

# 1 Introdução

Desde os anos 80, o transporte de materiais perigosos tem sido um segmento muito importante de ser analisado, além de receber uma atenção considerável em todo o mundo. Isto é devido, principalmente, à importância que a sociedade, as empresas, o governo e as organizações reguladoras, na maioria dos países, estão dando ao fator segurança e ao desenvolvimento sustentável.

A necessidade de transportar MP está concentrada na produção de produtos que possuem processos industriais sofisticados, como jóias, sapatos de couro, roupas tingidas, combustíveis, etc. Como um exemplo estatístico, nos Estados Unidos, desde 1994 a 2004, a quantidade de carregamento de materiais perigosos em caminhões aumentou quase 100%, segundo U.S. Federal Motor Carrier Safety Administration (2004). Esse valor é muito considerável dentro do crescente desenvolvimento tecnológico mundial. Diante desse aumento de fluxo de MP, a chance de acidentes também aumenta, possibilitando impactos sociais, ambientais e materiais.

É importante ressaltar que no Brasil não foram encontrados trabalhos de pesquisa relacionados ao assunto abordado e tão pouco dados estatísticos.

Um ponto importante no sistema de transporte de MP é a existência de diversas causas que levam um veículo de carga a sofrer um acidente. É comum pensar que estes incidentes só ocorrem sobre uma rota que une um par origem e destino (*O-D*) preestabelecido, mas é necessário considerar os casos de acidentes que acontecem no processo de carga e descarga do produto na origem e no destino. Cerca de 56% dos acidentes durante o transporte de materiais perigosos ocorrem no processo de descarga, segundo RSPA 1993-2001.

Os estudos realizados com relação ao problema do transporte de MP têm sido focado em encontrar rotas que minimizam a distância total, o número

previsto de acidentes, a probabilidade de acidentes, a população potencialmente exposta, a consequência associada ao acidente ou uma combinação desses fatores. No entanto, esses fatores podem ser conflitantes entre si, obtendo assim um problema com múltiplos objetivos, no qual nem sempre é possível identificar a melhor solução, ou seja, uma alternativa que desempenha melhor que outras, em todos os critérios. Nesse contexto, a meta se concentra em identificar o conjunto de soluções “não dominadas” Pareto ótimas, de modo que o intercâmbio entre diferentes objetivos possa ser especificamente representado.

O presente trabalho tem como propósito apresentar uma metodologia que permite determinar rotas que minimizam o risco de acidentes com baixas probabilidades de ocorrência, mas com altas consequências, que podem dar lugar a altos custos, tanto ao meio ambiente como à população exposta. Conjuntamente se especifica um modelo de programação multiobjetivo que permite estabelecer de forma unida o caminho por onde é feita a distribuição do fluxo de material perigoso através da minimização da probabilidade de ocorrer um acidente, da consequência esperada, da esperança condicional da consequência e da distância total percorrida.

Grande parte desses estudos se baseia principalmente na estruturação de um problema de transporte de materiais perigosos como um modelo de otimização proposto por Sherali *et al.* (1997), o qual reduz ao mínimo a esperança condicional de um resultado catastrófico, ou seja, a consequência esperada dado que um acidente catastrófico tenha ocorrido, sujeito à condição de que o valor esperado da consequência e que a probabilidade de um acidente sobre um caminho selecionado sejam menores do que parâmetros estabelecidos.

Nesse contexto, a oportunidade de aplicação da problemática no exemplo apresentado nessa dissertação e a revisão de toda a bibliografia referente ao assunto, além do uso de softwares, possibilitou a execução de um estudo com uma concreta contribuição científica e tecnológica.

## 1.1 Estrutura do Trabalho

Esta dissertação está dividida em dez capítulos, dos quais esta introdução é o primeiro deles, e um anexo.

O Capítulo 2 retrata os conceitos fundamentais sobre o risco no transporte de materiais perigosos, exemplificando modelagens aplicadas por diferentes pesquisadores.

O Capítulo 3 define as condições matemáticas para a Roteirização de Materiais Perigosos e apresenta o modelo matemático inicial desenvolvido por Sherali *et al.* (1997), o qual servirá como base para o modelo proposto neste trabalho.

O Capítulo 4 apresenta o modelo de Sherali *et al.* (1997) para um cenário de múltiplos embarques de materiais perigosos.

No capítulo 5 é abordada a Avaliação do Risco no Transporte de Materiais Perigosos, definindo-se as restrições de equidade do risco para o modelo matemático final.

No Capítulo 6, a proposta do Modelo de Roteirização Multiobjetivo é definida, bem como a metodologia de resolução.

Já no capítulo 7 é apresentado o Método da Programação Multiobjetivo aplicado a um exemplo numérico.

No Capítulo 8 está a conclusão do trabalho; no capítulo 9 são listadas recomendações para trabalhos futuros e, por fim, no capítulo 10 são apresentadas as referências bibliográficas.