1990)

A Tabela 4, apresenta a taxas médias de acidentes para cada classe de rodovia em cada Estado, sendo ponderada pela média de três Estados.

As taxas de acidentes da Tabela 4, são apropriadas para uso, como valores padrões para o estudo de roteamento de locais onde não houver dados disponíveis.

**Tabela 4**  
**Taxas de acidentes combinadas com caminhões**

Taxa de acidente de caminhões  
(acidente por milhão veículo milha)

(1)		(2)
Classe da Rodovia		Média
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	Ponderada
Rural	Duas pistas	2,19
Rural	Multipistas não divididas	4,49
Rural	Multipistas divididas	2,15
Rural	Velocidade livre	0,64
Urbana	Duas pistas	8,66
Urbana	Multipistas não divididas	13,92
Urbana	Multipistas divididas	12,47
Urbana	Rua de mão única	9,70
Urbana	Velocidade livre	2,18

(2)- ponderada veículo milha por viagem de caminhão  
Fonte : Harwood et al (1990)

Os dados da Tabela 3, claramente indicam o efeito de duas variáveis chaves para o roteamento, por tipo de rodovia e por tipo de área em relação aos acidentes com caminhões. Foi tentado determinar, uma relação entre os fatores de volume de tráfego (AADT e porcentagem de caminhões) e taxas de acidente, mas os resultados obtidos não foram consistentes. Considerações dos efeitos adicionais de variáveis geométricas (incluindo; largura das pistas, largura dos acostamentos, rampas, intersecções e saídas) sobre taxas de acidentes estavam além do escopo deste estudo , e incorporá-los no mesmo.

Nas tentativas anteriormente relatadas, para determinar o incremento de uma característica estatística sobre a taxa de acidentes, obtive-se um conjunto de resultados e

não um grupo de relações entre as variáveis geométricas e as taxas de acidentes amplamente aceitas.

- **Determinação de probabilidade de vazamento de produtos perigosos.**

A parte probabilística das diretrizes emitida pelo D.O.T., referente a roteamento de Produtos Perigosos, é baseada inteiramente na probabilidade de acidentes. Naturalmente um acidente envolvendo o transporte de Produtos Perigosos não possui em si um potencial de catastrófico de conseqüências, a menos que haja um vazamento. Assim a metodologia de avaliação do risco, implicitamente assume, que o vazamento dos Produtos Perigosos tenha igual probabilidade, vazar em todos os casos.

Um recente estudo do FHWA, mostrou que a probabilidade de um Produto Perigoso vazar dado um tipo de acidente, varia significativamente com o tipo de acidente.

A Tabela 5, gerada a partir de dados fornecidos pelo FWDA (relatórios de acidentes com veículos motorizados), mostra que as probabilidades de vazamento são altas, quando se trata de um acidente com um único veículo e que não tenha colisão ou quando acontecem colisões com trens. S probabilidades são baixas quando os acidentes ocorrem com colisões entre múltiplos de veículos .Além disso várias classes de rodovias têm padrões distintos de acidentes. Por exemplo, a porcentagem de acidentes envolvendo um único veículo sem colisão (no qual tenha uma alta probabilidade de ter havido um vazamento em conseqüência de um acidente), é cerca de duas vezes mais alta em rodovias rurais, do que em rodovias urbanas. Valores padronizados têm sido desenvolvidos pela Equação (2)

A Tabela 5, foi desenvolvida a partir de relatórios de acidentes do FDWA, para cada acidente onde haja um envolvimento de um caminhão, este banco de dados inclui informações se o caminhão estava transportando Produtos Perigosos e se houve vazamento. Essas informações, foram utilizadas para efeito de comparação entre os valores da Tabela 5

e os existentes nos Estados (de Louisiana , Missouri e Wyoming).

**Tabela 5**  
**Probabilidade de vazamento dado que um acidente**  
**tenha ocorrido, em função do tipo de acidente**

(1)	(2)
Tipo de Acidente	Probabilidade de Vazamento

**Acidentes sem  
colisão c/ um único veículo**

Saída da rodovia	0,331
Capotamento (na rodovia)	0,375
Outras não colisões	0,169

**Acidentes com  
colisão c/ um único veículo**

Colisão com veículo estacionado	0,031
Colisão com trem	0,455
Colisão com não motorizados	0,015
Colisão com objetos fixos	0,012
Outras colisões	0,059

**Acidentes com  
colisão com múltiplos veículos**

Colisão com carros de passageiros	0,035
Colisão com caminhão	0,094
Colisão com outro veículo	0,037

Fonte: Harwood et al (1990)

A probabilidade de vazamento de Produtos Perigosos varia com a classe de rodovia, razão das várias formas de distribuição dos acidentes o que diferencia se for considerada essa variabilidade. Por exemplo, a Tabela 3 indica a proporção de um acidente envolvendo um único veículo sem colisão (no que comumente resulta em vazamento de Produtos Perigosos), é perto de 50% mais alta em uma rodovia rural de duas pistas, do que em uma rodovia rural de velocidade não controlada. A probabilidade de vazamento dado um acidente envolvendo a vazamento de Produtos Perigosos transportado por veículo em

uma classe particular de rodovia, pode ser computada como;

$$P(A | R)_j = \sum_k P(A | R)_k * P(k)_j \quad (5)$$

Onde:

$P(A | R)_j$  = probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um acidente transportado por caminhão em uma Rodovia Classe j

$P(A | R)_k$  = probabilidade de vazamento de produto perigoso dado um Acidente do Tipo k

$P(k)_j$  = probabilidade de um acidente em uma Rodovia Classe j e ser acidente com caminhões para cada tipo de acidente apresentado na Tabela 3, em uma Rodovia Classe j

As probabilidades existentes na Tabela 6, são apropriadas para utilização como valores padrões, nos estudos de roteamento de transporte de Produtos Perigosos, se os dados necessários para o local em estudo, não forem confiáveis ou não estiverem disponíveis.

**Tabela 6**  
**Probabilidade de vazamento de produto perigoso**  
**dado um acidente tenha ocorrido em função da**  
**classe da rodovia**

(1)		(2)
Classe da Rodovia		Média
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	Ponderada
Rural	Duas pistas	0,086
Rural	Multipistas não divididas	0,081
Rural	Multipistas divididas	0,082
Rural	Velocidade livre	0,090
Urbana	Duas pistas	0,069
Urbana	Multipistas não divididas	0,055
Urbana	Multipistas divididas	0,062
Urbana	Rua de mão única	0,056
Urbana	Velocidade livre	0,062

(2) ponderada veículo milha por viagem de caminhão

Fonte: Harwood et al (1990)

- **Procedimentos revisados para determinação de probabilidade de acidentes**

Nas atuais diretrizes do D.O.T., a probabilidade de um acidente com Produtos

Perigosos, é computada no modelo de avaliação de risco obtido da Equação (6)

$$P(A)_i = AR_i * L_i \quad (6)$$

Onde:

$P(A)_i$  = probabilidade de acidente com produtos perigosos em um Segmento de Rota i

$AR_i$  = taxa de acidente com veículo \* milha para todos os tipos de veículos no Segmento de Rota i

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota i

A disponibilidade de taxas de acidentes com caminhões e a probabilidade de vazamentos, permite a estimação da probabilidade de um acidente com Produtos Perigosos no qual ocorra vazamento. A probabilidade de acidente com vazamento, deverá ser computada com a Equação (7), que substitui a Equação (6) proposta, pelas diretrizes do D.O.T.

$$P(R)_i = TAR_i * P(R | A)_i * L_i \quad (7)$$

Onde:

$P(R)_i$  = probabilidade de acidente com produtos perigosos em um Segmento de Rota i

$TAR_i$  = taxa de acidente com veículo \* milha no Segmento de Rota i

$P(R | A)_i$  = probabilidade de vazamento de um produto perigoso dado um acidente transportado no Segmento de Rota i

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota i

A Equação (7), é mais apropriada para análise de roteamento de Produtos Perigosos do que a Equação (6), em razão: **(a)** – o risco é baseado na probabilidade de um vazamento o que é melhor do que se basear em uma simples taxa de acidente, **(b)** – o risco é baseado taxa de acidentes com caminhões o que é melhor do que uma taxa baseada em taxas de acidentes ocorridos com todos os veículos. A Equação (7), mantém uma proporcionalidade do risco e o comprimento do segmento de rota, o qual é central para toda a análise de rota.

A Tabela 7 mostra valores típicos de taxas de acidentes e probabilidades de vazamentos trazidos da Tabela 4 e Tabela 6, que podem ser usados como valores padrões na Equação (7). Entretanto, os usuários, são encorajados a desenvolver valores padrões para

cada região em específico. Um aspecto chave da Tabela 7, e que ambas as taxas de acidentes com caminhões e probabilidades de vazamentos, variam com o tipo de área (urbana ou rural) e o tipo de rodovia

**Tabela 7**

**Taxas padronizadas de acidentes com vazamentos tendo ocorrido um acidente em função da classe da rodovia, para utilização na análise de roteamento do transporte de produtos perigosos**

(1)		(2)	(3)	(4)
Classe da Rodovia		Taxa de acidente c/ caminhões	Probabilidade de vazamento dado um acidente	Taxa de acidente com vazamento (vazamento por (milhão veículo * milha)
Tipo de Área	Tipo de Rodovia	(milhão veículo * milha)		(milhão veículo * milha)
Rural	Duas pistas	2,19	0,086	0,19
Rural	Multipistas não divididas	4,49	0,081	0,36
Rural	Multipistas divididas	2,15	0,082	0,18
Rural	Velocidade livre	0,64	0,090	0,06
Urbana	Duas pistas	8,66	0,069	0,60
Urbana	Multipistas não divididas	13,92	0,055	0,77
Urbana	Multipistas divididas	12,47	0,062	0,77
Urbana	Rua de mão única	9,70	0,056	0,54
Urbana	Velocidade livre	2,18	0,062	0,14

Fonte: Harwood et al (1990)

(2) obtido da Tabela 5

(3) obtido da Tabela 6

(4) = (2) \* (3)

O D.O.T. incentiva os usuários a desenvolver sempre que seja possível, dados próprios, locais, onde reflitam com maior fidelidade as taxas de acidentes àquele local. As diretrizes não levam em consideração a necessidade de tomarem-se precauções em relação a taxas de acidentes, utilizadas na avaliação de riscos, obtidas de pequenas amostras de eventos (acidentes) o que é típico acontecer em pequenos trechos de rodovias. Por exemplo, considere três trechos de rodovia de 0,5 milhas como possíveis alternativas de rotas. Supor que em um período de 3 anos, para um dos segmentos não houve acidentes com caminhões neste período de avaliação, em outro segmento houve um acidente e no terceiro houve dois acidentes com caminhões. Para tratar o primeiro segmento como isento de risco de um vazamento de Produtos Perigosos, seria certamente incorreto, mas esta conclusão poderia ser tomada, usando taxas de acidentes de um local em específico, calculadas pela Equação (6). Presumir, que o terceiro segmento tem duas vezes mais risco, seria também incorreto.

As diretrizes puderam ser revisadas para incorporar um período mínimo ou um mínimo número de acidentes necessários, para estabelecer taxas confiáveis de acidente. Em razão, da possibilidade de levantamento de valores para de taxas locais de acidentes, a confiabilidade nestes valores em relação a taxas de acidentes disponíveis para uma classe específica de rodovia (por exemplo, rodovias rurais com duas pistas urbanas com velocidade livre), foi desenvolvida uma base de dados padronizada. Sendo a ocorrência de acidente, refletida por uma variável randômica de dados sobre um local em específico, não podem ser tomadas, para indicar diferenças verdadeiras no risco entre segmentos, a menos que, um teste estatístico indique se essas diferenças são estatisticamente significantes.

Na maioria dos casos, deverá ser usado com o valor de  $TAR_i$  na Equação (2), as taxas de acidentes mostradas na Tabela 7, ou preferivelmente a média de valores obtidas pelos próprios usuários. Contudo, um simples procedimento estatístico, baseado no teste Qui-Quadrado, pode ser usado para determinar se o valor real obtido para frequência de acidentes para um segmento de rota em particular é suficientemente grande ou pequeno demais, em comparação com o número esperado da frequência de acidente, para garantir a substituição do valor padrão da taxa de acidentes com caminhões por taxas baseadas para um local em específico (em que haja um histórico de acidentes). Este procedimento esta descrito com se segue:

#### Passo 1

Obter a taxa de acidentes para um segmento de rota em específico.

Os dados de acidentes, deverão cobrir um longo período de tempo, se possível não introduzir efeitos externos causados por tráfego, geometria da rodovia, ou alterações operacionais. Esta frequência de acidentes observada é referida como  $A_0$ .

#### Passo 2.

Computar o número esperado de acidentes com caminhões, para um mesmo período de tempo, utilizando taxas, valores padrões de acidentes para uma grande malha

rodoviária, tal como apresentado na Tabela 7. A frequência esperada para acidentes com caminhões, pode ser computada pela Equação (8)

$$A_e = TAR * TADT * L * 365 * N * 10^{-6} \quad (8)$$

Onde:

$A_e$  = número de acidentes esperado com caminhões

TAR = taxa de acidente esperada com caminhões (acidentes por veículo\*milha a)  
com base na Tabela 7

TADT = taxa média de trafego de caminhões (veículos por dia)

$L_i$  = comprimento em milhas do Segmento de Rota i

N = duração do período de estudo em anos

$10^{-6}$  = por milhão de veículos

Se  $A_e \geq 5$  obtidos do teste Qui-Quadrado dado no Passo 3A o valor de  $A_e$  deverá ser usado. Se  $A < 5$  isto significa que a dimensão da amostra tomada é muito pequena, quando utilizado o teste Qui-Quadrado, e uma alternativa de procedimento, conforme apresentada no Passo 3B, a distribuição de Poisson deverá ser usada.

#### Passo 3A

Se  $A_e \geq 5$ , compare o número de acidentes da expectativa, com o número de acidentes observado através do teste estatístico Qui-Quadrado usando a Equação (9)

Se  $X^2 \leq 4$ , então o número de acidentes esperado e o observado, não diferem significativamente, estando em um nível de significância de 5%. Podendo desta forma, serem utilizados dados padronizados obtidos a partir de uma grande malha rodoviária, em lugar dos dados de acidentes de um local em específico.

$$X^2 = \frac{(A_e - A_0)^2}{A_e} \quad (9)$$

Onde:

$X^2$  = variável estatística qui - quadrado

$A_e$  = número de acidentes esperado com caminhões

$A_0$  = número observado de acidentes

Se  $X^2 > 4$ , então o número esperado de acidentes, difere significativamente do número de acidentes observado. Este resultado indica, que a taxa de acidente é bem menor ou bem maior do que 5% em nível de significância, relativamente a dados tomados com padrões obtidos a partir de uma grande malha rodoviária. Neste caso, os valores de taxas de acidentes, adotados como padrões (obtidos a partir de uma grande malha rodoviária), deverão ser substituídos por dados que gerem taxas de acidentes do local em específico em análise. Se a taxa de acidentes é menor que 50 % do que os valores padrões obtidos a partir de uma grande malha rodoviária, 50 % destes valores padrões deverão ser utilizados. A última restrição, é baseada em um julgamento, e é incluída para manter muito baixa a probabilidade de acidentes, especialmente para que não haja acidentes na rodovia ou que a falta de relatórios dos acidentes que houveram, gere resultados que não reflitam a realidade. Mesmo se no segmento de rodovia, não tenha havido acidentes durante o período de estudo, existirá ainda o risco no transporte de Produtos Perigosos, sendo recomendado que se adote 50 % da taxa de acidentes do valor padrão, (obtidos a partir de uma grande malha rodoviária).

### Passo 3B

Uma alternativa para o procedimento, é baseada na distribuição de Poisson, sempre que  $A_e < 5$ , em razão de que o teste Qui-Quadrado não é aplicado nas mostras, de acidentes, de pequenas dimensões. A Tabela 8, apresenta valores críticos para a distribuição de Poisson, para testar a significância entre o número esperado de acidentes.

Se  $A_0$  excede a um valor crítico, dado na Tabela 8, para conhecer o valor de  $A_e$ , então a frequência esperada e observada difere significativamente. Nesse caso, o valor padrão (obtidos a partir de uma grande malha rodoviária), deverá ser substituído pela taxa de acidentes do local em específico (em estudo), sendo calculada pela Equação (10).

**Tabela 8**  
**Valores críticos da**  
**distribuição de Poisson**

(1)	(2)
Frequência de acidente esperada ( $A_e$ )	Valores críticos de $A_0$ para um nível significativo de 5%
1,00	4
1,50	5
2,00	6
2,50	6
3,00	7
3,50	8
4,00	9
4,50	9

$$TAR = \frac{A_0 * 10^{-6}}{TADT * L * 365 * N} \quad (10)$$

Onde :

TAR = taxa de acidentes esperada com caminhões (acidentes por veículo \* milha)  
 com base de dados na Tabela 7

$A_0$  = número observado de acidentes

TADT = média diária de tráfego de caminhões - veículos por dia

L = comprimento do Segmento de Rodovia em milhas

N = duração do período de estudo em anos

Se  $A_e < 5$  for adotado, o valor padrão da taxa de acidentes não deverá ser decrementado, em razão que a dimensão da amostra disponível é raramente adequada, para indicar uma taxa verdadeira de acidentes menor do que o valor esperado.

#### **4.4 Estudo e adaptação da variável largura da zona de impacto no cálculo do risco.**

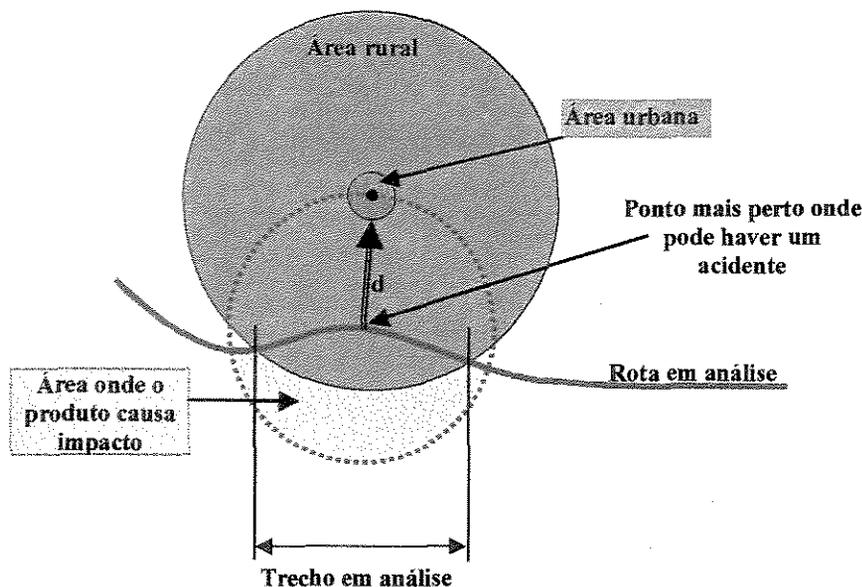
Relativamente a variável **zona de impacto** de 0.35 milhas ( $\cong$  0,563 km), **fixa**, ao longo da rodovia proposta por Harwood et al (1990), foi considerado que, para cada tipo de produto perigoso, quando houver um acidente com vazamento, este impacta uma

determinada área e de formas diferenciadas. Por exemplo, um produto perigoso Classe 1 – Explosivo tem características impactantes, diferentes de um produto perigoso Classe 6.2 – Substâncias Infectantes ou ainda de um produto perigoso Classe 8 – Corrosivo, INDAX (1998).

A CETESB (2000), já considera para o licenciamento de instalação de plantas industriais, que os riscos para a comunidade e para o meio ambiente, circunvizinhos e externos aos limites do empreendimento, esta diretamente associado às características das substancias químicas manipuladas, suas respectivas quantidades e à vulnerabilidade da região onde a instalação está ou será localizada. Desta forma, pode-se considerar um caminhão tanque ou container uma mini planta de armazenamento industrial móvel, adotando os mesmos critérios, para a avaliação de vulnerabilidade as populações lindeiras.

Quando um produto perigoso é transportado, uma rodovia, por vezes passa ao lado de uma cidade em que o seu centro urbano (com alta densidade demográfica, portanto uma forte área de impacto), está a além de 0.35 milhas ( $\cong$  0,563 km), porém o produto transportado, caso venha a vazar, pode ter uma área de impacto maior do que as 0.35 milhas atingindo este centro urbano. Nesta situação, se for utilizada a faixa de impacto de 0.35 milhas, para o cálculo dos riscos de cada trecho, o valor obtido final nem sempre o refletirá a realidade.

Como contribuição ao aprimoramento da metodologia proposta por Harwood et al (1990), a forma de classificação da rodovia deve variar, conforme o produto transportado, pois a área de impacto que o mesmo causa, em havendo vazamento varia e conseqüentemente um determinado trecho pode conter uma área urbana (de alta densidade tendo com conseqüência, uma taxa esperada de acidentes diferente de uma área rural com baixa população por quilometro quadrado). Desta forma, ao se classificar o trecho em análise, deve-se levar em conta o tipo de produto a ser transportado e a distância mínima  $d$ , conforme mostrado na Figura 3, e se o trecho inclui locais com alta densidade demográfica. Esta distância mínima, deverá ser determinada pela distância de um possível acidente e a área onde não houver mais impactos significativos, segundo critérios da sugeridos pela CETESB (2000).



**Figura 3 – Influência do tipo de produto transportado sobre e como classificar o trecho e a área de impacto em torno da rodovia.**  
 Fonte: Elaborada para este trabalho.

