

Logística em Desastres : Otimização de Rotas de Unidades Aéreas de Resgate

Sergio Rebouças, Carlos Alberto Rebouças, Rodrigo Arnaldo Scarpel e Anderson Ribeiro Correia
 Instituto Tecnológico de Aeronáutica, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50Vila das Acácias, 12228-900São José dos Campos/SP - Brasil

Resumo - Desastres naturais são eventos incontroláveis e muitas vezes imprevisíveis que afligem diversos países anualmente. Após a ocorrência de um desastre, a fase de resposta é primordial para o salvamento das vítimas de desastres. Os helicópteros de resgate têm um papel importante nesta fase. Os custos decorrentes da utilização destas unidades aéreas de resgate são extremamente elevados. A roteirização de veículos é uma classe de problemas de otimização combinatória consagrada pela literatura e amplamente utilizada no gerenciamento e logística da cadeia de suprimentos. O gerenciamento de um desastre natural é considerado uma logística voltada para eventos. Este artigo tem como objetivo aplicar uma metodologia de roteirização de veículos para a otimização de rotas de helicópteros de resgate em situações de calamidades naturais, garantindo maior eficiência na alocação destes recursos, visando a maximização do número de vítimas resgatadas e redução dos custos das operações.

Palavras-Chave - logística de eventos; desastre natural; alocação de recurso.

I. INTRODUÇÃO

De acordo com o Centro de Pesquisas em Epidemiologias de Desastres, do inglês *Centre for Research on the Epidemiology of Disasters* (CRED), nosso planeta foi assolado, no período de 2008 a 2013, por aproximadamente dois mil desastres naturais como inundações, terremotos, tsunamis etc. Foram quase novecentos milhões de pessoas afetadas, dentre as quais quatrocentos mil mortos, um milhão de feridos e seis milhões de desabrigados. Os danos materiais alcançaram a cifra de aproximadamente oitocentos e vinte bilhões de dólares, conforme observados na Tabela I.

TABELA I COMPILAÇÃO DE DESASTRES NATURAIS

Período	Qtd	Vit. Fat.	Feridos	Desabrigados	Afetados	Danos Materiais
2009/13	1.939	398.246	1.026.546	6.086.486	898.524.763	\$ 816.781.617.000

A Federação Internacional das Sociedades da Cruz Vermelha e do Crescente Vermelho (IFRC) [1] define desastre como eventos calamitosos que interrompem de forma contundente as atividades ordinárias de uma sociedade ou comunidade, causando perdas humanas, econômicas e/ou ambientais que excedam a capacidade de autorrecuperação das mesmas.

A literatura consagrou o gerenciamento de desastres como sendo um processo cíclico contínuo composto de quatro fases. Altay e Green [2] definem estas fases, quais sejam: mitigação, preparação, resposta e recuperação. A primeira fase, mitigação, caracteriza-se basicamente pelo planejamento e treinamento de atividades e procedimentos de emergência ante as ocorrências mais recorrentes em determinada região. A fase seguinte, preparação, inicia-se com o aviso formal aos cidadãos de que existe a previsão de ocorrência de um evento e que os procedimentos treinados e previstos na anterior deverão ser executados.

Estas duas fases se encerram com a ocorrência do evento propriamente dito. A partir deste ponto, a única ação a ser feita seria aguardar as condições adequadas para dar início à terceira fase, caracterizada pelas atividades de busca e salvamento. A última fase é constituída pelas atividades de reconstrução e restauração. Este ciclo de vida de um desastre pode ser observado na Fig. 1.



Fig. 1. Ciclo de Gerenciamento de Desastres.

Este artigo trata da fase de resposta, a qual se inicia após a ocorrência de um desastre e tem como objetivo executar ações de busca, salvamento e suporte às vítimas. A execução rápida e eficiente destas tarefas é essencial para a redução do número de mortos e feridos.

Em muitos lugares e regiões, é notável a baixa ou ausência de capacidade de executar estas ações adequadamente. O que existe, por vezes, são pessoas com muito boa vontade e organizações ou instituições tentando ajudar de forma individual e geralmente desordenada. Os meios são usados ora de forma excessiva, ora de forma insuficiente para prover um serviço eficiente.

Fundamentado neste contexto, percebe-se a importância da aplicação de ferramentas de apoio à decisão e gerenciamento deste tipo evento [3].

Estas ferramentas de apoio e gerenciamento fazem parte da logística, definida pela literatura, no caso específico de gerenciamento de desastres, como logística voltada para eventos. Dentre estas ferramentas, destacam-se os problemas de roteirização de veículos, foco deste trabalho.

Este artigo contém 5 seções. A próxima seção apresenta a fundamentação do problema de roteirização de veículos e como já foram tratadas no contexto da fase de resposta a desastres naturais. A seção 3 mostra um exemplo de aplicação do problema de roteirização de veículos. Na seção seguinte serão apresentados os resultados da aplicação a seção 5 encerrará este artigo com as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O Problema de Roteirização de Veículos (PRV)

O problema de roteirização de veículos, do inglês Vehicle Routing Problem (VRP), é uma variação do problema do caixeiro viajante, *Traveling Salesman Problem* (TSP). O TSP é um dos problemas de roteirização mais amplamente utilizados. Conhecido desde o século XIX, estabelecido por William Hamilton e definido através de seu ciclo hamiltoniano, no qual cada nó de um grafo é visitado apenas uma vez [4].