#### **4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos**

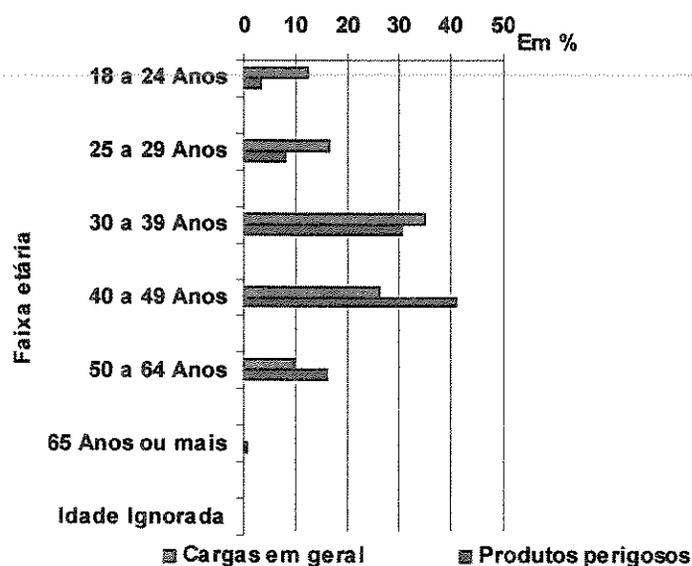
Cabe ainda citar, que a metodologia proposta por Harwood et al (1990) e aplicada por Ramos (1997), pode sofrer uma alteração para fornecer um resultado melhorado, se for considerado o estudo realizado por Hartman (2003), tendo as seguir transcritos os itens mais importantes do artigo publicado na revista CIPA. Artigo este que mostra em síntese uma correlação entre a faixa etária do condutor e número de acidentes com produtos perigosos que se envolve.

Foi feito um levantamento dos condutores de carga em geral e os que especificamente transportaram cargas perigosas entre os anos de 2000 e 2001, resultando na Tabela 9 e Gráfico 2. No levantamento por faixa etária foi considerado acidente somente aquele ocorrido com pelo menos uma das três situações; vazamento, incêndio ou explosão da carga.

**Tabela 9**  
**Condutores de transporte rodoviário de cargas, por**  
**tipo de carga, segundo faixa etária**  
**Estado de São Paulo - 2000 e 2001**

Faixa Etária	Condutores de Transporte Rodoviário			
	Cargas em Geral		Produtos Perigosos	
	Nºs Abs.	%	Nºs Abs.	%
<b>Total</b>	<b>52759</b>	<b>100</b>	<b>2658</b>	<b>100</b>
18 a 24 Anos	6475	12,27	92	3,46
25 a 29 Anos	8728	16,54	217	8,16
30 a 39 Anos	18341	34,76	812	30,55
40 a 49 Anos	13824	26,20	1088	40,93
50 a 64 Anos	5076	9,62	430	16,18
65 Anos ou mais	206	0,39	18	0,68
Idade Ignorada	109	0,21	1	0,04

Fonte : Ministério do Trabalhos e Emprego - Rais



**Gráfico 2**  
**Distribuição dos condutores de transporte rodoviário de cargas, por**  
**tipo de carga, segundo a faixa etária.**  
**Fonte: Hartman (2003)**

Objetivando “normalizar” os resultados para poder comparar os resultados foi

dividido o número de acidentes por faixa etária pelo número de condutores da faixa relativa e dividido ainda, pelo número de dias (2\*365), resultando em uma taxa média diária de acidentes por faixa etária.

Para o cálculo da porcentagem de acidentes por faixa etária foi dividido a taxa média (já calculada) pela soma das médias, resultando na Tabela 10 e o Gráfico 3

Conclui-se que, um condutor, com faixa etária entre quarenta e sessenta e quatro anos, esta envolvido em acidentes, em média 9,75% das vezes em que ocorre um acidente com produtos perigosos.

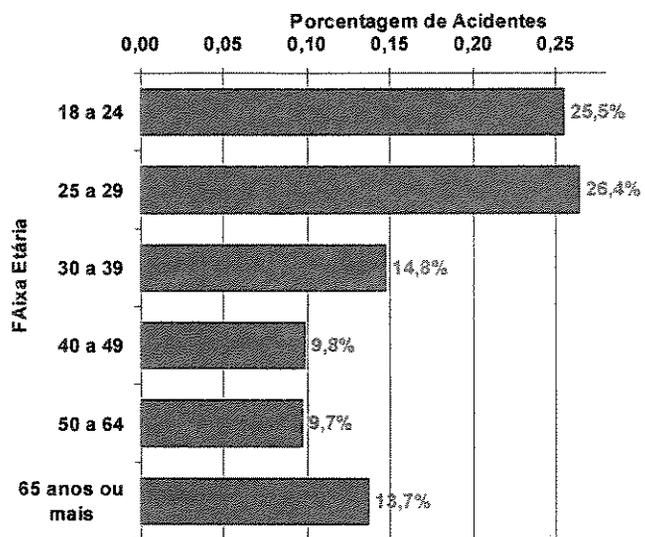
Cabe uma observação, em razão do tipo de dados disponíveis, não foi possível obter-se o cálculo da probabilidade de ocorrência de acidente livre de outras variáveis, o que seria o mais desejável, fica aqui o registro da necessidade de um estudo mais acurado quando houver disponibilidade destes dados. Tal estudo deverá ter como objetivo a criação de um indicador de agravamento do risco calculado e ser inserido na Equação (1)

Ratifica-se o que, se o analista de risco consultar o Gráfico 3 e selecionar o condutor obterá um agravamento (ou não) risco.

**Tabela 10**  
**Síntese da porcentagem de acidentes com produtos perigosos onde**  
**houveram vazamentos, em função da faixa etária dos condutores**  
**Acidentes com produtos perigosos ocorridos nas rodovias do Estado de São Paulo**

(1) Faixa Etária	(2) Total de Acidentes	(3) Nº de Condutores por Faixa Etária	(4) Acidentes por Nº de Condutores por dia (média de dois anos)	(5) Porcentagem de Acidentes
18 a 24	9	92	1,34E-04	25,5%
25 a 29	22	217	1,39E-04	26,4%
30 a 39	46	812	7,76E-05	14,8%
40 a 49	41	1088	5,16E-05	9,8%
50 a 64	16	430	5,10E-05	9,7%
65 anos ou mais	1	19	7,21E-05	13,7%
<b>Totais</b>	<b>135</b>	<b>2658</b>	<b>5,25E-04</b>	<b>100,0%</b>

Fonte : Polícias Rodoviárias Federal e do Estado de São Paulo



**Gráfico 3**  
**Porcentagem de acidentes com produtos perigosos em função da faixa etária do condutor**  
**Fonte: Hartman (2003)**

## **5 - ESTUDO DE CASO.**

### **5.1 - Introdução**

Com o objetivo de aplicar a metodologia de Harwood et al (1990), foi elaborada a simulação do transporte de um produto perigoso entre dois municípios do Estado de São Paulo. Para que esta simulação se aproximasse o máximo possível da realidade, foram adotados os seguintes procedimentos:

1º Eleger duas rotas, onde realmente um determinado produto perigo é usualmente transportado.

2º As rotas deveriam, se possível, passar junto a municípios com uma grande variação de densidade demográfica entre si, pois dessa forma, poder-se-ia estudar uma melhora na metodologia proposta de Harwood et al (1990).

3º As rotas e o produto escolhidos, deveriam estar dentro da malha rodoviária do Estado de São Paulo e que dispusessem dados estatísticos sobre; volume de tráfego em geral, número de acidentes com caminhões em geral e com produtos perigosos.

4º Eleger o produto perigoso, que causou o maior número de acidentes e que ao mesmo tempo pudesse ter dado um grande impacto à biota.

5º O obtido, deveria propiciar um resultado, que através de uma planilha

eletrônica ou um programa de computador, pudesse calcular, nos trechos em estudo, uma simulação da variação de risco.

## **5.2 – Aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas**

Para o estudo de caso da metodologia de avaliação de riscos de rotas, foram eleitas duas rotas para o transporte de Amônia. Tendo como origem a cidade de Jundiaí e o destino à cidade de Americana, ambas fazem parte da malha rodoviária do Estado de São Paulo, administradas pela Concessionária AUTOBAN, que mantém um banco de dados necessários a simulação proposta, ressalva-se que rodovia SP 304 é administrada pelo Departamento Estradas de Rodagem – DER, órgão que forneceu os dados do trecho citado.

Para a escolha das rotas, além da disponibilidade de dados, levou-se em consideração o alto índice de acidentes, que as mesmas apresentam, conforme pode ser observado na Tabela 1 e no Gráfico 1.

**Rota I – Jundiaí → SP 330 → SP 300 → SP 348 → SP 304 → Americana.-**

**Distância a ser percorrida 99,5 Km, Figura 4**

**Rota II – Jundiaí → SP 330 → SP 304 → Americana – Distância a ser**

**percorrida 76,6 Km, Figura 5.**

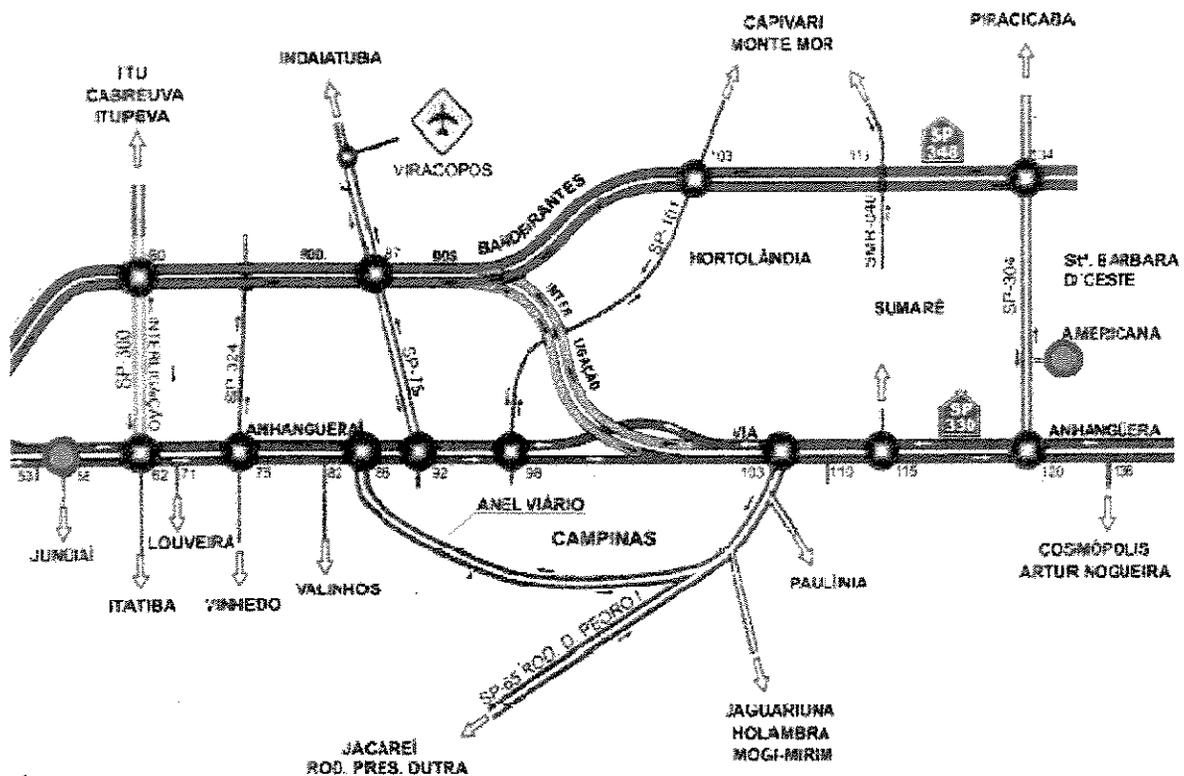


Figura 4 – Mapa linear com as rodovias eleitas como rotas do estudo de caso.  
 Fonte: AUTOBAN (2003)

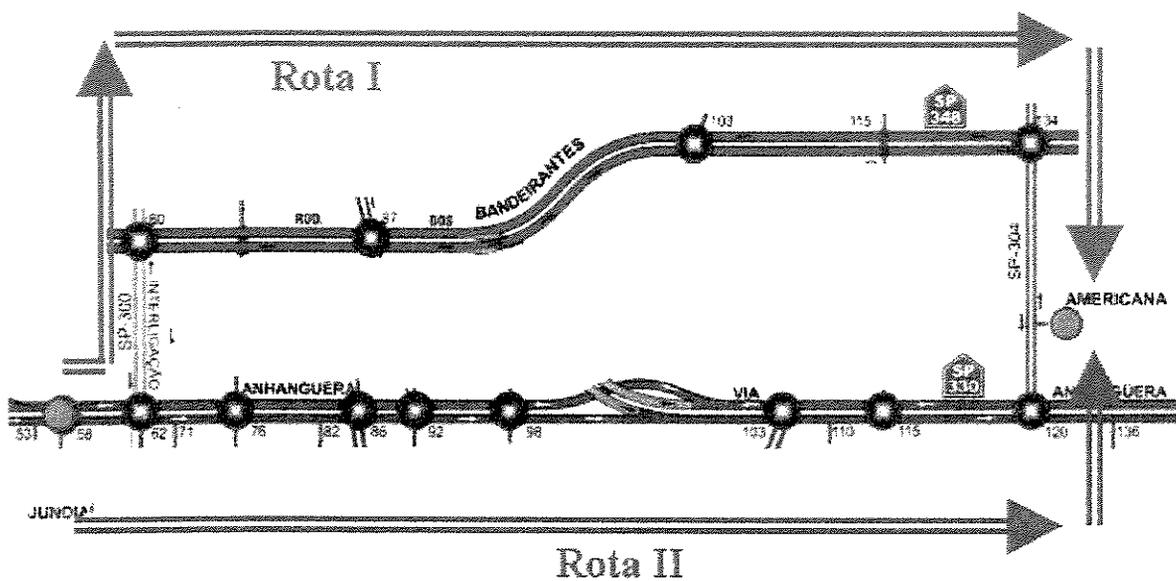


Figura 5 – Mapa linear com as rotas I e II do estudo de caso.  
 Fonte: AUTOBAN (2003)

Como não existem dados disponíveis sobre os tipos e quantidades de produtos perigosos, que são transportados pelas duas rotas, foi feito um levantamento dos acidentes que envolveram produtos perigosos nestas rotas. O resultado dos dados colhidos entre 2000 e 2001 junto a Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo, gerou a Tabela 11

Se a Tabela 11 for consultada, constata-se que, a amônia não é o produto perigoso, que mais se envolveu em acidentes, entretanto é a substância química causadora de maior impacto, entre aquelas que tomasse parte em acidentes e que dispõe de dados, conforme a publicação - **2000 Emergency Response Guide** da Argonne National Laboratory. Brown et al (2000).

Tabela 11  
Acidentes ocorridos em 2000 e 2001 com produtos perigosos  
rodovias SP 300, SP 304, SP 330, SP 348

Nome do Produto	Quantidade de	
	Nº ONU	Acidentes Ocorridos
GLP	1075	24
Álcool Etilico	1170	21
Gasolina	1203	17
Substâncias que representam riscos ao meio ambiente	3082	8
<b>Amônia</b>	<b>1005</b>	<b>8</b>
Oxigênio Líquido	1073	6
Soda Caustica	1824	5
Nitrogênio Líquido	1977	4
Ácido Sulfúrico	1830	4
Ácido Clorídrico	1789	3
Ácido Dicloropropionico	1760	3
Thinner	1263	3
Bebidas Alcoólicas	3065	2
Ácido Acético Glacial	2789	2
Gás Carbônico Liquefeito	2187	2
Clorito de Sódio	1908	2
Carvão Betuminoso	1361	2
Metilbenzeno	1294	2
Álcool de Madeira	1230	2
Pesticidas Tóxicos	2902	1
Sólidos Venenosos	2811	1
Ácido Aril Sulfônico - Líquido	2586	1
Clorato de Sódio	2428	1
Aldeído Fórmico	2209	1
Cianeto de Tetrametileno	2205	1
Tolueno Disocianato	2078	1
Nitrato de Amônio	2067	1
Ácido Cresílico	2022	1
Peróxidos Orgânicos	1993	1
Isopropilbenzeno	1918	1
Hipoclorito de Sódio	1791	1
Cloreto de Benzoila	1736	1
Enxofre	1350	1
Trissulfeto de Fósforo	1343	1
Ácido Hexanodioico	1325	1
Petróleo	1270	1
Destilados de Petróleo	1268	1
Hexanos	1208	1
Ciclohexano	1145	1
Nitrogênio Comprimido	1066	1

Fonte : Planilha elaborada com dados fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo  
ONU = Número de Identificação da Organização das Nações Unidas

Uma nota importante, em razão de que os dados estatísticos disponíveis sobre acidentes correlacionados a geometria das rodovias serem provenientes da literatura fornecida por Harwood et al (1990), as distâncias dos segmentos estão em milhas e considerando, que valores finais obtidos dos riscos são números, que expressam uma relatividade entre duas rotas, foram efetuadas as conversões de quilômetros para milhas, observando uma melhor coerência entre dados. Tais conversões, foram introduzidas nas planilhas de Excel, para que fossem calculadas de forma automática, utilizando-se o fator de conversão fornecido pelo Instituto de Pesos e Medidas do Estado de São Paulo → 1 milha = 1.609344 Km. IPEM (2003).

Como foi exposto, foram selecionadas as duas Rotas possíveis para o transporte de amônia entre os municípios de Jundiaí (município de origem) e o município de Americana (destino), assim como selecionado o produto a ser transportado, a Amônia. Esta seleção, propiciará o cálculo de riscos relativos, passíveis de comparação e uma conseqüente escolha da rota que apresentar o menor dos valores obtidos.

O primeiro passo, foi segmentar a rota conforme os dados disponíveis de tráfego e acidentes ocorridos, pois a tomada de média diária anual do volume de caminhões é efetuada de forma automática. Na prática, os equipamentos de leitura de tráfego não distinguem automóveis, caminhões e ônibus, entretanto, conforme dados estatísticos da AUTOBAN, a composição média é de 80% de automóveis, 17% de caminhões e 3% de ônibus. Os volumes médios diários anuais de tráfego, foram fornecidos separadamente entre as pista de ida e vinda (leste ou oeste e norte ou sul).

O segundo passo, foi determinar a média diária anual de acidentes ocorridos por segmento, com dados fornecidos pela Polícia Militar Rodoviária do Estado de São Paulo

O terceiro passo, foi obter dados sobre a geometria de cada segmento das rotas em estudo, dados fornecidos pela concessionária AUTOBAN. Esses dados, foram classificados conforme Tabela 4, Harwood et al (1990). Ainda nesse passo, denominou-se cada trecho com seus respectivos comprimentos. A segmentação, deu-se em função das informações obtidas sobre a média anual diária de caminhões, pois a tomada desses dados é

efetuada por equipamentos fixos, instalados ao longo das rodovias, exceção feita à rodovia SP 304, como já mencionado, os dados foram fornecidos pelo DER.

O quarto passo, foi à obtenção de dados sobre a densidade demográfica, por onde passa cada trecho em estudo, dados fornecidos pelo IBGE. Isto para as áreas urbanas e rurais de cada município, que contém os trechos em análise, gerando a Tabela 12. Levou-se em consideração também, o tipo de produto em estudo, no caso a amônia, pois a distância considerada como segura, entre um possível acidente e nenhuma fatalidade, para este tipo de produto perigoso, é a partir de 0,7 milhas (ou seja 1,1265 Km), distância esta considerada como “*Distância Protetiva*” por Brown et al (2000).

O quinto passo, foi à elaboração das Tabelas 13, 14, 15, 16, para as quais cada coluna quando se fizer necessária, será fornecida a fonte e método utilizado para obter-se o valor lá existente.

Relativamente, as Tabelas 13 e 15 as metodologias de cálculo são as mesmas exceto os dados pois se tratam de rotas diferentes e com consequência rodovias diferentes.

Nas colunas (1), de ambas as tabelas, os dados foram obtidos em função dos pontos de origem (Jundiaí) e destino (Americana).

Nas colunas (2), de ambas as tabelas, estão as rodovias a que pertencem os trechos escolhidos das rotas – Rota I e Rota II – respectivamente.

Nas colunas (3), de ambas as tabelas, foram dados um nome a cada segmento para referenciá-los à qualquer tempo, de uma forma objetiva.

Nas colunas (4) e (5), de cada tabela, estão o **início** e o **fim** do trecho em estudo respectivamente, ratificando-se que tanto os **inícios** como os **fins** foram determinados pelo posicionamento dos equipamentos de medição do volume de tráfego, existentes nas rodovias. Excetua-se a, SP 304, que os segmentos foram determinados em função dos

dados fornecidos pelo DER. Conforme o adotado pela concessionária AUTOBAN, o conjunto de dados é limitado pelos limites do trecho em estudo, por exemplo o trecho AB da SP 330 vai do Km 62,00 exclusive até o Km 69,7 inclusive, o trecho subsequente AC vai do Km 69,7 exclusive até o Km 71,0 inclusive e assim sucessivamente.

As colunas (6), de ambas tabelas, classificam cada trecho em estudo, classificação esta conforme Quadro 1 - Harwood et al (1989). Foi optado por este tipo de classificação em razão da utilização de dados estatísticos provenientes da bibliografia norte americano, pois não existem tais dados no Brasil.

Ainda referente a coluna (6), Tabela 13 trecho AA, foi considerada uma classificação de Urbana Multipistas divididas, (Quadro 1), pois o trecho passa por uma área demograficamente densa. Sendo este mesmo critério, adotado ao trecho AK na coluna (6), da Tabela 15.

Diante a inexistência de dados estatísticos sobre os diversos locais onde ocorrem acidentes relativos a distribuição de acidentes correlacionados com a geometria das rodovias brasileiras, adotou-se, tal como Ramos (1997) o fez em seu estudo a Tabela 3. Dados estes, provenientes de uma combinação de três malhas rodoviárias norte americanas. Desta forma, foram obtidos os dados existentes nas colunas (7), para ambas as Tabelas 13 e 15.

As colunas (8), das Tabelas 13 e 15, foram preenchidas com dados fornecidos pela AUTOBAN e DER. O valor calculado para cada trecho, foi a média diária para 365 dias de observação.

A distância percorrida em cada trecho, foi calculada com a diferença entre a marca de quilometragem inicial e final do trecho, resultando em quilômetros de extensão. Multiplicando-se por 1.609344, obtivemos os valores constantes nas colunas (9), de cada tabela. Com já foi justificada tal conversão, foi necessária, para manter a coerência entre os diversos dados disponíveis (como por exemplo os existentes na coluna 7 de cada tabela).

A Equação (7), propiciou o cálculo dos dados dispostos nas colunas (10) de ambas as tabelas. Elucidando melhor, a coluna (10) = (7)\*(8)\*(9)\*(N)\*10<sup>-6</sup>.

Onde N, é o período em dias em que foi observado o número de acidentes coluna (11) e o fator 10<sup>-6</sup> para manter a consistência com a coluna (7) (por milhão de veículo milha).

As colunas (10), de ambas as tabelas, refletem o número de acidentes ocorridos em cada trecho, no período de observação neste caso 365 dias – um ano.

O testes dos parâmetros X<sup>2</sup> Qui-Quadrado, para consistência da amostra é fornecido pelo cálculo da Equação (12), ou seja a relação entres as colunas é:

$$\text{coluna (12)} = \{[(10)-(11)]^2\} / (10).$$

Aplicando os critérios de aceitação de amostragem sugeridos por Harwood et al (1990), o teste do parâmetro X<sup>2</sup> é feito na coluna (13), tendo como resposta “**sim**”, se for maior do que 4, sendo maior do que 4, será utilizada a Equação (13), para obtenção dos valores da coluna (14) caso não seja maior do que 4 será utilizado o valor padrão da coluna (7). Para o cálculo da Equação (13), a inter-relação entre as colunas é dada por;

$$\text{coluna (14)} = [(11)*10^6] / [(N)*(9)*(8)],$$

Onde N, é o período de observação tal qual foi referenciado anteriormente, na coluna (10).

A coluna (14), fornece a **Taxa de Acidente para Avaliação do Risco** por trecho – sendo dada em [**acidente por milhão veículo \* milha**], que será utilizada para o cálculo da população exposta por trecho de cada rota.

A **Taxa de Acidente para Avaliação do Risco**, é o objetivo final de cálculo das Tabelas 13 e 15, fornecendo subsídio para as Tabelas 14 e 16, que serão analisadas a seguir.

A Tabelas 14 e 16, irão fornecer os valores da população exposta ao risco, que é o foco das conseqüências de um acidente para Harwood et al (1990) e será representado por valores parciais para cada trecho, permitindo uma avaliação de onde a população estará mais exposta. Com esta avaliação de risco como uma ação prevencionista e com o gerenciamento deste risco é possível minimizá-lo ou elimina-lo, de forma pontual.

As colunas (1), (2), (3), (4), (5) e (8) são as mesmas das Tabelas 13 e 15, foram propositalmente repetidas para uma melhor compreensão e dar coerência ao encadeamento dos cálculos a serem efetuados. Ainda, ratifica-se que, as relações entre colunas são as mesmas para ambas as tabelas.

Uma observação importante, os valores constantes nas colunas (6), prevêm das colunas (14) das Tabelas 13 e 15.

A coluna (7), reflete valores da Tabela 6, existente em Harwood et al (1990), e é o resultado de valores médios ponderados para a malha rodoviária de três Estados Norte Americano. Não foi possível, utilizar-se de valores brasileiros, em razão de que os dados estatísticos disponíveis no Brasil, não contemplam tais informações, tal qual foi mencionado para as colunas (7) das Tabelas (13) e (15).

A coluna (8), para ambas as Tabelas 14 e 16 os dados foram fornecidos pelo IBGE (2002), sido explicitados na Tabela 12.

A densidade populacional, em habitantes por milha quadrada mostrada nas colunas (11), foi calculada conforme se segue, e o coeficiente 2,589988 foi fornecido pelo IPEM (2003).

$$\text{coluna (11)} = (10) * 2,589988$$

A zona de impacto, em quilômetros da coluna (12), foi obtida originalmente em milhas, que esta indicada na coluna (13). Na transformação de milhas para quilômetros, utilizou-se o coeficiente fornecido pelo IPEM (2003), assim a coluna (12) = (13) \* 1,609344.

A coluna (12), esta explicitada na planilha, para que se possa avaliar a zona de impacto mais rapidamente, já que no Brasil se utiliza o SI. – Sistema Internacional.

Para a coluna (13), o valor obtido, foi proveniente do tipo de produto que estaria sendo transportado, sendo este item uma das contribuições à melhoria da metodologia de Harwood et al (1990), que considera uma zona de impacto fixa de 0,35 milhas, para qualquer produto transportado. O valor obtido de 0,70 milhas foi obtido no Guia - **2000 Emergency Response Guide** da Argonne National Laboratory. Brown et al (2000).

O total de habitantes expostos da coluna (14) foi calculado conforme:  
coluna (14)=(8)\*(11)\*(13)\*2.

Nota: Multiplicou-se por 2, em razão de que a exposição é ao longo dos dois lados da pista.

A coluna (15), existe somente para facilitar a leitura da coluna (16) pois está em unidades do SI.

O valor médio de pessoas expostas por milha de cada segmento, é calculado pela coluna (16) havendo a relação entre colunas conforme:

coluna (16)=(14) / (8).

A população exposta a um possível acidente que venha ocorrer em um determinado segmento, é calculada na coluna (17), pela relação: coluna (17) =(16) / (9).

Esta coluna fornece o risco de cada segmento, mostrando os segmentos que possuem maior risco. Uma ação preventcionista de gerenciamento, pode ser adotada minimizando ou mesmo eliminando o risco. Ainda uma ação de gerenciamento de risco se tomada pode diminuir a vulnerabilidade da população e do patrimônio existente, no entorno do segmento.

**Tabela 12**  
**Densidade demográfica por regiões**

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
Município	Área Total Km <sup>2</sup>	Área Urbana Km <sup>2</sup>	Área Rural Km <sup>2</sup>	Área Urbana mi <sup>2</sup>	Área Rural mi <sup>2</sup>	População Total Habitantes	População Urbana Habitantes	População Rural Habitantes	Densidade Total Habit / Km <sup>2</sup>	Densidade Total Habit / mi <sup>2</sup>	Densidade Urbana Habit / Km <sup>2</sup>	Densidade Urbana Habit / mi <sup>2</sup>	Densidade Rural Habit / Km <sup>2</sup>	Densidade Rural Habit / mi <sup>2</sup>
Americana	133,9	97,4	36,5	37,61	14,09	182 593	182 159	434	1363,7	3531,8	1870,2	4843,8	11,9	30,8
Campinas	796,4	388,9	407,5	150,16	157,34	969 396	953 218	16 178	1217,2	3152,6	2451,1	6348,2	39,7	102,8
Hortolândia	64,4	64,4	0	24,86	0,00	152 523	152 523	0	2368,4	6134,1	2368,4	6134,1	-----	-----
Itupeva	201	70,4	130,6	27,18	50,42	26 166	19 259	6 907	130,2	337,2	273,6	708,5	52,9	137,0
Jundiaí	432	112	320	43,24	123,55	323 397	300 207	23 190	748,6	1938,9	2680,4	6942,3	72,5	187,7
Louveira	55,4	44,3	11,1	17,10	4,29	23 903	21 888	2 015	431,5	1117,5	494,1	1279,7	181,5	470,2
Nova Odessa	73,5	25,7	47,8	9,92	18,46	42 071	41 110	961	572,4	1482,5	1599,6	4143,0	20,1	52,1
Santa Bárbara d'Oeste	270	60	210	23,17	81,08	170 078	167 917	2 161	629,9	1631,5	2798,6	7248,4	10,3	26,7
Sumaré	153,4	132,6	20,8	51,20	8,03	196 723	193 937	2 786	1282,4	3321,5	1462,6	3788,0	133,9	346,9
Valinhos	148	59	89	22,78	34,36	82 973	78 506	4 467	560,6	1452,0	1330,6	3446,3	50,2	130,0
Vinhedo	82	73,8	8,2	28,49	3,17	47 215	46 174	1 041	575,8	1491,3	625,7	1620,5	127,0	328,8

Fonte: Planilha elaborada com dados obtidos no IBGE(2002)

Nota: Conversão de Quilômetros quadrados para Milhas quadradas 1mi<sup>2</sup> = 2,589988 Km<sup>2</sup> - IPEM (2003)

Tabela 13

Rota I - Jundiá a Americana via rodovia dos Bandeirantes - SP

Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
					Classe da Rodovia									
	Rodovia	Trecho	Início Km	Fim Km	Tipo de área	Tipo de Rodovia	Taxa Esperada de acidentes c/ caminhões (acidentes por milhão veículo * milha)	Média de caminhões (veículos / dia) TADT <sub>i</sub>	Distância percorrida no trecho em milhas L <sub>i</sub>	Número de acidentes com caminhões esperado no período (A <sub>e</sub> )	Número de acidentes com caminhões observado período (A <sub>o</sub> )	Teste do parâmetro qui-quadrado X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> >4 ?	Taxa de acidente p/ avaliação de risco (acidente por milhão veículo*milha)
Origem	Jundiá													
	SP - 330	AA	58,00	62,00	Urbana *	Multipistas divididas	12,47	4.650	6,44	408,7	295	31,76	Sim	8,99
	SP - 300	AP	1,00	6,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.218	8,05	61,0	105	32,49	Sim	3,72
	SP - 348	BA	60,00	69,20	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	14,81	120,1	114	0,28	Não	2,15
	SP - 348	BB	69,20	69,68	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,77	6,3	1	4,42	Sim	0,34
	SP - 348	BC	69,68	73,83	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	6,68	54,2	39	4,19	Sim	1,55
	SP - 348	BD	73,83	74,10	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,43	3,5	6	1,76	Não	2,15
	SP - 348	BE	74,10	74,65	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,89	7,2	3	2,42	Não	2,15
	SP - 348	BF	74,65	75,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	0,56	4,6	3	0,53	Não	2,15
	SP - 348	BG	75,00	75,70	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	1,13	9,1	1	7,25	Sim	0,24
	SP - 348	BH	75,70	76,50	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	1,29	10,4	9	0,19	Não	2,15
	SP - 348	BI	76,50	78,49	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	3,20	26,0	220	1443,41	Sim	18,18
	SP - 348	BJ	78,49	87,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.445	13,70	111,1	54	29,18	Sim	1,05
	SP - 348	BK	87,00	96,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	4.043	14,48	137,9	114	4,02	Sim	1,78
	SP - 348	BL	96,00	102,57	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.164	10,57	29,0	66	47,78	Sim	4,91
	SP - 348	BM	102,57	105,00	Urbana**	Multipistas divididas	12,47	1.164	3,91	62,2	18	31,30	Sim	3,62
	SP - 348	BN	105,00	109,86	Urbana**	Multipistas divididas	12,47	1.188	7,82	126,9	3	120,93	Sim	0,30
	SP - 348	BO	109,86	114,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.188	6,66	18,6	1	16,69	Sim	0,12
	SP - 348	BP	114,00	122,87	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.045	14,27	35,1	3	29,36	Sim	0,18
	SP - 348	BQ	122,87	134,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.045	17,91	44,1	2	40,16	Sim	0,10
	SP - 304	LQB	140,00	131,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.255	14,48	42,8	127	167,47	Sim	6,40
	SP - 304	LQC	131,00	127,00	Rural	Multipistas divididas	2,15	1.255	6,44	19,0	31	6,93	Sim	3,45
Destino	Americana													

Fonte: Planilha elaborada conforme procedimentos descritos no texto

Nota: Conversão de Quilômetros para Milhas 1mi = 1,609344 Km - IPEM (2003)

Nota: Foi considerada Urbana \* pois há uma alta densidade populacional na região

Nota: Foi considerada Urbana \*\*, pois refere-se ao município de Hortolândia que não tem zona rural.



Tabela 15

Rota II - Jundiá à Americana via rodovia Anhangüera - SP

Cálculo da taxa de acidente para avaliação de risco

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)		(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)
					Classe da Rodovia									
Origem	Rodovia	Trecho	Início Km	Fim Km	Tipo de Área	Tipo de Rodovia	Taxa Esperada de acidentes c/ caminhões (acidentes por milhão veículo * milha)	Média de caminhões (veículos / dia) TADT <sub>i</sub>	Distância percorrida no trecho em Milhas L <sub>i</sub>	Número de acidentes com caminhões esperado no período (A <sub>e</sub> )	Número de acidentes com caminhões observado período (A <sub>o</sub> )	Teste do parâmetro qui-quadrado X <sup>2</sup>	X <sup>2</sup> >4 ?	Taxa de acidente p/ avaliação de risco (acidente por milhão veículo*milha)
	Jundiá													
	SP - 330	AA	58,0	62,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	4.650	6,44	70,5	295	714,14	Sim	8,99
	SP - 330	AB	62,0	69,7	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	12,36	115,3	90	5,46	Sim	1,68
	SP - 330	AC	69,7	71,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	2,12	19,8	9	5,88	Sim	0,98
	SP - 330	AD	71,0	73,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.964	4,23	39,5	24	6,03	Sim	1,31
	SP - 330	AE	73,6	76,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.634	3,81	32,6	33	0,01	Não	2,15
	SP - 330	AF	76,0	80,3	Rural	Multipistas divididas	2,15	2.032	6,86	32,8	51	10,26	Sim	3,35
	SP - 330	AG	80,3	82,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	2.032	2,80	13,4	33	28,95	Sim	5,31
	SP - 330	AH	82,0	86,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.353	6,44	81,1	9	64,08	Sim	0,24
	SP - 330	AI	86,0	86,1	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.182	0,16	2,0	3	0,56	Não	2,15
	SP - 330	AJ	86,1	92,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.182	9,50	115,8	30	63,49	Sim	0,56
	SP - 330	AK	92,0	98,0	Urbana *	Multipistas divididas	12,47	5.011	9,66	660,7	199	323,28	Sim	3,75
	SP - 330	AL	98,0	103	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.284	8,05	100,1	111	1,25	Não	2,15
	SP - 330	AM	103,0	104,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	8.059	1,61	30,5	111	213,66	Sim	7,84
	SP - 330	AN	104,0	105,5	Rural	Multipistas divididas	2,15	7.012	2,41	39,9	24	6,25	Sim	1,30
	SP - 330	AO	105,5	110,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	7.012	7,24	119,6	99	3,44	Não	2,15
	SP - 330	AP	110,0	115,6	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	9,01	79,9	120	20,40	Sim	3,24
	SP - 330	AQ	115,6	119,7	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	6,52	57,8	165	200,37	Sim	6,15
	SP - 330	AR	115,6	120,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	3.768	7,08	62,8	6	51,36	Sim	0,21
	SP - 304	LQA	120,0	127,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	526	11,27	14,0	15	0,12	Não	2,15
	Destino Americana													

Fonte: Planilha elaborada conforme procedimentos descritos no texto

Nota: Conversão de Quilômetros para Milhas 1mi = 1,609344 Km - IPEM (2003)

Nota: Foi considerada Urbana \* pois há uma alta densidade populacional na região (abrange o município de Campinas)

Tabela 16

Rota II - Jundiaí a Americana via rodovia Anhangüera - SP  
Cálculo da população exposta ao risco

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)	(17)
	Rodovia	Trecho	Início Km	Fim Km	Taxa de acidente esperada c/ caminhões (acidente por milhão veículo*milha)	Probabilidade de vazamento dado um acidente	Distância percorrida no trecho em Milhas	Probabilidade de vazamento	Densidade Populacional (habitantes / quilometro <sup>2</sup> )	Densidade Populacional (habitantes / milha <sup>2</sup> )	Zona de Impacto largura (quilômetros)	Zona de Impacto largura (milhas)	Total de habitantes expostos	Habitantes expostos por quilometro	Habitantes expostos por milha	População exposta ao risco
Origem	Jundiaí															
	SP - 330	AA	58,0	62,0	8,99	0,062	6,44	3,590	72,5	187,8	1,1265	0,70	1.692	423	263	944
	SP - 330	AB	62,0	69,7	1,68	0,082	12,36	1,705	72,5	187,8	1,1265	0,70	3.249	423	263	448
	SP - 330	AC	69,7	71,0	0,98	0,082	2,12	0,170	181,5	470,1	1,1265	0,70	1.398	1.059	658	112
	SP - 330	AD	71,0	73,6	1,31	0,082	4,23	0,455	181,5	470,1	1,1265	0,70	2.786	1.059	658	299
	SP - 330	AE	73,6	76,0	2,15	0,082	3,81	0,672	127,0	328,9	1,1265	0,70	1.756	741	461	310
	SP - 330	AF	76,0	80,3	3,35	0,082	6,86	1,885	127,0	328,9	1,1265	0,70	3.157	741	461	868
	SP - 330	AG	80,3	82,0	5,31	0,082	2,80	1,219	50,2	130,0	1,1265	0,70	510	293	182	222
	SP - 330	AH	82,0	86,0	0,24	0,082	6,44	0,126	50,2	130,0	1,1265	0,70	1.172	293	182	23
	SP - 330	AI	86,0	86,1	2,15	0,082	0,16	0,028	50,2	130,0	1,1265	0,70	29	293	182	5
	SP - 330	AJ	86,1	92,0	0,56	0,082	9,50	0,435	39,7	102,8	1,1265	0,70	1.367	232	144	63
	SP - 330	AK	92,0	98,0	3,75	0,062	9,66	2,243	2.451,1	6348,3	1,1265	0,70	85.820	14.303	8.888	19.939
	SP - 330	AL	98,0	103,0	2,15	0,082	8,05	1,419	39,7	102,8	1,1265	0,70	1.158	232	144	204
	SP - 330	AM	103,0	104,0	7,84	0,082	1,61	1,034	39,7	102,8	1,1265	0,70	232	232	144	149
	SP - 330	AN	104,0	105,5	1,30	0,082	2,41	0,257	39,7	102,8	1,1265	0,70	348	232	144	37
	SP - 330	AO	105,5	110,0	2,15	0,082	7,24	1,277	133,9	346,8	1,1265	0,70	3.516	781	486	620
	SP - 330	AP	110,0	115,6	3,24	0,082	9,01	2,391	133,9	346,8	1,1265	0,70	4.376	781	486	1.161
	SP - 330	AQ	115,6	119,7	6,15	0,082	6,52	3,288	20,1	52,1	1,1265	0,70	475	117	73	240
	SP - 330	AR	115,6	120,0	0,21	0,082	7,08	0,120	11,9	30,8	1,1265	0,70	306	69	43	5
	SP - 304	LQA	120,0	127,0	2,15	0,082	11,27	1,986	11,9	30,8	1,1265	0,70	486	69	43	86
Destino	Americana															Risco total da Rota II 25.734

Fonte: Planilha elaborada conforme procedimentos descritos no texto

Nota: Conversão de Quilômetros para Milhas 1mi = 1,609344 Km - IPEM (2003)

Nota: Conversão de Quilômetros quadrados para Milhas quadradas 1mi<sup>2</sup> = 2,589988 Km<sup>2</sup> - IPEM (2003)

### **5.3 – Teste de avaliação da adaptação da variável zona de impacto à metodologia proposta por Harwood et al (1990)**

Esse subitem, foi elaborado com o propósito de comparar a metodologia de Harwood et al (1990), ao estudo realizado por Hartman (2003), relativo a adoção de uma zona de impacto variável, vinculada ao tipo de produto perigoso, ao invés de uma variável constante, independentemente do produto transportado.

Torna-se possível, analisar trechos de rotas individualmente e diminuir o risco nos segmentos. Desta forma, foi selecionado um trecho da rota II, para análise comparativa, esta rota e trecho foram selecionados, em razão de atravessarem uma zona densamente habitada.

A rota II, é composta dos trechos – **Jundiaí → SP 330 → SP 304 → Americana – Distância a ser percorrida 76,6 Km, Figura 5.**

O trecho selecionado, foi da SP 330 Via Anhangüera, denominado de AK que vai do Km 92,0 ao Km 98,0, nas vizinhanças da cidade de Campinas.

A seguir, as Tabelas 17 e 18, mostram a comparação de risco, entre se adotar uma zona fixa de impacto de 0,35 milhas ( $\cong$  0,563 Km) e uma zona de impacto de 0,7 milhas ( $\cong$  1,126 Km), simulando a travessia do trecho por uma zona rural e uma zona urbana.

Ratifica-se, que são válidos os mesmos procedimentos de cálculos e critérios, adotados (já descritos anteriormente), para as Tabelas 13, 14, 15, e 16, para as Tabelas 17 e 18.

Tabela 17

Trecho AK - Km 95,0 ao Km 98,0 - rota II - SP- 330 - via Anhangüera - estudo relativo a influência da largura da zona de impacto no cálculo do risco final deste trecho  
Cálculo comparativo da taxa de acidente para avaliação de risco trecho AK

(1)	(2) Rodovia	(3) Trecho	(4) Inicio Km	(5) Fim Km	(6) Classe da Rodovia		(7) Taxa Esperada de acidentes c/ caminhões (acidentes por milhão veículo * milha)	(8) Média de caminhões (veículos / dia) TADT <sub>i</sub>	(9) Distancia percorrida no trecho em Milhas L <sub>i</sub>	(10) Número de acidentes com caminhões esperado no período (A <sub>e</sub> )	(11) Número de acidentes com caminhões observado período (A <sub>o</sub> )	(12) Teste do parâmetro qui-quadrado X <sup>2</sup>	(13) X <sup>2</sup> >4 ?	(14) Taxa de acidente p/ avaliação de risco (acidente por milhão veículo*milha)
					Tipo de Área	Tipo de Rodovia								
1-r	SP - 330	AK	92,0	98,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.011	9,66	113,9	199	62,87	Sim	3,75
1-u	SP - 330	AK	92,0	98,0	Urbana	Multipistas divididas	12,47	5.011	9,66	660,7	199	323,28	Sim	3,75
2-r	SP - 330	AK	92,0	98,0	Rural	Multipistas divididas	2,15	5.011	9,66	113,9	199	62,87	Sim	3,75
2-u	SP - 330	AK	92,0	98,0	Urbana	Multipistas divididas	12,47	5.011	9,66	660,7	199	323,28	Sim	3,75

Fonte: Planilha elaborada conforme procedimentos descritos no texto

Nota: Conversão de Quilômetros para Milhas 1mi = 1,609344 Km - IPEM (2003)

Tabela 18

Trecho AK - Km 95,0 ao Km 98,0 - rota II - SP- 330 - via Anhangüera - estudo relativo a influência da largura da zona de impacto no cálculo do risco final deste trecho  
Cálculo comparativo da população exposta ao risco

(1)	(2) Rodovia	(3) Trecho	(4) Inicio Km	(5) Fim Km	(6) Taxa de acidente esperada c/ caminhões (acidente por milhão veículo*milha)	(7) Probabilidade de vazamento dado um acidente	(8) Distancia percorrida no trecho em Milhas	(9) Probabilidade de vazamento	(10) Densidade Populacional (habitantes / quilometro <sup>2</sup> )	(11) Densidade Populacional (habitantes / milha <sup>2</sup> )	(12) Zona de Impacto largura (quilômetros)	(13) Zona de Impacto largura (milhas)	(14) Total de habitantes expostos	(15) Habitantes expostos por quilometro	(16) Habitantes expostos por milha	(17) População exposta ao risco
1-r	SP - 330	AK	92,0	98,0	3,75	0,082	9,66	2,967	39,7	102,8	0,5633	0,35	695	116	72	214
1-u	SP - 330	AK	92,0	98,0	3,75	0,062	9,66	2,243	2 451,1	6348,3	0,5633	0,35	42.912	7.152	4.444	9.970
2-r	SP - 330	AK	92,0	98,0	3,75	0,062	9,66	2,243	39,7	102,8	1,1265	0,70	1.390	232	144	323
2-u	SP - 330	AK	92,0	98,0	3,75	0,062	9,66	2,243	2 451,1	6348,3	1,1265	0,70	85.817	14.303	8.887	19.938

Fonte: Planilha elaborada conforme procedimentos descritos no texto

Nota: Conversão de Quilômetros para Milhas 1mi = 1,609344 Km - IPEM (2003)

Para o trecho existente na linha **1-r**, Tabelas 17 e 18, foi considerado que o mesmo passe por uma **área rural**, com uma zona de impacto de **0,35** milhas, resultando em um risco de **214** pessoas expostas.

Para o trecho existente na linha **1-u**, Tabelas 17 e 18, foi considerado que o mesmo passe por uma **área urbana**, com uma zona de impacto de **0,35** milhas, resultando em risco de **9.970** pessoas expostas.

Para o trecho existente na linha **2-r**, Tabelas 17 e 18, foi considerado que o mesmo passe por uma **área rural**, com uma zona de impacto de **0,7** milhas, resultando em risco de **323** pessoas expostas.

Para o trecho existente na linha **2-u**, Tabelas 17 e 18, foi considerado que o mesmo passe por uma **área rural**, com uma zona de impacto de **0,7** milhas, resultando em risco de **19.938** pessoas expostas.

As conseqüências dos resultados obtidos são da adoção dos dados inseridos nas;

Tabela 17 coluna (6) → dados obtidos do Quadro 1.

Tabela 17 coluna (7) → dados obtidos da Tabela 4.

Tabela 18 coluna (7) → dados obtidos da Tabela 6.

Tabela 18 coluna (10) → dados obtidos da Tabela 12.

Tabela 18 coluna (13) → dados obtidos da referência Brown et al (2000).

Tabela 18 coluna (17) → pode-se comparar os efeitos no cálculo do risco do trecho.

#### **5.4 – Conclusão do capítulo subitem 4.5**

➤ Na aplicação, prática da metodologia de Harwood et al (1990), – subitem 5.2 - relativamente às rotas I e II, mostradas nas Figuras 4 e 5, após cálculos efetuados pelas Tabelas 13, 14, 15, 16, constatou-se que a **Rota I** é mais segura que a **Rota II**.

Os riscos estimados no número de pessoas expostas são respectivamente:

- Rota I → 16.716 pessoas expostas.
- Rota II → 25.734 pessoas expostas.

➤ No teste de avaliação da adaptação da variável zona de impacto, na metodologia proposta por Harwood et al (1990), foi selecionado, o trecho da rota II do Km 92,00 ao Km 98,00, junto ao município de Campinas.

Foram feitas as simulações mostradas nas Tabelas 17 e 18, tendo como resultados:

- Trecho AK área rural zona de impacto 0,35 milhas → risco 214 pessoas expostas.
- Trecho AK área urbana zona de impacto 0,35 milhas → risco 9.970 pessoas expostas.
- Trecho AK área rural zona de impacto 0,7 milhas → risco 323 pessoas expostas.
- Trecho AK área urbana zona de impacto 0,7 milhas → risco 19.938 pessoas expostas.

## **6 CONCLUSÃO SOBRE O TRABALHO REALIZADO E SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS.**

### **6.1 Conclusões sobre o subitem 5.2 - aplicação prática da metodologia nas rotas selecionadas.**

Na aplicação da metodologia, proposta por Harwood et al (1990), testada por Ramos (1997), os riscos das duas selecionadas resultaram:

Rota I → risco 16 716 pessoas expostas – Tabelas 13 e 14.

Rota II → risco 25 734 pessoas expostas – Tabelas 15 e 16.

Notar que, para o trecho AK, da rota II, já esta sendo considerado com a largura da zona de impacto de 0,7 milhas. As conseqüências, da adoção da zona de impacto de 0,7 milhas (12) – Tabela 16 são:

- (a) classificação da rodovia coluna (6) – Tabela 15,
- (b) taxa esperada de acidentes coluna (7) – Tabela 15,
- (c) probabilidade de vazamento coluna (9) – Tabela 16,
- (d) densidade populacional coluna (10) – Tabela 16.

Considera-se que o risco populacional, é uma relação entre os fatores número de acidentes com vazamento e o número de pessoas expostas, ao longo do trecho por quilômetro, exprimindo o quanto à população, está exposta a um acidente, com vazamento

em um veículo, que transporta produto perigoso. Este índice de risco, é expresso pelo número de acidentes, vezes o número de pessoas por veículo, por quilômetro e compara o quanto um determinado trecho, oferece de risco a uma população, levando-se em conta, o número de acidentes com caminhões em que houve vazamento.

Sendo esse índice, dependente da extensão, da população envolvida e da taxa de acidentes de cada trecho, não é possível precisar, o quanto o trecho é seguro, entretanto pode se avaliar, se o mesmo oferece, menor ou maior risco, que outro trecho da malha estudada.

Cabe observar que ao longo de ambas as rotas, ocorrem picos de populações expostas que coincidem com as vizinhanças de municípios que margeiam as rodovias, que compõem essas rotas. Fica aqui uma sugestão de promover um estudo acurado, dos possíveis desvios das densidades demográficas dessas áreas, e as suas influencias, não somente para que a taxa de risco diminua, mas também, para que a população fique mais segura.

Como alternativa pode ser estipulada uma taxa de acidentes mínima para cada trecho e comparar com o índice obtido.

Em razão de não ser o propósito deste trabalho estudar rotas alternativas de menor risco, não haverá o estudo pormenorizado a respeito e sim o de propor uma metodologia para comparação entre rotas distintas. Considerando que, a metodologia calcula o risco por segmento de rota, pode-se utilizá-la para classificar cada trecho de interesse, adotando medidas, para que o risco seja eliminado ou diminuído, o que contribuirá para a queda do valor relativo global do risco da rota em análise.

Como exemplo para de diminuir o risco total, pode-se analisar o trecho AK da rota II que vai do Km 92 ao Km 98, SP-330 Em razão do alto valor do risco comparado aos outros trechos e como alternativa de minorar o risco total, deve ser considerado um desvio alternativo ao trecho AK, de tal forma, que a zona de impacto de 0,7 milhas não abranja uma área urbana altamente densa. A proposta é de avaliar um desvio de rota no Km 92

tomando-se a SP 75 → SP 348 → a interligação SP 348 a SP 330 e retorno a rota II originalmente selecionada até o município de Americana. Dessa forma, a nova rota não ficaria “imersa” na área urbana do município de Campinas, diminuindo o risco. Há de se observar que a distância percorrida, aumentou, recalculado o total do risco da nova rota.

É digno de nota salientar, que alguns cuidados devem ser tomados, quanto a seleção de dados para o cálculo de um risco e uma rota e ao compará-lo a uma outra rota alternativa:

➤ **Classificação de rodovias**

O tipo de rodovia escolhido para este caso de aplicação tem padrões de conservação semelhantes as rodovias norte americanas cujas probabilidades foram aplicadas. O desejável é que os dados fossem totalmente locais, pois cada Estado tem uma situação peculiar de conservação e sinalização de rodovias. Condições, que dependem da situação financeira governamental.

Para a constituição de um banco de dados adequado por região, quem atende o acidente deverá ter competência técnica (isento de conseqüências jurídicas), para preencher um formulário padronizado, que forneça dados suficientes para os cálculos necessários. Procedimento, este usual e recomendado pelo DOT nos EUA.

➤ **Densidades populacionais**

Embora o IBGE forneça as **densidades populacionais** urbanas e rurais, as mesmas são valores médios, que não necessariamente refletem a ocupação a margem de uma rota, basta que se observe a não existência de nenhuma casa em determinados trechos da rodovia dos Bandeirantes SP 348, mesmo assim foram consideradas densidades médias. O correto, seria obter fotos atuais via satélite e através de métodos cartográficos calcular as densidades médias prováveis por trecho em estudo.

➤ **Largura da zona de impacto**

Local onde o trecho encontra-se entre um vale de morros escarpados, certamente, havendo um acidente com vazamento a propagação do produto perigoso é muito menor comparado ao trecho que esteja contido num planalto. Dessa forma a largura zona de impacto deve considerar esta condição geográfica especial, o que não é feito nesta metodologia. O correto, seria considerar além da condição geográfica do trecho, as condições probabilísticas dos ventos nos trechos em estudo.

➤ **Média de caminhões**

A média de caminhões, que percorre o trecho de interesse é dada por uma porcentagem sobre a quantidade total de veículos de porte que passam por ali, e não há distinção entre cargas em geral e cargas perigosas, além do que é recomendado pelo DOT: que se faça a amostragem em trechos menores do que 1Km. Uma alternativa é que se cumpra a lei brasileira que obriga o remetente da carga perigosa, a informar a origem, destino e quantidade enviada do produto. Se isto acontecer, pode-se calcular as probabilidades com maior precisão, que seria por volume transportado e não por **veículo\*milha**.

A taxa média de acidentes utilizado na metodologia aplicada é utilizada (ou não), após o teste estatístico Qui-Quadrado, tal taxa é proveniente de uma malha rodoviária norte americana, o que nem sempre reflete a taxa da malha rodoviária brasileira, é pertinente o mesmo comentário e sugestão, para a variável classificação das rodovias, ou seja, é desejável ter taxas brasileiras de maior precisão de cada estado ou região.

## **6.2 Conclusões sobre o subitem 5.3 – Teste de avaliação da adaptação da variável zona de impacto à metodologia proposta por Harwood et al (1990).**

Com o propósito de avaliar se a sensibilidade do parâmetro zona de impacto, foi feita uma simulação no trecho AK na rota II. Esse trecho, foi selecionado em razão de estar imerso em uma zona altamente densa, do município de Campinas.

As simulações, foram feitas nas Tabelas 15 e 16, considerando o trecho passando por uma zona rural e uma zona urbana com uma zona de impacto de 0,35 milhas e de 0,75 milhas.

Constatou-se que houve uma variação de um risco de 214 pessoas expostas para 323 pessoas expostas, quando em uma zona rural foi considerada a variação do parâmetro zona de impacto de 0,35 milhas, para uma zona de impacto de 0,70 milhas. A variação foi de 51% a mais no risco (de pessoas expostas).

Quando a mesma **simulação** foi feita para a zona urbana, a variação do risco foi de 9 970 para 19 938, pessoas expostas. A variação calculada, é de um incremento de 100% a mais no risco, de pessoas expostas. Observa-se que as densidades populacionais foram obtidas a partir de dados do IBGE, considerando-se uma distribuição uniforme na zona rural, o que não reflete a realidade, devendo-se para obter-se uma maior precisão fotos atuais via satélite para observar a real distribuição de domicílios ao longo das rotas em estudo, como uma estimativa mais precisa dessa densidade.

Houve então, um incremento médio de 75 % do risco, o que justifica variar o parâmetro zona de impacto em função do tipo de produto perigoso transportado, (proposto por Hartman neste trabalho), na metodologia proposta por Harwood et al (1990) e testada por Ramos (1997) no Estado de Santa Catarina.

### **6.3 Conclusões sobre o subitem 4.5 Estudo da influência da faixa etária do condutor na ocorrência de acidentes no transporte de produtos perigosos –**

Relativamente, a correlação que existe entre a faixa etária do condutor do veículo que transporta produtos perigosos e o número de acidente que o mesmo se envolve deve ser considerado que, o número de acidentes com produtos perigosos ocasionados única e exclusivamente em função da idade dos motoristas não pode ser identificado. Desta forma,

a probabilidade mostrada no subitem 4.5 está contaminada por outras variáveis, tais como, estado do veículo, condições da rodovia, condições meteorológicas, acondicionamento da carga, carga horária de trabalho, horas de treinamento, tipo de rodovia.

Como inferência, pode-se considerar a validade do estudo de Hartman (2003), pois em termos de Prêmio de Seguro, a faixa etária de um condutor (de carros particulares) influencia no preço final deste.

Pelo exposto acima, que não se pode estabelecer um índice que pondere a equação (1) e metodologia proposta por Harwood et al (1990), aumentando a sensibilidade da mesma.

#### **6.4 Sugestões para pesquisas futuras.**

Fatores especiais devem ser considerados na escolha da rota mais segura, além do valor do risco calculado, tais como, determinados tipos de populações, de hospitais, escolas, instalações militares, indústrias (com grande concentração de pessoas), a existência de atendimento a emergências, corpos d'água e o estado de conservação das rodovias, "Os riscos ambientais constituem uma preocupação nas decisões dos empresários e nos programas de imagem institucional da empresa, por extensão os acidentes com produtos perigosos sendo transportados devem ser incluídos nessa preocupação", Valle (1995). Esses itens devem ser passíveis da criação de índices que possam ser incorporados a equação (1), tornando-a mais sensível e aproximando-se de uma realidade.

Por outro lado, o custo da obtenção de tais índices, deve ser ponderado, pois é de fundamental importância a relação: **custo X benefício**, a qual, é uma das principais preocupações do engenheiro e pesquisador, na realização de qualquer empreitada.

Inclui-se na pesquisa, o desenvolvimento de métodos, para que seja estabelecido um índice de agravamento (ou não) do risco em relação a faixa etária do condutor.

Como proposta de aplicação da metodologia do Harwood et al (1990) e com as contribuições desse trabalho, a seguir, serão mostrados os passos a serem dados e os sugeridos para melhorá-los.

- Passo 1 – Aplicar uma estrutura para o gerenciamento do risco, pois, através de medidas administrativas o risco pode ser eliminado, diminuído ou mitigado.
- Passo 2 – Aplicar a metodologia de avaliação de rotas proposta do Harwood et al (1990).
  - Passo 2a – Na obtenção de dados relativos as rotas, evitar sempre que as rotas atravessem zonas de alta densidade demográfica, pois a variável zona de impacto aumenta significativamente o risco do trecho.
  - Passo 2b – Lembrar que um percurso maior, aumenta a probabilidade da ocorrência de um acidente e do risco, que nada mais é do que a população exposta.
  - Passo 2c – Lembrar que, embora não haja um índice que agrave o risco, o fator faixa etária do motorista influencia na probabilidade da ocorrência de um acidente, dessa forma sugere-se selecionar motoristas com maior experiência neste tipo de atividade.

Ainda deve-se ter em mente que toda a ação busca a prevenção, assim os preceitos de uma detecção precoce de um evento é fundamental, pois está em jogo a vida humana e o meio ambiente. Hartman (1998).

O transporte de produtos perigosos, tem sido feito por algumas empresas de forma profissional, porém os riscos nem sempre são quantificados, os gestores preocupam-se somente com a parte logística e técnica, não considerando as questões de ética, que implicam em responsabilidade social de uma organização e que por vezes esquecem-se do seu relacionamento com o mundo externo, sendo o local em que se transmitem as decisões que afetam as pessoas e o meio ambiente, Moraes (2001).

Durante entrevistas, que foram mantidas com condutores de produtos perigosos, nem sempre os mesmos, tinham o conhecimento da extensão do dano que um vazamento de um produto perigoso causaria, por vezes vários produtos na forma “a granel” são transportados não havendo uma preocupação com a compatibilidade entre os mesmos. Este

fato denota uma falta de conhecimento mais profundo dos riscos, que o próprio condutor esta exposto, assim como as populações lindeiras as rotas. Denota-se que um dos fatores que contribui, para essa falta de informação, é a necessidade de recorrer a ocupações temporárias, para suprir um orçamento familiar, atitude que atualmente, vem sido assumida, devido as recorrências econômicas do país, que se refletem até mesmo nas empresas que vão a procura de fretes e custos mais baixos no transporte, em virtude da vulnerabilidade econômica Uma fiscalização, mais intensa, pode ser uma atitude a ser tomada para garantir uma segurança, no entanto, resolveria em parte o problema, pois haveria sempre a procura de rotas alternativas, que possibilitariam a fuga de uma fiscalização, assim como os desvios dos pedágios.

A conscientização através da educação, informando a população e condutores, poderá ser considerada como a solução mais eficaz do exposto. Tal conscientização, passa pela divulgação dos riscos a que ambos estão expostos, quanto à passagem de um produto perigoso pelas vizinhanças.

## Bibliografia de Referência

- ABKOWITZ, M.,LEPOFSKY, M., CHENG,.P. **Selecting Criteria for Designating Hazardous Materials Routes**. In Transportation Research Record nº 1333, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1992. pp 30-35. Abkowitz et al (1992).
- **AUTOBAN**. Informações recebidas em mídia do Engº Carlos Eduardo M. Costa em junho de 2003. AUTOBAN (2003)
- BARRY, T. F., **An Introduction Quantitative Risk Assessment in Chemical Process Industries** In SPFE Handbook of Fire Protection Engineering, National Fire Protection Association. Massachusetts. 2ª edition 1998, pp 5-102, 5-127. Barry (1998).
- BROWN, D.F., et al. **2000 Emergency Response Guidebook**. Argonne National Laboratory. Illinois 2000, pp 106-128. Brown et al (2000)
- CETESB. **Manual de Orientação Para a Elaboração de Estudos de Análise de Riscos..** CETESB, pp 1-40. São Paulo. CETESB (2000).
- COMPANHIA PERNAMBUCANA DO MEIO AMBIENTE, **Projeto Ambiental no Estado de Pernambuco**. Disponível em: <<http://www.cprh.pe.gov.br/sec-acprh/ctudo-jtz-2002-proj-11.asp>>. Acesso: em 27 out. de 2002. CPRH (2002).
- DEPARTAMENTO DE DEFESA CIVIL DO ESTADO DE SANTA CATARINA: **Produtos Perigosos**. Disponível em: <<http://www.defesacivil.sc.gov.br/principal.htm>>. Acesso: em 1 fev. de 2002. DDCSC (2002).
- DEPARTAMENTO DE DEFESA CIVIL DO ESTADO DO PARANÁ: **Transporte de Produtos Perigosos**. Disponível em: <<http://www.pr.gov.br/defesacivil/transpor.html>>. Acesso em 31 out. de 2002. DDCP (2002).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS – IPR Divisão de Pesquisas e Desenvolvimento: **Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos**. Disponível em: <<http://members.tripod.com/~svaop/>>. Acesso em 28 set de 2002. DNER (2002).
- ERKUT, E. I. A.. **Catastrophe Avoidance Models for Hazardous Route Planning in Transportation Science.**, volume 34, Number 2, Institute for Operations and Management Sciences, Montreal, Canada, 2000. pp 166-179. Erkut (2000).

- FERREIRA , A. A, REIS, A. C. F., PEREIRA. I.M., **Gestão Empresarial: de Taylor aos nossos dias.**São Paulo: Pioneira, 2000. 259p. Ferreira et al (2000).
- GALVES, L.,M., **Apostila de Tópicos Avançados em Engenharia de Transportes** Campinas UNICAMP, 1999. Aula 6, 8p. Galves (1999).
- GRATT, L.B., (1987) **Risk analysis or risk assessment: a proposal for consistent definitions** In: Proceeding of the Decision Making,. Plenum Press, New York, Estados Unidos. Gratt (1987).
- HARTMAN, L.C., **Sistemas de Detecção e Alarme de Incêndios** In CIPA nº 211 CIPA Publicações, São Paulo 1997, pp 118-120. Hartman (1997).
- \_\_\_\_\_, **Detectores de gases 24 de proteção contra o vazamento de gás.** In CIPA nº 220, CIPA Publicações, São Paulo 1998, pp 106-107. Hartman (1998)
- \_\_\_\_\_, **Uma Correlação entre Acidente com Carga Perigosa e a Idade do Condutor,** In CIPA nº 284, CIPA Publicações, São Paulo 2003, pp 64-69. Hartman (2003)
- HARWOOD, W. D., VINER, G. J., RUSSEL, R. E. **Characteistics or Accidents an Incidents in Highway Transportation or Hazardous Materials.** In Transportation Research Record nº 1245, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1989. pp 23-33. Harwood et al (1989).
- \_\_\_\_\_, **Truck Accident Rate Model for Hazardous Materials Routing in the Transportation of Hazardous Materials.** In Transportation Research Record nº 1264, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1990. pp 12-23. Harwood et al (1990).
- HOUAISS, A., SALLES, M.S., **DICIONARIO HOUAISS DA LINGUA PORTUGUESA.** Objetiva. Rio de Janeiro 2002. Houaiss (2002).
- ICF Consulting., **Risk Management Framework for Hazardous Materials Transportation.** 9300 Lee Highway Fairfax, Virginia 22031. ICF (2000).
- IMAI, M. **Kaizen The Key to Japan's Competitive Success.** New York. McGraw-Hill, 1986. 235p. Imai (1986).
- INDAX ADVERTISING. **Manual de Autoproteção para Manuseio e Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos .** São Paulo 1998. INDAX (1998).
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE.,Disponível <<http://www.ibge.gov.br>> acesso em 10 de setembro de 2002. IBGE (2002).

- INSTITUTO DE PÊSOS E MEDIDAS DO ESTADO DE SÃO PAULO – IPEM-SP, **Sistema Internacional de Unidades – SI**. Disponível <<http://www.ipem.sp.gov.br>> acesso em 26 de abril de 2003. IPEM (2003).
- KEONG, H., Tan. **Risk Analysis**. Disponível <<http://home1.pacific.net.sg/~thk>> Acesso em 22 de janeiro de 2003. Keong (2003).
- LOPES, J. N. P., e PAULO, J. E., **Apostila de Segurança e Higiene do Trabalho**. FEI- Faculdade de Engenharia Industrial São Bernardo do Campo. São Paulo, 2001. Lopes e Paulo (2001).
- MERKHOFFER, M.W., **Decision Science and Social Risk Management**., Dordrecht, Holland, 1987, D. Reidel Publishing Company. Merkhofer (1987)
- MORAES, A. M. P., **Iniciação ao Estudo da Administração**. Makron Books São Paulo. 2001. pp14-15. Moraes (2001).
- NATIONAL ADVISORY COMMITTEE ON MICROBIOLOGICAL CRITERIA FOODS. **Hazard Analysis and Critical Control Point Principles and Application Guidelines**, in Journal of Food Protection N° 61:762-775, 1998. NACMCF (1998).
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. (1996). **Understanding Risk: Informing Decisions in a Democratic Society Report** by Committee on Risk Characterization of National Academy of Sciences National Research Council. NAS (1996).
- OXFORD ADVANCED LEARNER'S DICTIONARY, Oxford University Press<sup>th</sup> edition, Oxford, GB. Oxford (1995).
- PIJAWKA, K. DAVID, STEVE FOOTE, E ANDY SOELSILO. **Risk Assessment of Transporting Hazardous Material: Route Analysis and Hazard Management**. In Transportation Research Record n° 1020, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1985. pp 01-06. Pijawka (1985).
- POLÍCIA MILITAR RODOVIÁRIA DO ESTADO DE SÃO PAULO. Informações recebidas em mídia do Coronel Romeu Takami Mizutani em maio de 2003. PRMESP (2003)
- QUINTINO, L.. **Avaliação de Riscos**. dezembro , 2002 Disponível <[http://www.quintino.com/project1/quantificar\\_riscos.htm](http://www.quintino.com/project1/quantificar_riscos.htm)> Acesso em 1 janeiro de 03. Quintino (2003).
- RAMOS, F. B, **Metodologia Para Escolha de Alternativas de Rotas Para o Transporte de Materiais Perigosos**. Dissertação de mestrado apresentada ao Departamento de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Santa Catarina. Orientador Prof. Dr Antonio Galvão Novaes 1997. Ramos (1997).

- REAL, V. M. e BRAGA., M. G. C. **Controle de Riscos no Transporte de Produtos Perigosos no Brasil – Uma Proposta.** Anais do XIV ANPET Gramado RS 2000 v.2. p.267-278. Real e Braga (2000).
- REJDA, G.E.(1995) **Principles of Risk Management and Insurance** 5 ed. chapter 1, Harper Collins College Publishers, New York, USA. Redja (1995).
- RHYNE, R.WILLIAM., **Hazardous Materials Transportation Risk: Quantitative Approaches for Truck and Train.** Van Nostrand Reinhold, New York, NY, 1994. 254p. Rhyne (1994).
- \_\_\_\_\_, **Evaluating Routing Alternatives for Transporting Hazardous Materials Using Simplified Risk Indicators and Complete Probabilistic Risk Analyses.** In Transportation Research Record n° 1264, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1990. pp 1-11. Rhyne (1990).
- ROWE, D. WILLIAM. **Risk Assessment Processes for Hazardous Materials Transportation.** In Transportation Research Record n° 103, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1983. pp 1-27. Rowe (1983).
- SACCOMANNO, F. FRANK, CHAN, A. Y. W. **Economic Evaluation of Routing Strategies for Hazardous Road Shipments.** In Transportation Research Record n° 1020, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1985. pp 12-18. Saccomanno (1985).
- SAVARIZ, M. **Manual de Produtos Perigosos – emergência e transporte.** SAGRA-DC LUZZATTO .Porto Alegre. RS,1994 2ª edição 264p. (Savariz 1994).
- SCALON, D. RAYMOND, CANTILLI, J. EDMUND. **Assessing the Risk and Safety in the Transportation of Hazardous Materials.** In Transportation Research Record n° 1020, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1985. pp 06-11. Scalon (1985).
- SEADE Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados Subprojeto IV – **Informações sobre Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.** Disponível em <<http://www.fundacentro.gov.br/pesquisa/p2s4.PDF>>, Acesso em 4 fev. de 2002. SEADE (2002).
- SECRETARIA DE ESTADO DOS TRANSPORTES DO ESTADO DE SÃO PAULO- **Comissão de Estudos e Prevenção de Acidentes no Transporte Rodoviário de Produtos Perigosos.** Disponível em: <<http://www.sectran.sp.gov.br/noticias/Subcomiss%C3%A3o%20de%20Produtos%20Perigosos%20do%20Vale%20do%20Ribeira.htm>>. Acesso em 31 out. de 2002. SECTRANSP (2002).

- SLACK, N,...et. al.: **Administração da Produção**. Tradução: vários tradutores. São Paulo: Atlas S.A, 1997. pp 619 – 649. Slack, N., et al (1997)
  - THE NATIONAL ASSOCIATION OF CHEMICAL DISTRIBUTORS. **The Responsible Distribution Process**, Revison #3 .march 1999. NACD (1999).
  - TORREIRA, R. P.,. **Segurança Industrial e Saúde**. São Paulo: Palas Atenas, 693p.Torreira (1997).
  - UNIVERSIDADE DO ESTADO DE SANTA CATARINA. Disponível <<http://www.udesc.br>> Acesso em 31 de outubro de 2002. UDESC (1996).
  - U.S. COCCUPATIONAL SAFETY AND HELTH ADMINISTRATION. **Process Safety Management Standard 29CFR1910**. O.S.H.A (1999)
  - U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION RESEARCH - **Biennial Report on Hazardous Materials Transportation Calendar Years 1996 –1997**, Washington, DC, Aug 1999. pp 1- 255.DOT (1999).
  - U.S. DEPARTMENT OF TRANSPORTATION RESEARCH AND SPECIAL PROGRAMS ADMINISTRATION. **Risk Based Decision Making in the Hazardous Materials Safety Program**, July 1998. Disponível <<http://hazmat.dot.gov/risik.htm>> Acesso em 21 de agosto de 02. DOT (1998).
  - U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Risk Management Program Rule. 40CFR68**. EPA (1999).
- 
- VALLE, C.Y., **Qualidade Ambiental O Desafio de Ser Competitivo Protegendo o Meio Ambiente**. São Paulo. Pioneira, 117p. Valle (1995).
  - ZEGEER, V. CHARLES. **Highway Accident Analysis Systems**. in Transportation Research Record n° 91, TRB Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1982. pp 01-69. Zegeer (1982)

### **Bibliografia de Apoio**

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TECNICAS. **NBR 6023**: informação e documentação – referências – elaboração. Rio de Janeiro, 2000. 22 p.
- \_\_\_\_\_ **NBR 6029**: apresentação de livros. Rio de Janeiro, 1993. 5 p.

## **ANEXO 1 .**

### **Ferramentas utilizadas nas metodologias para análise de riscos no transporte de produtos perigosos.**

Este anexo tem como propósito, mostrar o que existe de mais relevante, no que tange a metodologias, para uma análise quantitativa de riscos no transporte de produtos perigosos, via rodovias, que é o escopo principal deste trabalho.

O risco, é usualmente definido como o produto de **probabilidade da ocorrência um acidente (em um determinado cenário) e pela magnitude das conseqüências desse acidente**, Rhyne (1994). Rowe (1983), caracterizou as metodologias para análise quantitativa de riscos para o transporte de produtos perigosos de três formas: **(1) como são combinados os dois parâmetros para se chegar ao cálculo do risco, (2) o nível de detalhamento, (3) os métodos para a obtenção de dados e modelamento desses parâmetros.**

Rowe (1983), deu como exemplo a combinação parâmetros de cálculo do risco, os parâmetros que compõe as conseqüências, para simplificar a forma de ocorrência de um acidente. Desta forma o “risco” é a “frequência em que ocorre um acidente”. Outra combinação de parâmetros no exemplo, dado por Rowe, é o uso do valor esperado do risco:

o produto da frequência do acidente (em um determinado cenário) e a magnitude da consequência. Para o nível de detalhamento, Rowe descreve uma formulação de “*bottom-up*” (baixo para cima) onde são obtidos valores para riscos menores que em uma somatória compõe o risco total. Este procedimento contrasta com outros do gênero, que partem de um risco de maior nível, detalhando-o, levando-o a análises detalhadas dos riscos de menores níveis. Rowe, preconiza a utilização da árvore de falhas, construída com valores médios de acidentes. Esta abordagem, é tida por Rowe como a mais refinada forma de processamento dos dados para estimar um risco, onde as relações entre causa e efeito podem ser utilizadas para o cálculo do risco global.

No procedimento “*top-down*” (de cima para baixo), segundo Rowe (1983), a obtenção de dados é mais difícil, particularmente para o cálculo do risco absoluto.

Rhyne (1994), considera que a melhor forma de se obter uma análise quantitativa do risco, é a agregação de dados, independente de ser de baixo para cima ou de cima para baixo, pois toda análise de risco, agrega o risco produzido por componentes do mesmo nível. Antes desta caracterização da metodologia de análise de risco, devem ser considerados os dois parâmetros, a frequência e a consequência, os quais precisam ser definidos em detalhes.

A componente *frequência* do risco pode ser composta de três sub-componentes; **a frequência do acidente, a probabilidade condicional de um vazamento** dado que, num determinado acidente tenha ocorrido, e **a probabilidade condicional que seja proveniente de um componente da consequência**, tais como, as condições meteorológicas, Rhyne (1994).

A componente *consequência* do risco, é constituída de três sub-componentes: **a quantidade de material liberado, o número de pessoas expostas, e os efeitos à saúde resultantes da exposição ao produto liberado.**

Os procedimentos numéricos de avaliar cada um desses seis componentes, são dependentes do propósito a inicialmente esta avaliação foi destinada. Se, por exemplo, os aspectos de projeto da segurança do tanque de armazenamento, estão sendo direcionados as características de segurança das válvulas ou das blindagens, então os parâmetros de risco na concepção e projeto desse tanque, deverão ser avaliados explicitamente. Entretanto, se o interesse esta voltado para controles administrativos, tais como controle especial de velocidade, que são comumente considerados como fonte de redução de risco, então esses controles deverão ser explicitamente avaliados nos parâmetros de risco.

Duas seqüências para a análise de risco são mostradas na Figura 6. A seqüência inicia com a **frequência do acidente ( $F_1$ )** A probabilidade condicional do conteúdo vazamento é subdividida dentro da **probabilidade de ocorrer um tipo de força no acidente ( $P_2$ )**, a **probabilidade condicional que a magnitude de força ocorra no acidente ( $P_3$ )**, e a **probabilidade condicional que a magnitude é suficiente para causar falha no tanque ( $P_4$ )**. Os componentes da consequência consistem; **na quantidade de produto que vazou ( $A$ )**, a **dispersão do produto que vazou e afetou a saúde da população exposta ( $X$ )**, e o **número de pessoas expostas ao vazamento ( $N$ )**.

Cada bloco na Figura 6, pode ser avaliado como uma função das variáveis indicadas, por exemplo, a probabilidade condicional das forças que ocorrem advindas do acidente, é função do modo de transporte.(Na prática, as variáveis são independentes e estão em grande número, mas o usual, é agregá-las em uma única variável dependente).

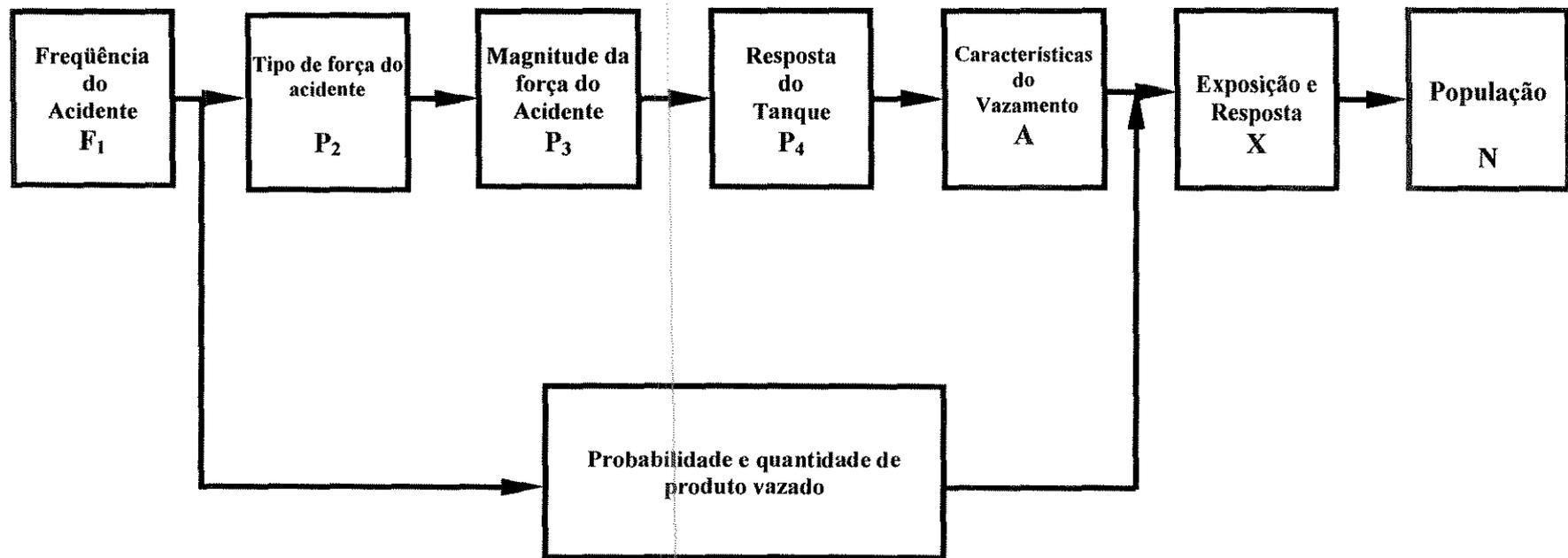


Figura 6— Duas seqüências possíveis para a avaliação de risco no transporte de produtos perigosos  
 Fonte: Rhyne (1994).

A seqüência existente na parte inferior da Figura 6, representada por um único bloco, consiste na freqüência do acidente, uma expressão da probabilidade condicional da quantidade de produto vazado, os efeitos à saúde em razão de uma determinada exposição, e o número de pessoas expostas. Para a utilização da seqüência inferior, a probabilidade condicional e a quantidade de produto que vazou, precisam ser desenvolvidos inicialmente.

Deve-se considerar, que a seqüência existente na parte superior da Figura 6, é presumida como a mais acurada, mas também a de maior custo de implementação, já a seqüência inferior é presumidamente menos precisa mas, a co-relação freqüência / quantidade, é disponibilizada prontamente e mais fácil de ser implementada. A seqüência superior, é usualmente utilizada quando se deseja determinados detalhes de projetos, a inferior, é aplicada na determinação do risco, somente.

A escolha entre o procedimento preditivo e histórico pode ser melhor ilustrada através da Figura 7.

O analista de risco, precisa decidir sempre, que dispõem\_qual a seqüência que vai ser aplicada em função do tipo de cálculo que vai efetuar, dos dados disponíveis e o que vai necessitar para um problema em particular. Desta, forma o analista deve possuir conhecimentos de técnicas que propiciem uma forma de prever os efeitos sobre o risco, no caso de uma alteração de parâmetros (dados históricos sobre um determinado risco), que não estejam disponíveis. Esta escolha de procedimento, ilustra duas classes de análise de risco no transporte de produtos perigosos: Genericamente falando, o procedimento preditivo é sinônimo de metodologia **de baixo para cima** e o baseado em histórico é sinônimo de metodologia **de cima para baixo**.

O analista de risco, deverá optar pela utilização direta de dados que se apliquem a uma determinada situação, contudo, se os dados não puderem ser aplicados, o emprego da ação preditiva com modelos usuais na engenharia compostos dos dados disponíveis, deverá ser adotado, para a construção de uma aproximação da metodologia de baixo para cima. Um analista, que utilize dados históricos como metodologia, deverá adotar como

parâmetros situações similares havidas , tais como características similares de produtos perigosos e dos tanques de transporte de armazenamento e transporte, Rhyne (1994).

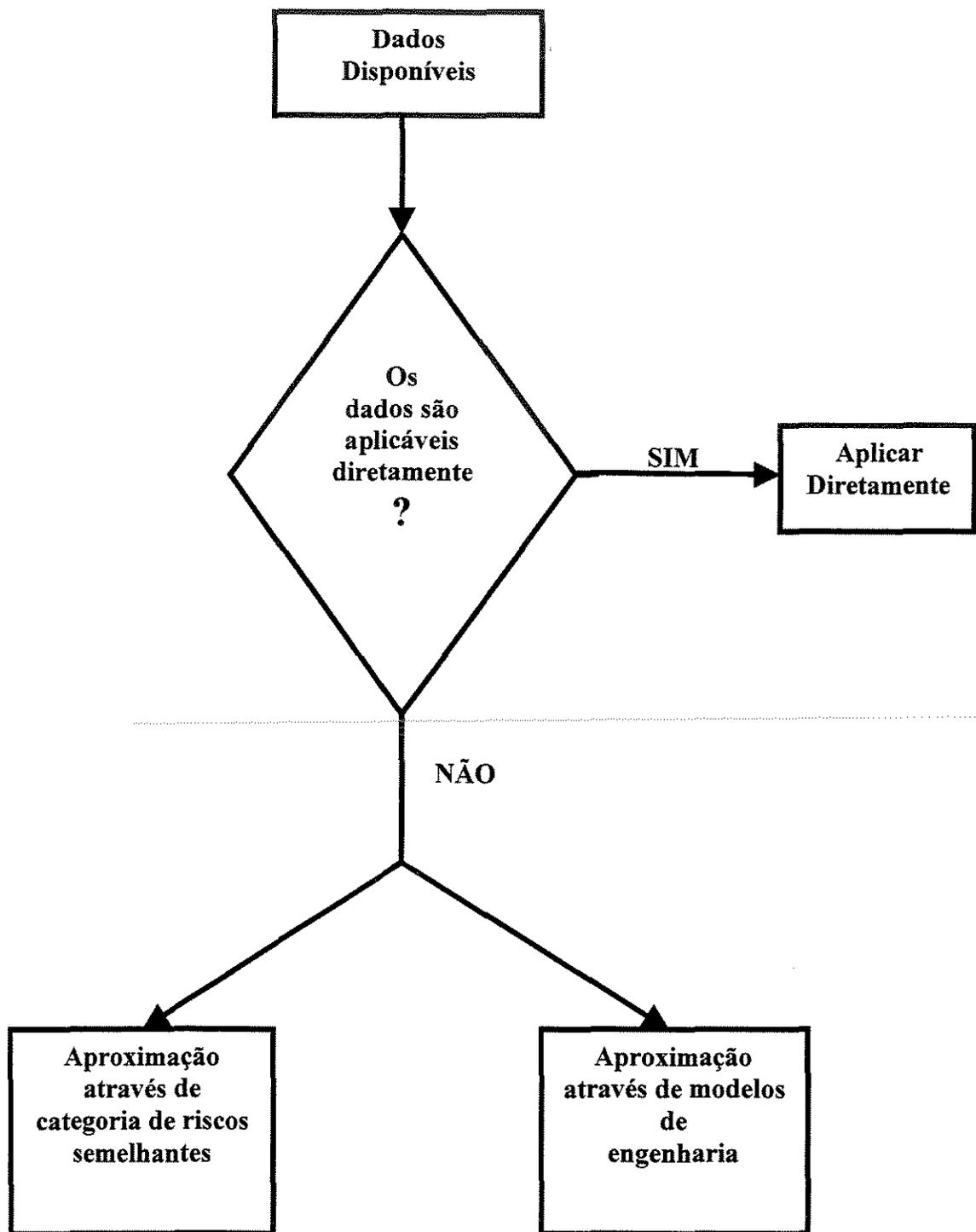


Figura 7 - Comparação entre metodologia histórica e preditiva.  
Fonte: Rhyne (1994).

Keong (2003), sugere três metodologias para análise de riscos: **Análise Preliminar de Riscos (PHA)**, **Estudo Operacional e Risco (HAZOP)** e **Modos de Falhas e Análise de Efeitos (FMEA / FMECA)**.

A **Análise Preliminar de Riscos (PHA)**, ou também chamada de análise de risco, é uma técnica quantitativa, que envolve uma análise disciplinada da seqüência de eventos que puderam transformar um risco em potencial, em acidente. Nesta técnica as possibilidades de eventos indesejáveis são identificadas inicialmente e então analisadas separadamente. Para cada evento indesejável ou risco, possíveis medidas preventivas são formuladas e adotadas. O resultado desta metodologia, é a obtenção de uma base de informações que permite determinar a que categoria o risco pertence, e adotar qual a metodologia mais adequada a ser adotada, para a análise deste risco. Tal análise também fornece valores das medidas de falta de segurança existentes no meio ambiente do risco. Com a ajuda do diagrama frequência / conseqüência, a identificação dos riscos pode ser então classificadas através de medidas e tomada uma ação de priorização na prevenção dos possíveis acidentes.

O **Estudo Operacional e Risco (HAZOP)**, sugerido por Keong (2003) é uma técnica desenvolvida nos anos 70 pela Imperial Chemical Industries Ltd, é mais comumente conhecida por HAZOP, podendo ser definida, como uma aplicação formal sistêmica de um exame crítico do processo, e da “engenharia” existente ou a ser implantada no conjunto do processo de fabricação e sistemas de apoio “*facilities*”, na avaliação do potencial de surgimento de riscos, provenientes de um desvio de especificações e projeto e conseqüência de efeitos, resultantes como um todo. Esta técnica, é construída adotando-se um conjunto de palavras tidas com “guias”: **NÃO, MAIS OU MENOS DE, TAL COMO, PARTE DO CONTRÁRIO, E OUTRO ENTÃO**. A partir dessas expressões “guias”, cenários que podem resultar em riscos ou em um problema operacional podem ser identificados. Considere um fluxo de problemas na linha de processo, a palavra guia **MAIS DE**, corresponderá a uma taxa de fluxo, enquanto a **MENOR DO QUE**, corresponderá a uma baixa taxa de fluxo. As conseqüências do risco e das medidas para reduzi-rem a frequência com que o risco ocorrerá serão então abordadas e discutidas. Esta técnica tem ganho, uma

grande aceitação nos processos industriais como uma ferramenta efetiva para a segurança de uma planta, a melhora da operacionalidade.

A metodologia dos **Modos de Falhas e Análise de Efeitos** (FMEA / FMECA), foi desenvolvida nos anos 50, por engenheiros que tinham a necessidade de ter uma confiabilidade em determinar problemas que poderiam surgir de uma operação de sistemas militar. O modo de falhas e análise de efeitos é um procedimento pelo qual cada potencial do modo de falha, é analisado para determinar seu efeito sobre o sistema e classificá-lo conforme a sua severidade.

Quando a FMEA é ampliada através a análise crítica, então a técnica é denominada modo de falha e análise de efeitos críticos (FMECA). Modo de falhas e análise de efeitos tem ganho uma grande aceitação nas indústrias aéreo-espaciais e militares. Na prática, esta técnica tem sido adaptada como o “modo errado” (de se fazer) e a análise de efeitos, Keong (2003).

Segundo Slack, N., et. al (1997) a FEMEA, é o meio de identificar as falhas antes que aconteçam, através de um procedimento de “lista de verificação” (*check-list*): que é construída em torno de três perguntas chave:

Para cada causa possível de falha:

- Qual é a probabilidade da falha ocorrer?
- Qual seria a conseqüência da falha?
- Com qual probabilidade essa falha é detectada antes que afete a operação ?

Baseado em uma avaliação quantitativa dessas três perguntas, é calculado um *número de prioridade de risco* (NPR), para cada potencial de falha. Ações corretivas que visam prevenir falhas, são então aplicadas às causas.

É essencialmente um processo de sete etapas.

- Etapa 1 Identificar todas as partes componentes dos produtos ou serviços.
- Etapa 2 Listar todas as formas possíveis, segundo as quais os componentes poderiam falhar (os modos de falhas).
  - Etapa 3 Identificar os efeitos possíveis das falhas (segurança, necessidade de consertos, efeitos para os clientes).
  - Etapa 4 Identificar todas as causas possíveis das falhas, para cada modo de falha.
  - Etapa 5 Avaliar a probabilidade de falha, a severidade dos efeitos da falha e a probabilidade de detecção (Slack, N. et. al (1997), fornece uma tabela para avaliação para a FMEA).
  - Etapa 6 Calcular o NPR, multiplicando as três avaliações entre si.
  - Etapa 7 Instigar ação corretiva que diminuirá falhas, nos **modos de falha** que mostraram um alto NPR.

Como técnica de análise de falhas a Bell Telephone, desenvolveu para Intercontinental Ballistic Missile Launch Control System, a metodologia da **Árvore de Falhas** em 1962, Keong (2003). A **Árvore de Falhas**, é um diagrama lógico, que mostra a relação entre as falhas do sistema, isto é, entre um evento indesejável e as falhas dos componentes do sistema, Slack, N., et. al (1997). É uma técnica baseada em lógica dedutiva, um evento indesejável é inicialmente definido e as relações de causa das falhas que levaram ao evento são identificadas, Keong (2003). Um exemplo típico de Árvore de Falhas, é mostrado na Figura 8.

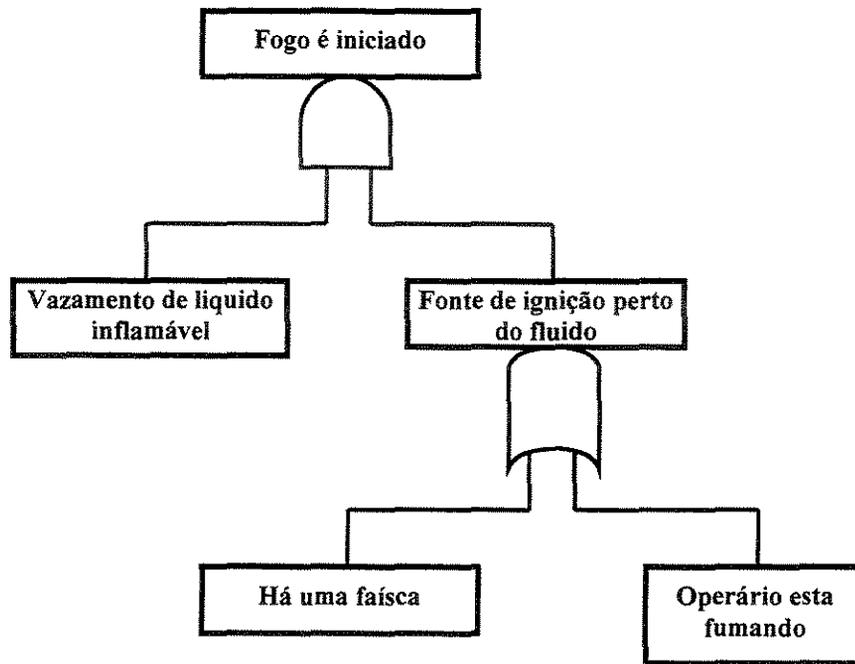


Figura 8 - Árvore de falhas para o evento "Fogo iniciado"  
 Fonte: Keong (2003).

A metodologia da **Árvore de Decisões**, é aplicada para ilustrar a seqüências de resultados, os quais, podem surgir após a ocorrência de um evento inicialmente selecionado. Esta técnica, tal como a da Árvore de Falhas, utiliza lógica dedutiva. Ela é principalmente usada, nas análises de conseqüências de uma aplicação de "pré-acidente" e um "pós- acidente", Keong (2003). Conforme Galves (1999), a organização lógica das informações necessárias de um problema, é feita por meio deste tipo de "árvore", cuja estrutura básica, para o caso de um único atributo, é ilustrada na Figura 9.

As alternativas consideradas partem de um nó de decisão (representada pelo quadrado), controlado pelo decisor. Os nós de acaso (círculos), dão origem a ramos correspondentes a possíveis valores do atributo, que estão sujeitos a incertezas.

Os valores do atributo, representam conseqüências associadas às alternativas: a cada uma dessas conseqüências, corresponde uma probabilidade de ocorrência e um valor de utilidade, atribuído pelo decisor.

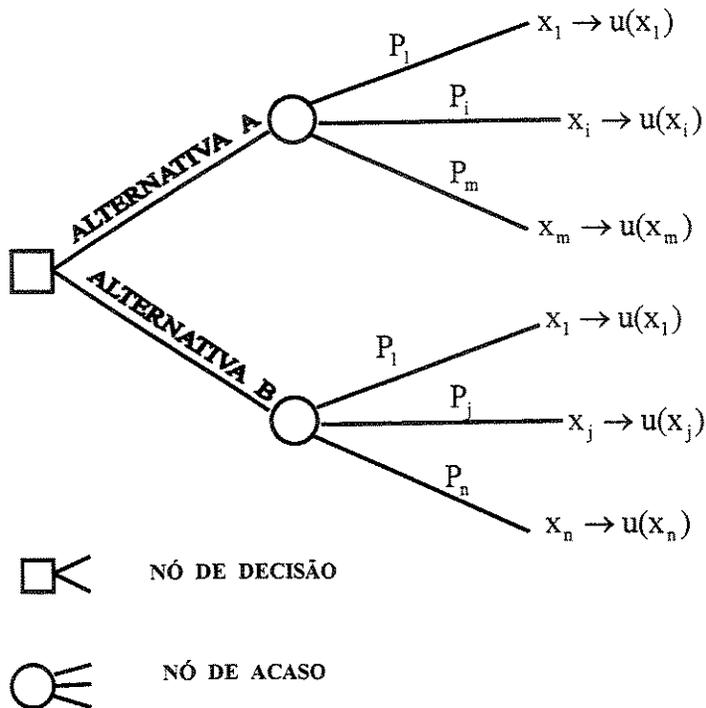


Figura 9 - Árvore de decisões para um problema com atributo  
 Fonte: Galves (1999).

A árvore de decisões para um problema com múltiplos objetivos, é mostrada de maneira simplificada na Figura 10, tendo-se incluído a alternativa de não realização do projeto. É recomendado que essa alternativa, a qual, também estão associadas conseqüências, seja considerada como pano de fundo da análise, pois é em relação a ela que serão avaliados os impactos positivos e negativos, das demais alternativas.

Em situações como da Figura 10, as conseqüências, são expressas por meio de um conjunto de valores, sendo entao, necessário especificar a **função utilidade multiatributos**. A **função utilidade** para o conjunto de atributos expressa as preferências do decisor com relação às conseqüências associadas a uma dada alternativa. A Teoria de Utilidade, admite que um indivíduo é capaz de escolher entre as alternativas consideradas, de tal forma, que a satisfação proveniente da sua escolha, seja a maior possível; desde que determinados axiomas sejam aceitos, pode-se obter a função utilidade do decisor, que a representação formal matemática da sua estrutura de preferências, em uma escala foi por ele determinada, Galves (1999).

Os axiomas da Teoria da Utilidade, especificados e apresentados a seguir, equivalem a, admitir que as pessoas são racionais e consistentes ao escolher entre situações de risco:

- Dadas duas alternativas  $A_1$  e  $A_2$ , o indivíduo deve: preferir  $A_1$  a  $A_2$  ou ser indiferente entre elas:

- A avaliação de alternativas feita pelo indivíduo é transitiva: se ele prefere  $A_1$  a  $A_2$  e  $A_2$  a  $A_3$  então ele prefere  $A_1$  a  $A_3$ ;

- Admita-se que  $A_1$  seja preferível a  $A_2$  e  $A_2$  preferível a  $A_3$  então, existe uma probabilidade  $p$  ( $0 \leq p \leq 1$ ), para a qual o indivíduo é indiferente entre obter  $A_2$  com certeza ou obter  $A_1$  com probabilidade  $p$  e  $A_3$  com probabilidade  $(1-p)$ . Em outras palavras, existe um equivalente determinístico (“*certainty equivalent*”) para qualquer loteria:

- Admitindo que um indivíduo seja indiferente entre  $A_1$ ,  $A_2$ , e se  $A_3$  for uma terceira alternativa, então ela será indiferente entre as seguintes loterias: loteria 1 corresponde a uma probabilidade  $p$  de receber  $A_1$  e  $(1-p)$  de receber  $A_3$ . A loteria 2, corresponde a uma probabilidade  $p$  de receber  $A_2$  e  $(1-p)$  de receber  $A_3$ .

A consequência  $\underline{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ , associada a uma certa alternativa, é descrita por meio dos níveis  $x_i$  dos atributos  $X_j$ . As possíveis consequências, variam de um resultado menos desejável, cuja notação adotada é  $\underline{x}^-$ , até um resultado mais desejável  $\underline{x}^+$ .

A função utilidade multi-atributos, é representada por  $u(\underline{x})$  ou  $u(x_1, x_2, \dots, x_n)$ : define-se arbitrariamente, que  $u(\underline{x}^-) = 0$  e que  $u(\underline{x}^+) = 1$ . De acordo com, Winkler(1972) apud Galves (1999) essa função deve possuir as seguintes propriedades:

$u(x_1', \dots, x_n') > u(x_1'', \dots, x_n'')$  se e apenas se  $(x_1', \dots, x_n')$  for preferível a  $(x_1'', \dots, x_n'')$ : e em situações que envolveram incerteza, o valor esperado de  $u$  é um critério apropriado para a tomada de decisões

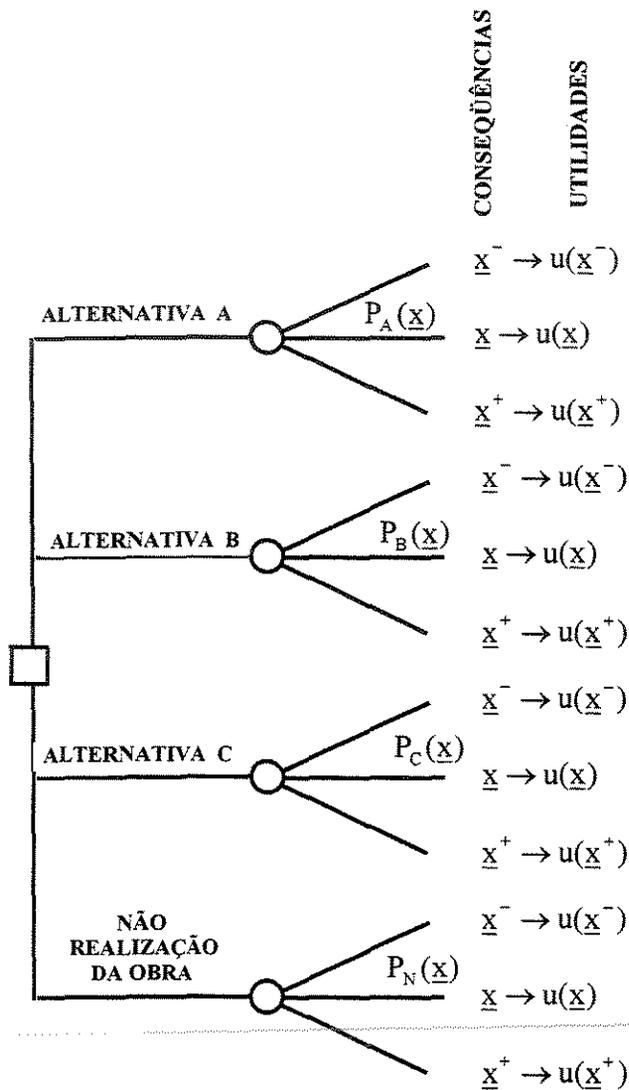
Keeney (1974) apud Galves (1999), mostrou que quando duas condições de

independência são satisfeitas pelas preferências do decisor,  $u(\mathbf{x})$  pode ter uma forma simples. Essas condições :

- Independência preferencial (“preferential independence”); o par de atributos  $\{X_1, X_2\}$  é preferencialmente independente dos atributos  $\{X_3, \dots, X_n\}$  se preferências entre valores de  $\{X_1, X_2\}$ , dado que  $\{X_3, \dots, X_n\}$  são mantidos constantes, não dependem do nível em que  $\{X_3, \dots, X_n\}$  forem fixados.

A condição de independência preferencial implica que trocas entre os atributos  $X_1$  e  $X_2$  dependem de  $X_3, \dots, X_n$ .

Independência de utilidade (“*utility independence*”): o atributo  $X_1$  é independente da utilidade dos outros atributos  $\{X_2, \dots, X_n\}$  se preferências entre loterias em  $X_1$  (isto é, loterias com incerteza apenas sobre o valor de  $X_1$ ), dado que  $\{X_2, \dots, X_n\}$  são fixos, dependerem do níveis em que estes atributos forem fixados.



 NÓ DE DECISÃO

 NÓ DE ACASO

$\underline{x}^- = (x_1^-, x_2^-, \dots, x_n^-)$ : CONSEQÜÊNCIAS MENOS DESEJÁVEIS

$\underline{x}^+ = (x_1^+, x_2^+, \dots, x_n^+)$ : CONSEQÜÊNCIAS MAIS DESEJÁVEIS

$P_A(\underline{x})$ : DISTRIBUIÇÃO DE PROBABILIDADE DA ALTERNATIVA A

Figura 10 - Árvore de decisões simplificada para um problema com atributos múltiplos.  
Fonte:Galves (1999).

A condição de independência de utilidade, é necessária e suficiente para que exista uma única **função utilidade** para cada atributo, sendo mais forte que a condição de

independência preferencial.

As formas simples da função utilidade multi-atributos, propostas por Keeney (1974) apud Galves (1999) são:

aditiva

$$u(x_1, x_2, \dots, x_n) = \sum_{i=1}^n k_i u_i(x_i) \quad (1)$$

multiplicativa

$$1 + k u(x_1, x_2, \dots, x_n) = \prod_{i=1}^n [1 + k k_i u_i(x_i)] \quad (2)$$

Onde:

$u_i$  é a função utilidade para o atributo  $X_i$ , limitada entre 0, para  $x_i = x_i^-$ , e 1 para  $x_i = x_i^+$ ;

$k_i$  são fatores de ponderação das funções utilidade  $u_i(x_i)$ , positivos e menores que um: e

$k$  é uma constante calculada a partir dos fatores  $k_i$

$$1 + k = \prod_{i=1}^n (1 + k k_i) \quad (3)$$

Pela Equação 3 infere-se que  $k > -1$

A obtenção da função utilidade multi-atributos,  $u(\underline{x})$ , compreende as seguintes atividades: **verificação das condições de independência**, **definição da forma da função**, **estimativa da função utilidade para cada atributo**,  $u_i(x_i)$ , e **estimativa dos fatores de ponderação**  $k_i$ . Essas atividades, requerem diversas estimativas que podem ser feitas pelo próprio decisor, entretanto, tais estimativas envolvem aspectos técnicos específicos, razão pela qual, o decisor costuma designar especialistas, denominados avaliadores, para representá-lo, Galves (1999).

Segundo Keeney e Nair (1974) apud Galves (1999) obtenção de  $u_i(x_i)$  e  $k_i$  não é tarefa fácil, sendo que a estimativa inicial serve de base para discussões, modificações e aperfeiçoamentos. Após algumas interações, os autores consideram ser possível, obter uma função utilidade, que represente as preferências do decisor.

A análise resultante da metodologia, Causa-conseqüência (CCA), é uma composição das metodologias; Árvore de Falhas e Árvore de Eventos. Esta técnica combina a análise de causas (descrita como Árvore de Falhas) e análise das conseqüências (descrita como Árvore de Eventos), sendo aplicada análise dedutiva e indutiva. O propósito da CCA, é identificar a cadeia de eventos que resultem em conseqüências indesejáveis. Com as probabilidades do vários eventos no diagrama da CCA, as probabilidades das várias conseqüências podem ser calculadas, estabelecendo-se o nível de risco do sistema. A Figura 11 mostra um típico diagrama da CCA.

Esta técnica foi desenvolvida pelos Laboratórios RISO na Dinamarca para aplicações em usinas nucleares, contudo ela pode ser aplicada a outros tipos de sistemas e conjuntos, os quais, se deseja avaliar o risco, estimando-se a segurança de um sistema de proteção, Keong (2003).

---

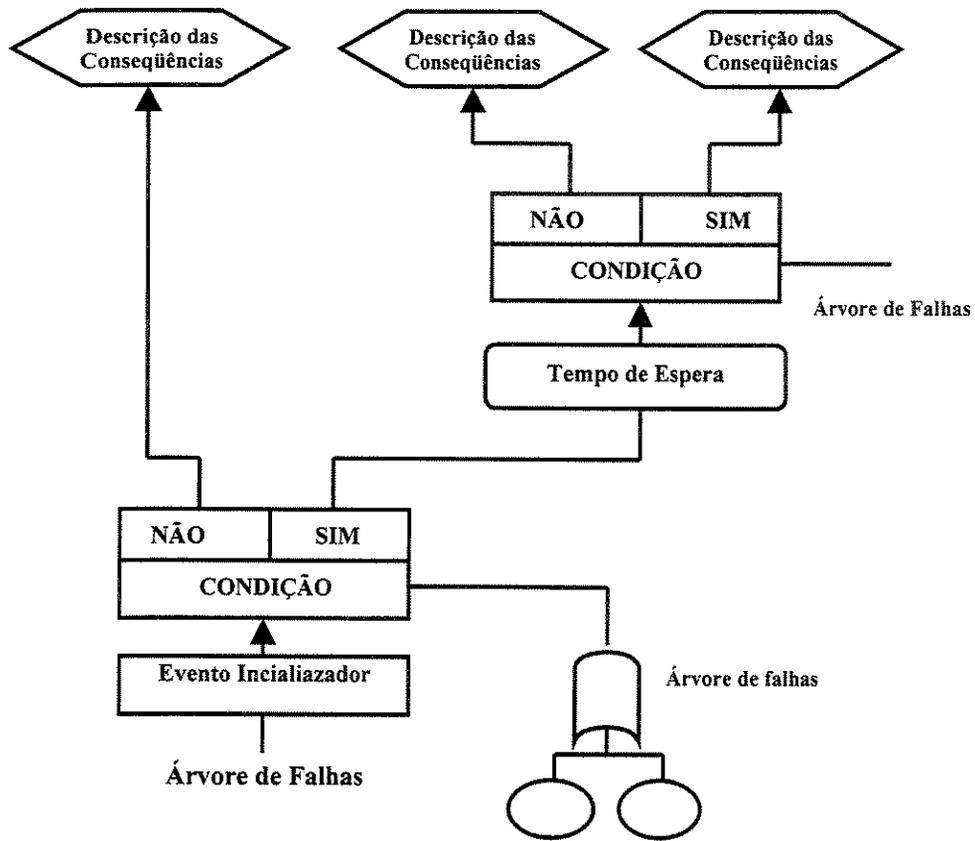


Figura 11 - Típica análise de causa-conseqüências.  
 Fonte: Keong (2003).

## **ANEXO 2.**

### **Estrutura para o gerenciamento de riscos**

É importante observar, que a aplicação de qualquer metodologia avalie o risco de uma rota é necessária, que se tenha previamente implantado um sistema de gerenciamento de riscos pois, somente desta forma, pode-se identificar o risco e a suas implicações, assim como minimizá-lo ou até mesmo eliminá-lo do processo de transporte. Estes procedimentos que precedem a avaliação de uma rota, determinarão, o quanto acurada deverá ser esta avaliação, isto implica na necessidade de obtenção de uma quantidade maior ou menor de dados e um conseqüente custo deste trabalho. Normalmente sendo restritos os recursos econômicos disponíveis, torna-se imprescindível este gerenciamento e é por isso que este trabalho mostra conceitos básicos gerais, de controle e administração dos riscos aplicado ao transporte de produtos perigosos.

Envolvidos em novas estratégias, órgãos gestores de riscos, aprimoraram a avaliação e o gerenciamento de riscos, é com este propósito que o U.S. Department of Transportation's (D.O.T.) Research and Special Programs Administration (R.S.P.A.) administra um programa de segurança relativo ao transporte de produtos perigosos, com o objetivo de proteger a vida humana, a propriedade e o meio ambiente, ICF (2000).

Embora os acidentes com produtos perigosos que resultem em vazamentos ocorram ocasionalmente, muitos observadores acreditam, que se deva adotar um programa de segurança relativo a esse transporte. Os esforços para a implementação de tais

programas, devem ser oriundos das entidades governamentais e do setor privado, com a elaboração de normas e regulamentações sobre o transporte e manipulação de produtos perigosos, quando estes tenham um potencial de causar danos e mortes. Para reduzir o número e a possibilidade de impacto de acidentes com produtos perigosos onde haja vazamentos, o R.S.P.A. tem tido como prioridade, a utilização de métodos estruturados de avaliação de riscos, sendo também incentivados os transportadores e os que estão envolvidos na manipulação desses produtos, a elaborar uma avaliação pró ativa dos riscos, e procurando adotar procedimentos para reduzi-los, ICF (2000).

O ICF (2000) sugere a utilização da estrutura para gerenciamento de riscos elaborado pelo R.S.P.A., relativa ao transporte de produtos perigosos. A estrutura de gerenciamento de riscos, é abrangente no seu escopo, cobrindo toda a gama de produtos perigosos, formas de transporte e partes envolvidas, nesse tipo de atividade de transporte. O objetivo desta estrutura de gerenciamento de riscos, é ser acessível, compreensível e cobrir a maior quantidade dos aspectos, que possam envolver o transporte de produtos perigosos.

### **Implementação de Uma Estrutura Para o Gerenciamento de Riscos**

Justificando o propósito da implementação de uma estrutura de gerenciamento de riscos, mostra-se necessária para que a metodologia do cálculo, propriamente dita de um risco, seja eleita dentre as que existem disponíveis. Somente após a estrutura de gerenciamento estar claramente implantada, haverá um banco de dados disponível para o uso no cálculo deste risco, caso contrario teremos resultados teóricos, que nem sempre refletem uma situação do perigo real a que as pessoas, a biota e o patrimônio estarão expostos.

A implantação de uma estrutura de gerenciamento de riscos, não significa criar atividades em duplicidade com o gerenciamento de riscos já existentes, mas sim complementá-las, servindo também, de modelo onde não haja implantação. Ela é direcionada para ajudar as partes envolvidas, tais como as pessoas responsáveis pelo carregamento e descarregamento do produto, transportadores, armazenadores, fabricantes,

responsáveis pelos serviços em caso de emergência, entidades governamentais, e quem gerencia o efetivo custo do transporte de produtos perigosos. A estrutura proposta, deve ser flexível o necessário para que possa ser adaptada e aplicada pelas várias partes em uma grande quantidade de situações, ela deve ainda, ser abrangente, partindo de pontos em comum que descrevam três princípios:

- uma filosofia básica para uma estrutura de gerenciamento de riscos
- um conjunto de princípios fundamentais, uma estrutura de gerenciamento de riscos
- um modelo geral aplicável ao gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos.

O objetivo do R.S.P.A., é promover uma redução nos riscos ao ser humano e ao meio ambiente, associados ao transporte de produtos perigosos, sem que com isto, seja imposta uma nova legislação e um aumento conseqüente de custos à atividade de transporte. Resumidamente, o R.S.P.A. tem com propósito, reduzir o número de acidentes onde estes ocorrerem e reduzir os conseqüentes impactos.

O R.S.P.A., reconhece que as partes envolvidas no transporte de produtos perigosos, são objetos de uma extensiva regulamentação federal e que muitas partes já implementaram algum grau de gerenciamento de risco, além desta regulamentação. O R.S.P.A., quer incentivar e agregar esforços, para que este gerenciamento seja adotado a outras comunidades que não tenham o controle destes riscos, aos quais, estão expostas. O R.S.P.A., acredita, que a promoção e a expansão de uma forma construtiva na utilização de conceitos técnicas de gerenciamento e avaliação de riscos, para o transporte de produtos perigosos, implemente um controle mais efetivo e eficaz de riscos imediatos e futuros. Um dos objetivos importantes da iniciativa do R.S.P.A., é fornecer meios, para ajudar a identificar os riscos com o transporte de produtos perigosos, que possam não estar abordados corretamente ou amplamente, pela regulamentação existente ou compreendidos na suas extensões pelas partes envolvidas, ICF (2000).

Uma estrutura destinada ao gerenciamento de riscos no transporte de produtos

perigosos, deve ser compreensiva a todos envolvidos e integrativa por natureza, mas não necessariamente detalhada, devendo ser complementada quando necessária, através de métodos específicos, ferramentas e documentos detalhados. A estrutura para o gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos tem três elementos básicos mostrados na Figura 12

(1) uma filosofia básica, reduzida para uma avaliação pró-ativa dos riscos existentes, reduzindo-os.

(2) um conjunto de princípios fundamentais para guiar em todos os níveis de decisões e ações do gerenciamento de riscos.

(3) uma modelagem genérica, de gerenciamento de risco que pode ser utilizada e adaptada a muitas aplicações, em específico, e por todas as partes envolvidas no transporte de produtos perigosos.



**Figura 12 – Estrutura para o gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos**  
Fonte: ICF (2000).

Existe grande número de meios de transporte de produtos perigosos, que são extremamente complexos e heterogêneos. O transporte de produtos perigosos é constituído

de uma cadeia de eventos, envolvendo múltiplas ações, isto é; embarque e desembarque, envio e recebimento, transporte, armazenamento, transbordo, fabricantes, entidades e órgãos que atendem emergências, fiscais, entidades que emitem regulamentação, população exposta, propriedades, que tem diferentes procedimentos no processo do transporte desse tipo de produto, desde a sua origem até o seu destino final. As várias partes, que entrevêm diretamente ou indiretamente no processo de transporte (desde mão de obra não especializada de pequenas empresas e de multinacionais), por vezes nem sempre ficam cientes da responsabilidade de cada uma das partes envolvidas, no que diz respeito ao cumprimento da regulamentação vigente. Em adição, existe um grande número de produtos perigosos (conforme listados pelo D.O.T.), que tem uma variabilidade de riscos tais como, inflamabilidade, corrosividade, reatividade e toxicidade. Se forem aliados a complexidade dos modos possíveis de transporte (tais como; via rodovia, ferrovia, aéreo, marítimo fluvial e através de dutos), e mais trocas dos meios de transporte durante o trânsito, haverá uma grande gama de opções, para avaliarmos o risco do transporte desse tipo de produto.

Essa complexidade, inerente ao transporte de produtos perigosos envolvendo múltiplos agentes, diferentes produtos, múltiplos riscos, múltiplos modos de transporte, diversas opções de rotas, obriga o D.O.T. a administrar, uma extensa regulamentação federal. Regulamentação, que cobre múltiplos aspectos do transporte de produtos perigosos, desde a rotulação (identificação do produto com rótulos padronizados) acondicionamento em embalagens adequadas e o treinamento para operações de carga e descarga. Enquanto a regulamentação tem muitas exigências quanto à reeducação relativa ao risco, ela não é uma metodologia holística de gerenciamento do risco em si. O RSPA, acredita que uma estrutura geral de gerenciamento de riscos, compreensiva, pode implementar seus próprios programas e assessorar as empresas que estão preocupadas em melhorar o desempenho próprio, modelando técnicas que aprimorem a relação custo benefício, com a redução de riscos, além de atenderem a regulamentação existente.

Além da regulamentação emitida pelo D.O.T., para o transporte de produtos perigosos, existem outras metodologias de gerenciamento de riscos, formalmente publicadas e métodos destinados a estes propósitos *ad hoc*. Existem outras que são e que

podem ser aplicadas, mesmo que não sejam amplamente utilizadas no transporte de produtos perigosos. Neste caso esta disponível:

- Responsible Care Distribution Code (CMA 1999), desenvolvida pela Chemical Manufacturers Association (CMA)
- Responsible Distribution Process (NACD 1999), desenvolvida pela National Association of Chemical Distributors (NACD).

Ambos modelos, foram desenvolvidos para a indústria química, das quais são originados os maiores embarques de produtos perigosos. Embora o alvo tenha sido às indústrias químicas, se forem associados com diretrizes e “ferramentas” adequadas, podem ser utilizados em um grande número de aplicações.

Deve-se ainda citar, que existem outros modelos de gerenciamento de riscos, tal qual o desenvolvido pelo U S Environmental Protection Agency (E.P.A) (E.P.A 1999) e o U.S. Occupational Safety Health Administration (O.S.H.A) (O.S.H.A 1999). O aspecto importante deste modelamento, é considerar amplamente os componentes do gerenciamento de riscos que também são aplicáveis ao gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos. Um outro notável modelo de gerenciamento de riscos, que não foi desenvolvido para o transporte de produtos perigosos, mas com grande potencial de aplicação a esta atividade, é o processo Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP), que foi desenvolvido para gerenciamento de riscos de contaminação de micróbios, no processo de fabricação de alimentos, (NACMCF 1998).

Baseado nas estratégias emergentes de administração em geral foi desenvolvida uma estrutura geral e abrangente para o gerenciamento de riscos, que englobasse o que houvesse de melhor nos modelos existentes e que pudesse ser aplicada a um custo mínimo e por qualquer tipo e porte de empresa, e que também atendesse a legislação vigente. Diversos critérios foram utilizados para este novo modelo de gerenciamento de riscos, sendo que na sua essência ele deveria ser aplicado de forma espontânea e voluntária. Como preceitos gerais, essa estrutura teria que ser: fácil de ser entendida e largamente aplicável a

todos produtos perigosos que as partes envolvidas estão expostas, ser o suficiente flexível para que pudesse ser adaptável aos vários usuários possíveis, tais como órgãos governamentais e indústrias de diversos segmentos, Deveria ser de fácil compreensão e aplicável a entidades pequenas com recursos limitados, assim como, para grandes organizações que já investiram pesadamente, praticando este gerenciamento.

A estrutura proposta, tem como filosofia a *ação informada pela análise*. A análise de riscos, custos, benefícios, possibilidades técnicas, e outros itens são necessários para um efetivo gerenciamento de risco, particularmente dentro de um sistema complicado, como o é o transporte de produtos perigoso, mas a análise não deverá constituir-se em um fim por si mesma. A análise, fornece informações necessárias, a quem toma decisões e planeja, mas por si mesma não reduz o risco. Os riscos são reduzidos por ações, sendo essas ações, tomadas a partir das informações geradas pelas análises, que é a verdadeira base para um efetivo gerenciamento do risco. A análise, deverá ser dirigida pela necessidade da informação, para subsidiar decisões, das quais, ações deverão ser adotadas, e se tais ações serão apropriadas. O valor da informação a ser obtido pela análise precisará ser claro considerando antes da realização desta análise, em razão da significância do estudo a ser empreendido.

A filosofia adotada, é uma ação orientada enfatizada numa ação de posição pró-ativa em relação ao gerenciamento do risco, executando análise e adotando ações para prevenir acidentes e os efeitos adversos causados por estes. Um gerenciamento pró-ativo do risco, centrado na prevenção, será mais efetivo e mais eficiente do que uma ação de reação a um evento já consumado.

Sete princípios fundamentais, elaborados com abrangência suficiente para que envolva diferentes produtos, modos de transporte e as partes envolvidas com produtos perigosos, compõe a filosofia adotada. Esses princípios são amplamente aplicáveis, podendo ser utilizados para guiar o desenvolvimento de um modelo individual de gerenciamento de riscos existentes em várias situações. Esses sete princípios, citados são:

Comprometimento, Priorização, Ação, Melhoria Contínua e Comunicação, os quais, podem ser descritos como se segue:

**1º Comprometimento** - o compromisso precisa ser tangível e visível - incluindo recursos oriundos da atividade de gerenciamento e do esforço direcionado a redução do risco. *O gerenciamento do risco deverá ser um trabalho coletivo, fornecer incentivos, reforçar compromisso, trabalhar com base na responsabilidade.*

**2º Cultura** – a cultura em relação ao gerenciamento, deve promover operações pró-ativas no sentido de inculcar a “cultura de redução do risco”. Deve levantar questões quando forem tomadas decisões, executadas operações, incorporar considerações sobre o sistema básico de gerenciamento de risco, tais como, manter relatórios, controle de qualidade, qualidade da avaliação e treinamento. *Pensar sempre na redução do risco.*

**3º Parceria** – o gerenciamento de risco mais efetivo, é alcançar a interação entre todas as partes envolvidas na cadeia de transporte do produto perigoso, isto é; os que enviam e recebem, os fabricantes de embalagens e tanques, o transportador, etc. Não tente gerenciar o risco sozinho. *Envolva todas as partes da cadeia de transporte.*

**4º Priorização** – em razão da quantidade de riscos e os recursos disponíveis (sejam eles; humanos, materiais ou financeiros), há uma necessidade de priorizar cada um dos riscos em potencial. As prioridades devem ser baseadas em análises e direcionadas aos piores riscos. *Direcionar as análises priorizando os piores riscos.*

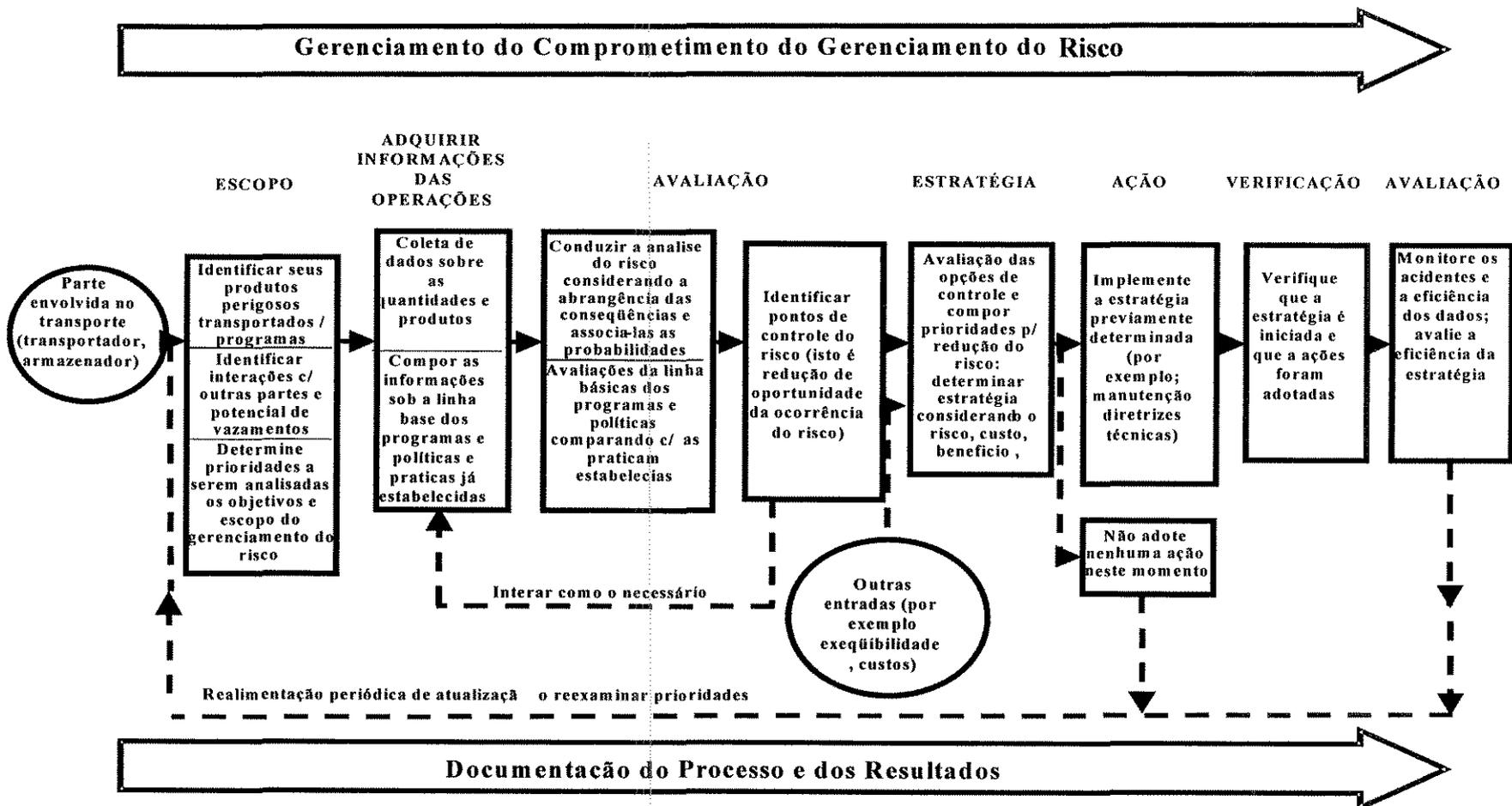
**5º Ação** – a redução do risco, é baseada através de ações específicas e concretas nas operações do transporte de produtos perigosos. As ações são selecionadas com base nos riscos, custos, e benefícios, tendo em vista uma realidade técnica factível, orçamentária, competitiva, dentro da legislação vigente e dos contratos existentes. A ação, é o coração do gerenciamento efetivo do risco; enquanto em nível de planejamento e análise, não há uma redução do risco. *Adotar uma predisposição para ação.*

**6º Melhora Contínua** – todos os riscos inerentes ao transporte de produtos perigosos, não podem ser totalmente eliminados. No entanto *através do comprometimento, da auto-avaliação, da flexibilidade para mudanças, da melhora nos resultados do gerenciamento do risco e a busca contínua da eficiência, haverá menor incidência de riscos.*

**7º Comunicação** – todas as partes envolvidas no papel de gerenciamento – desde a gerência da empresa e partindo para os empregados, fornecedores, bombeiros, equipes de primeiros socorros, necessitam conhecer o seu papel e ter consciência de informações relevantes ao risco, isto é, natureza e nível de risco e pontos de controle. Documentação apropriada, divulgação da análise do risco e estratégias de redução do risco, podem facilitar as comunicações. *Dividir o conhecimento sobre o risco.*

A Figura 13 é um fluxograma, que mostra um modelo genérico de gerenciamento de risco de organização para o transporte de produtos perigosos. Embora o fluxograma, seja composto de várias etapas, ele é uma simplificação da realidade, especificamente no que diz respeito as realimentações entre as diversas etapas. Este modelo pode ser aplicado genericamente, a uma grande diversidade de situações que necessita o gerenciamento de riscos, no transporte de produtos perigosos. Ele pode ser adaptado totalmente ou de acordo com as partes que estão envolvidas na cadeia de transporte. Ele pode ser aplicado com alternativa, se utilizado como um guia para a análise do gerenciamento de implementação do risco potencial de um único produto perigoso. Sua abrangência e generalidade, permitem que este modelo possa ser aplicado em empresas de grande e pequeno porte.

O modelo genérico, é destinado a servir como uma seqüência lógica de etapas para o assunto risco. As etapas neste processo, são descritas a seguir, assim como as realimentações e as interações críticas.



\*\* O escopo pode variar em função dos objetivos da organização, para uma operação de transporte em específico assim como para um tipo de produto ou rota

\*\*A análise pode ser quantitativa ou qualitativa, sendo usualmente composta de parte de ambas

Figura 13 - Modelo de gerenciamento de riscos para o transporte de produtos perigosos  
 Fonte: ICF (2000).

Pelo fluxograma proposto, observa-se que as análises e estratégias são iniciadas de uma forma simples e vão crescendo através da interação, tornando-se mais completa, complexa e real conforme necessidade. A informação obtida através de interações, sucessivas melhora a qualidade do “produto” final (ajudando nas análises e decisões) e melhoram também a eficiência do processo.

É importante reconhecer que uma modelagem sistemática de gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos, resulta em dois “produtos” finais de grande valor. aquele que identificar, áreas críticas, que demandam grande atenção e controle, e aqueles que as áreas que não requerem controles adicionais.

Quando utilizado por um órgão regulador, a modelagem sistemática de gerenciamento de riscos, contribui para a tomada de decisões sobre a adoção de novos controles, ou se os controles alternativos podem ser menores ou eliminação total destes.

Para todo modelo de gerenciamento de risco, (como indicado na seta de topo da Figura 13), é absolutamente necessário um comprometimento. Este comprometimento, precisa ser tangível (incluindo recursos) e resultante do gerenciamento da redução de riscos. Vários procedimentos para estabelecer este comprometimento devem ser adotados; tais como, delegar responsabilidades às pessoas envolvidas com o gerenciamento do risco, inclusive com a alta gerência executiva da empresa, estabelecer parcerias com fornecedores, transportadores, e terceiros que fazem parte da cadeia de transporte, montar uma estrutura na empresa, que dê suporte a esse gerenciamento do risco, destinando não somente recursos financeiros, como também humanos. Um comprometimento do gerenciamento que se torne “visível”, ajudará a promover uma cultura de ação, pró-ativa da redução do risco, onde questões serão levantadas no dia-a-dia e durante a execução de rotinas operacionais.

Como pode ser observado, na parte inferior da Figura 13, a seta mostra a necessidade de se ter uma documentação apropriada, durante o processo de modelagem do gerenciamento de risco. Análises, dados, resultados, decisões e outras atividades chaves

que compõem as entradas e saídas do processo, deverão estar devidamente documentadas, com o objetivo de fornecer benefícios no futuro. A documentação deverá ter um propósito claro, não tendo objetivos burocráticos. Mantendo relatórios claros e objetivos do que se pretende com a iniciativa do gerenciamento de risco, a comunicação será melhor permitindo com que outras pessoas aprendam mais sobre a experiência relatada e ainda, servindo como fonte de consulta de grande valor. Antecipadamente, será necessário decidir, na iniciativa da implantação do gerenciamento de risco, qual a melhor documentação, tipo e nível a ser reunida numa consulta futura. Não somente pensando no que é exigido por uma legislação, mas também deverá atender totalmente as necessidades desse gerenciamento.

Antes de adotar ações para gerenciar riscos, é imperativo que as pessoas e equipes encarregadas de gerenciar estes riscos, conheçam e entendam completamente as atividades que envolvam o transporte de produtos perigosos e a linha de base dos programas (práticas das atividades necessárias para o transporte seguro de produtos perigosos), já existentes. A informação necessária para executar uma avaliação e dar suporte à tomada de decisão no gerenciamento de riscos, é obtida a partir das duas primeiras etapas descritas a seguir; **Escopo e Adquirir Informações das Operações**.

Para que se entenda a aplicabilidade do fluxograma e sua correlação com este trabalho, faz-se necessário a descrição de cada etapa sugerida.

### **Etapa → ESCOPO**

Ao **Escopo**, é destinada a primeira etapa, que deverá ser identificado um nível razoável a ser atribuído ao primeiro nível, tal como os materiais inicialmente a serem transportados, os processos de manuseio destes materiais, os programas base utilizados neste momento. Adicionalmente ao conjunto e organização de informações básicas ter identificado as operações propriamente ditas e programas básicos já existentes, há necessidade de identificar as interações com outras partes envolvidas no transporte de um produto em particular ou dos produtos inicialmente avaliados.

Além disso, é necessário identificar as relações que o produto perigoso teve anteriormente e posteriormente ao processo de transporte a que está sujeito. Neste ponto, é necessária uma caracterização mais profunda dos riscos e das interações entre os mesmos antes e o depois ao processo. O detalhamento destas interações, será objeto das etapas seguintes, após o Escopo.

Por que as informações sobre as interações do risco com outras partes, antes e após o processo é importante para o gerenciamento do risco? O transporte de produtos perigosos envolve diferentes partes, e o gerenciamento de riscos pode ser consideravelmente mais efetivo e global, quando as partes envolvidas trabalham juntas e adotem uma visão da totalidade. A tentativa de isolar e gerenciar um risco, sem considerar as outras partes que compõem a cadeia de transporte, esse modelo, não se torna eficiente. Expedidores, transportadores, fabricantes de embalagens, e outros que fazem parte da cadeia de transporte, precisam comunicar-se e trabalharem juntos para que produzam um resultado otimizado. Além disso, é importante identificar as partes críticas e investigar as oportunidades, para construir parcerias para implantação do processo de gerenciamento de riscos.

Obtido suficiente conhecimento sobre as operações do processo, e daquelas das partes críticas existentes na cadeia de transporte, é absolutamente necessário definir claramente o problema do gerenciamento do risco em objeto e expor os objetivos desta iniciativa. Em todos os processos de gerenciamento de riscos uma etapa importante é explicitar e identificar exatamente o risco que se esta tentando gerenciar. Sem a clareza necessária do risco a ser gerenciado, a meta e os limites a serem atingidos e os limites nos serão alcançados. Tanto a avaliação como as subseqüentes têm a tendência, de desviar-se do foco inicial e por vezes sair completamente do rumo pretendido, produzindo um resultado ineficiente ou até mesmo inconsistente com a realidade.

Qual o significado do **Escopo** no contexto do transporte de produtos perigosos? O escopo no gerenciamento de riscos no transporte de produtos perigosos, tem a função de caracterizar as ações e metas a que este gerenciamento se destina, considerando;

- os tipos de riscos (fogo, explosão, saúde, meio ambiente)
- tipos de receptores (trabalhadores, público em geral e ecossistemas)
- número e tipo de medidas dos riscos a serem usadas (algumas vezes referidas como riscos métricos)
- tempo necessário às análises a serem feitas (a curto, médio e a longo prazo)
- limites de abrangência das análises
- abranger todas as extensões, que incluem estudos do produto, serem consideradas: a seu o ciclo de vida, tecnologia, etc.
- todas as extensões, para as quais, a variabilidade e a incerteza deverão ser quantificadas

Os dados acima, formarão o **Escopo**, que após devidamente utilizados para cada etapa do gerenciamento de risco, propiciarão atingir metas considerando as limitações da estratégia e gerenciamento a serem implementados. É necessário especificar, o que se está realmente tentando fazer, e reconhecer o que não se está tentado, também. Na essência, é necessário elaborar uma lista de prioridades para a iniciativa do gerenciamento do risco, baseadas em conhecimentos anteriores, experiências, de dados históricos, e em alguns casos, projetando um nível estimado de risco. Algumas questões deverão ser consideradas durante a elaboração do escopo, pois as respostas, ajudarão na elaboração deste escopo. Questões como;

- Se a análise for direcionada à uma empresa de grande porte que embarca diferentes produtos de diferentes locais, a tentativa de avaliação e gerenciamento dos riscos deverá ser em toda a operação?
- Se a análise for direcionada à uma empresa de grande porte que embarca diferentes produtos do mesmo local, a tentativa de avaliação e gerenciamento dos riscos deverá ser em toda a operação?
- Pretende-se focar a tentativa de avaliação e gerenciamento dos riscos para um único produto a um conjunto ou a todos os produtos a serem embarcados?
- O foco deve estar em um modo de transporte ou na rota a ser a adotada?

As decisões na etapa **Escopo**, na essência, definem a complexidade da análise a ser feita. Existem vários meios de combinar a complexidade e os recursos analíticos necessários. Em geral, os resultados mais defensíveis, são mais acurados, mais precisos, mais próximos da realidade, e conseqüentemente mais custosos. As decisões do escopo, sendo explícitas ajudarão a realizar um processo de gerenciamento de riscos mais eficiente e conseqüentemente mais transparente.

### **Etapa → ADQUIRIR INFORMAÇÕES DAS OPERAÇÕES**

Conforme pode ser visto na Figura 13, existem diferentes partes das quais se podem obter informações sobre as operações. Um dessas etapas, envolve o quantificar dos produtos perigosos a serem transportados, tendo como conseqüência a caracterização do(s) processo(s) em uso ou a serem seguidos

Algumas questões, se formuladas, ajudarão no processo de adquirir as informações necessárias a esta etapa.

- Quais são estes produtos?
- Quais as quantidades desses produtos estão sendo transportadas?
- O que exatamente é feito para o transporte desses produtos?
- Quem faz esse transporte?
- Aonde é feito esse transporte?
- Quando é feito esse transporte?

Essas questões, se respondidas, ajudam no desenvolvimento do fluxograma (tal qual da Figura 13) e tabelas que descrevam o(s) processo(s) em que estão envolvidos. Esta coleção de dados, constituirá a base de informações necessárias, para que após a etapa do **Escopo**, se tenha suficiente nível de detalhamento para a tomada de decisão a seguir. Para um nível inicial projetado de análise, menos detalhes seriam necessários do que uma análise refinada de avaliação.

Os conhecimentos das operações, também incluem a elaboração de um banco de dados sobre a organização relativos aos programas básicos e políticas em uso para o gerenciamento de riscos com o transporte de produtos perigosos. O gerenciamento de riscos não ocorre isoladamente, não sendo uma atividade independente, mas preferivelmente construída de uma forma sistemática, para gerenciar riscos, que é fundamentada em dependências de fatos, e nas linhas de programas da empresa. As linhas básicas de programas e políticas da empresa são práticas de negócios, como treinamento ou preparo a atender uma emergência e que poderiam ser utilizadas na segurança do transporte de produtos perigosos. *As linhas básicas de programas, não são específicas da cadeia de distribuição de um único produto perigoso em específico, mas são programas cruciais que podem afetar de muitas formas os produtos e operações de uma organização.* Elas representam um bom gerenciamento e uma boa prática e podem limitar e prever interrupções nas operações, danos à saúde humana, vazamento de produtos perigosos, que são extremamente custosos à operação transportes. Na essência, esses programas formam a base dos esforços de uma organização para o gerenciamento de riscos. Embora, detalhes possam diferir de uma organização para outra (por exemplo, algumas organizações podem ter diferentes níveis, ou organogramas, ou linhas básicas de programas, dependendo do tipo de produto perigoso que está sendo transportado), existe uma interconexão entre o conjunto de instruções do programa básico e políticas, para gerenciar riscos e melhorar a segurança das operações que envolvam produtos perigosos.

O programa básico, é aplicado a todas as operações que fazem parte do transporte de produtos perigosos, incluindo embalagem, carga e descarga, transporte e armazenamento. Um conjunto de instruções do programa básico, que é utilizado nas operações de transporte de produtos perigosos, tem sido usado também, em plantas fixas, onde há a fabricação ou distribuição destes produtos. Em razão da periculosidade de diversos produtos, é conveniente que sejam desenvolvidos programas destinados para cada um. Muitas dessas práticas, relativas ao transporte de determinados produtos perigosos deverão fazer parte das regulamentações Estaduais. Adicionalmente indústrias e associações, devem elaborar diretrizes e procedimentos para as partes envolvidas no transporte de produtos perigosos.

O conhecimento das operações, também externaliza as práticas estabelecidas para as operações de transporte de produtos perigosos, que são similares na natureza e no escopo de cada uma. Associações comerciais, organizações profissionais, literatura e publicações, periódicos, colegas de trabalho, também devem ser consideradas como fontes de informações. O conhecimento de práticas estabelecidas, permite a comparação da linha básica do programa a ser adotado e outras atividades de gerenciamento de riscos em uso.

### **Etapa → AVALIAÇÃO**

Um dos focos deste trabalho está nesta etapa, que é a adaptação de uma metodologia de avaliação de risco as estradas do Estado de São Paulo. Na etapa Avaliação, o perigo e riscos inerentes com as operações de transporte de produtos perigosos serão considerados de forma associativa, isto é se interagem. É nesta etapa, que as linhas básicas de um programa de gerenciamento de riscos e os seus pontos de controle serão identificados e avaliados, respectivamente.

As avaliações dos riscos podem ser do tipo quantitativas ou qualitativas ou ambas, simples, que projetem uma idéia grosseira ou incluir um alto nível, de detalhamento destes riscos. Estes detalhes podem incluir probabilidades; de um acidente, de vazamentos, o descarte do produto que vazou e os efeitos adversos conseqüentes da exposição ao produto. Observa-se, que é de grande valor, às análises a utilização de experiências anteriores, obtidas com a segurança, o risco e as operações. Sendo a análise quantitativa ou qualitativa, simples ou complexa, alguns tipos de análises sistemáticos de riscos precisam ser feitos para todos os casos, com o objetivo de constituir uma base para o desenvolvimento de uma estratégia de gerenciamento de riscos. Tipicamente o modelo interativo para a avaliação de riscos, que inicia com uma análise simples e somente progride para uma complexidade maior, constitui o mais eficiente.

Existem variantes para a designação avaliação de riscos, podendo receber diferentes denominações, adicionalmente ao de avaliação de risco, tais como; **análise de riscos, análise de conseqüências, análise do pior caso, análise da árvore de falha,**

**modos de falha, análise de efeitos**, ainda existem numerosos modelos e ferramentas que podem ser utilizadas numa avaliação sistemática quantitativa. Por exemplo, como suporte guia para regulamentação de distribuição da CMA (Chemical Manufacturers Association) incluindo um modelo de uma semimatriz quantitativa para avaliação e classificação de previsão do nível de risco, a E.P.A. outras agências governamentais (dos EUA) tem disponibilizado modelos e programas para computadores, para o cálculo da dispersão (na atmosfera) vazamentos provenientes de produtos perigosos. Quanto a seleção de um método específico a ser adotado, é importante manter-se sempre em mente o objetivo das análises, e como a informação será usada num desenvolvimento subsequente de uma estratégia ou na implementação das etapas. Por outro lado, a análise em si pode ter uma tendência de expandir-se e consumir recursos significativos.

Como parte da etapa **Avaliação**, as linhas básicas de programa deverão ser avaliadas de forma, que o risco em si reflita o nível de controle programado, e de forma que os pontos fortes e fracos das linhas desse programa básico, possam ser identificados e evidenciados, dentro das determinações do ponto de controle do risco e do desenvolvimento da estratégia de gerenciamento do risco. Geralmente essa avaliação, será qualitativa e baseada no comportamento de programas passados dentro da organização e em uma comparação de programas implantados em empresas similares.

Para a caracterização da natureza, magnitude dos riscos, adequação dos programas básicos, pontos na cadeia de transporte (ou nos programas básicos), nos quais ações podem ser adotadas para controle dos riscos, é necessário que estes pontos sejam identificados e explicitados. Esses pontos de controle do risco, constituem importantes subsídios para o desenvolvimento da etapa estratégia, que se inicia logo após. Notar que, enquanto as linhas dos programas básicos podem e freqüentemente irão identificar pontos de controle do risco, (tais como um grande programa de treinamento, alterações nos procedimentos padrões para serviços de manutenção onde algumas ações podem ser adotadas afetando o risco), nem todos os pontos de controle do risco formam a linha base desses programas de controle do risco. Os pontos de controle do risco podem também incluir locais específicos, para uma cadeia de distribuição de produtos perigosos, onde

algumas ações seriam adotadas para evitar o risco (tais como; alteração da embalagem de um produto em específico, que esta sendo embarcado em um caminhão que o transportará a um usuário final ou armazém).

### **Etapa → ESTRATÉGIA**

Seguindo a avaliação do risco, na qual, riscos são caracterizados e em muitos casos quantificados (em alguns identificados riscos coligados), os pontos de controle desses riscos são identificados, desta forma tendo dados suficientes para desenvolver uma **Estratégia** de gerenciamento para este(s) risco(s) em específico. A **Estratégia** deverá ser elaborada, para reduzir particularmente altos riscos tornando-os baixos, isto particularmente quando o custo para isto, for viável. Esta **Estratégia**, pode estar focada a um único ponto de controle do risco que ofereça uma significativa redução deste, ou pode ser mais abrangente tendo como meta um conjunto de pontos de controle do risco. A **Estratégia** é própria e é para cada caso, devendo ser baseada nas avaliações da relação custo/benefício resultante de várias opções, para controlar o risco. A **Estratégia**, deverá ser direcionada aos riscos identificados como os mais importantes, e deverá externalizar ações preventivas de controle consistentes com as operações da empresa. Estas ações, poderão ser novas e diferentes ou uma melhora das já existentes, devendo ainda, ser direcionadas às linhas básicas dos programas de redução de riscos, já implantados ou ter como alvo pontos específicos de controle da cadeia de distribuição. Deve-se ter sempre em mente, que a meta da estratégia é reduzir riscos a um custo razoável.

A chave do gerenciamento de risco, nesta etapa é a priorização. Existe, usualmente um grande número de oportunidades de redução de riscos, para as quais, vários tipos de intervenções podem eliminar ou reduzir estes riscos. Baseada nos resultados da avaliação de riscos, os mais importantes associados às operações e os fatores e que contribuem à tais riscos devem ser classificados (ou em último caso agrupados), para que se dê a devida atenção aos mesmos. O critério a ser considerado na classificação dos riscos, inicialmente poderá ser:

- a dimensão do risco
- a natureza do risco
- a severidade dos efeitos adversos causados pelo acidente
- a clareza sobre tipo de risco.

Após a classificação do risco, deverão ser elaboradas prioridades, entre as oportunidades para a redução do risco, considerando o custo e a exequibilidade técnica das ações de controle e ações necessárias para uma tomada de decisão relativa àquele risco.

Sendo sempre os recursos limitados e as ações sendo absolutamente necessárias para a redução de um risco em particular, a chave é identificar onde os recursos disponíveis podem ser aplicados de forma mais eficaz e eficiente. Em outras palavras, qual os pontos de controle do risco serão alvo, e quais controles devem ser aplicados para se obter a melhor relação custo / benefício. Frequentemente os pontos de controle, são passíveis de serem valorizados para que um conjunto de diferentes opções possam ser comparadas entre si. O processo de comparação e o contraste entre as opções em termos da redução do potencial de riscos, da exequibilidade dos custos, e outras considerações, podem conferir maior confiabilidade e selecionar a estratégia do gerenciamento de risco tornado-a mais efetiva e eficaz.

Usualmente, para os propósitos de comparação, uma opção de controle a alternativa de uma “**não ação adicional**”. Por vezes, após varias analises das opções de controle disponíveis, conclui-se que nenhuma ação, naquele momento deve ser adota, para o gerenciamento do risco. Em outras palavras o programa de controle de riscos ora em uso é o necessário e suficiente. Como mostrado, na Figura 13 esta decisão deverá ser revisada periodicamente, para que se tenha certeza que as alterações ao longo do tempo (tais como; mudanças tecnológicas que alterem o grau de risco ou alterações na legislação vigente), tenham ações como reflexo. Estas alterações se houverem deverão ter como consequência uma avaliação sistemática em razão da constatação da sua eficácia.

Um plano escrito sobre a estratégia, deve ser elaborado, descrevendo-a. Este plano deve demonstrar o gerenciamento do comprometimento e esclarecer a confusão sobre a estratégia. Ele não deve ser extenso, porém a estratégia deve estar documentada e comunicada a todos que participaram da implementação da mesma. Os objetivos devem ser divulgados, as ações principais deverão ser identificadas e o corpo de profissionais, que vai atuar na implantação, deverá conhecer claramente suas responsabilidades e ações.. Um cronograma para cada ação deverá ser elaborado, tendo claro as datas limites para a implementação de cada item que faz parte do plano.

### **Etapa → AÇÃO**

Esta etapa é a simples implementação, do que foi escrito no plano desenvolvido anteriormente. Nessa fase todas as medidas preventivas e corretivas são adotadas, aos procedimentos padronizados são alterados e, todas as substituições de produtos previamente preconizadas são feitas, e todas ações previstas na etapa anterior são executadas. A seguir as modificações identificadas no programa básico existente são implementadas (tais como; treinamentos e resposta a uma emergência).

Algumas vezes, uma ação identificada na etapa **Estratégia** que resulte em uma redução significativa do risco, conduz a outro processo de gerenciamento de risco (isto ocorre, por exemplo, quando houver uma interação entre as diversas partes da cadeia de transporte). Dessa forma, a parceria é de suma importância para identificar uma ação de gerenciamento de risco.

Essa etapa não requer maiores explicações, é a implementação da anterior. Sem a ação propriamente dita, não adiantaria uma análise refinada, uma estratégia perfeita em todos os seu aspectos, em um plano escrito claro e exequível, pois não haveria a redução de nenhum risco.

### **Etapa → VERIFICAÇÃO**

Como uma boa prática para gerenciamento de qualquer processo, é importante monitorar a implementação da estratégia do gerenciamento do risco, assegurando com isso, que as ações prescritas estarão sendo tomadas conforme o plano. Os procedimentos de verificação, deverão ser montados dentro do plano, monitorando as atividades que levam a termo o progresso do plano e que este se concretize conforme o planejado. A **Verificação**, não pode ser um incômodo, um procedimento burocrático, mas é essencial, para que a implementação da estratégia seja mantida no curso previsto. Em razão de que a implementação da estratégia para o gerenciamento de risco trata-se também de uma estratégia de suma importância expô-la. Para que a estratégia tenha êxito na sua implantação, é necessário que haja incentivos, a **Verificação** primariamente serve como ferramenta que assegure para que a estratégia não fracasse. A **Verificação**, também assegura a objetividade, a credibilidade, e economiza recursos.

### **Etapa → AVALIAÇÃO**

A **Avaliação**, é necessária para assegurar que a estratégia está sendo implementada em toda a sua extensão, entretanto, ela não é, suficiente por si só. Para assegurar, que **Estratégia** esteja atingindo as metas, é necessário periodicamente avaliar a efetividade da estratégia para o gerenciamento do risco. A **Avaliação**, é reconhecida como um desafio, contudo, mesmo quando imperfeita pode apontar para uma melhora na estratégia, podendo servir de base para identificar alterações na melhora da redução efetiva do risco e da redução dos custos de implementação. Uma **Avaliação** de desempenho, não pode nunca ser substituída somente por uma boa estratégia ou uma boa análise. Questões devem ser feitas sempre para a avaliação e melhora da estratégia, questões tais como;

- Ela esta funcionando bem?
- Se não, pode ser melhorada?

O gerenciamento de risco requer uma melhora contínua e uma **Avaliação** conduz a melhora.

O elemento chave da etapa **Avaliação**, é identificar indicadores apropriados de melhora (algumas vezes referidos como medidas métricas), que possam guiar e reflitam os objetivos da redução de risco da **Estratégia**. Frequentemente, os indicadores ideais para medição não são viáveis em razão dos seus custos, além disso para acidentes com produtos perigosos não comuns, que raramente ocorrem, não se mantêm um controle do risco, continuamente, tal qual existe com os produtos que são transportados frequentemente. O objetivo, é conseguir um balanço entre a relevância de um indicador destinado a uma meta da estratégia e a possibilidade de execução diante do custo dessa medida feita por esse indicador. Por exemplo, pode ser extremamente difícil medir a confiabilidade do número de mortes prematuras e doenças causadas por um vazamento de um produto químico tóxico, vazamento resultante de um acidente com o transporte desse produto. Se considerarmos que não houve inspeções ou que não tenham sido executadas adequadamente.

Adicionalmente, para se avaliar uma **Estratégia** relativa aos objetivos propostos, é conveniente comparar o plano de gerenciamento de risco, os resultados com outras estratégias e os planos de outras áreas. Assim, se estabelece com a prática usual a meios avaliar se “caminho” trilhado para alcançar, a meta, proposta esta sendo o melhor. Usualmente é de boa prática, empresas reunirem-se e comparar: metas, meios, objetivos, de uma estratégia e planos.

Como neste caso, a “**não ação**” pode ser adotada ou não, e faz-se necessário monitorar as alterações de condições periodicamente, revisando as decisões a serem tomadas. Esta atualização periódica é mostrada na Figura 13 através da seta de realimentação existente na etapa **Avaliação**.