No entanto este tipo de problema teve seu desenvolvimento acelerado com Dantzig, Fulkerson e Johnson, a partir do ano de 1959.

O VRP incrementa o TSP com a adição de um conjunto de veículos atendendo a demanda de um conjunto de clientes, onde cada cliente possui um nível de demanda e os veículos tem capacidade limitada para atender esta demanda.

Um VRP clássico é representado por grafos $G(N, A)$, onde $N = \{0, 1, \dots, n\}$ representa o conjunto de nós e A o conjunto de arcos. Cada nó $N \setminus \{0\}$ representa um cliente com uma demanda não negativa q_i , enquanto o nó 0 corresponde ao depósito. Cada arco $A = \{(i, j) : i, j \in N, i < j\}$ representa a rota entre os nós i e j , com um $C_{ij} > 0$ associado que corresponde ao custo, seja de tempo, distância ou mesmo o custo em unidades monetárias do deslocamento entre i e j [5].

O VRP considera uma frota de veículos idênticos com capacidade individual Q , disponíveis a partir de um depósito. O VRP simétrico estabelece um conjunto de rotas m que minimize seu custo total, de tal maneira que: (1) cada cliente seja visitado uma única vez por uma rota, (2) cada rota começa e termina no depósito, (3) a demanda total dos clientes servidos por uma rota não pode exceder a capacidade de carga Q do veículo, e (4) a distância do arco não pode exceder um limite preestabelecido (é comum assumir velocidades constantes de modo que distâncias, tempo e custo da viagem são considerados sinônimos). A solução pode ser vista como um conjunto de m ciclos compartilhando um nó comum que é a base [6].

Mais recentemente, variantes mais complexas do VRP foram desenvolvidas de maneira a atender de forma mais adequada às necessidades operacionais de distribuição que surgiram. Esta complexidade refere-se à utilização de múltiplos depósitos, múltiplas rotas, frota heterogênea de veículos dentre outras restrições operacionais.

Quanto à utilização de uma frota heterogênea de veículos, Onut [4] apresenta uma aplicação da variação do PRV conhecida como HVRP (*Heterogeneous fleet Vehicle Routing Problem*), sigla em inglês que significa problema de roteirização de veículos com frota heterogênea.

A notação utilizada e o modelo matemático para o HVRP é apresentado a seguir, onde:

- c_{ijk} : a variável custo do arco entre o nó i e o nó j
- m_k : o custo do Km percorrido pelo veículo k
- u_{ij} : a distância entre o nó i e o nó j
- x_{ijk} : variável binária para a utilização do arco entre o nó i e o nó j
- Q_k : a capacidade de carga (vítimas) do veículo k
- d_j : demanda do nó j
- e_i : demanda no nó i

A função objetivo (FO) é minimizar o custo, atendendo todas as condições de contorno, representada por:

$$\min \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k x_{ijk} c_{ijk} \quad (1)$$

Sujeito à:

$$\sum_{j=1}^j \sum_{k=1}^k x_{ijk} = 1, \text{ para } i = \{2, 3, \dots, i\} \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{k=1}^k x_{ijk} = 1, \text{ para } j = \{2, 3, \dots, j\} \quad (3)$$

$$\sum_{j=1}^j x_{1jk} = 1, \text{ para } \forall k \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^i x_{i2k} = 1, \text{ para } \forall k \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j x_{ijk} d_j \leq Q_k, \text{ para } \forall k \quad (6)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j x_{ijk} d_j = \sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j x_{ijk} e_j, \text{ para } \forall k \quad (7)$$

$$x_{ijk} + x_{jik} \leq 1, \text{ para } i = \{2, 3, \dots, i\}, j = \{2, 3, \dots, j\} \text{ e } \forall k \quad (8)$$

$$\sum_{i=1}^i \sum_{j=1}^j x_{ijk} \leq 2 \text{ para } \forall k \quad (9)$$

$$x \in \{0, 1\} \quad (10)$$

$$c_{ijk} = m_k u_{ij}, \text{ para } \forall i, j \text{ e } k \quad (11)$$

A equação (1) é a função objetivo. As equações (2) e (3) restringem que cada "cliente" será visitado por apenas um veículo. As equações (4) e (5) estabelecem que cada rota inicia e termina na Base. A equação (6) refere-se à capacidade de cada helicóptero. A equação (7) proíbe a alocação de mais de um veículo para um mesmo "cliente". A equação (8) impede que o veículo retorne para o depósito antes de fazer todas as entregas. No caso do problema objeto deste artigo, isto significa que o helicóptero não retornará à Base antes de conduzir todas as vítimas ao ponto de suporte. A equação (10) estabelece que x é uma variável binária e a (11) estabelece que o custo de transporte entre o nó i e j para o veículo k é a multiplicação do custo do transporte por quilômetro pela distância entre os nós i e j .

Revisão de Literatura

Em contra partida da grande variedade de livros, artigos e outras publicações versando sobre as aplicações da roteirização de veículos em operações de logística empresarial e da cadeia de suprimentos, exíguas aplicações diretas destas metodologias em operações de resgate foram encontradas na literatura científica.

Boa parte desta bibliografia de desastres naturais aborda, principalmente, o tempo de processamento e cálculo da metodologia. Os artigos utilizam modelos simplificados ou generalizados de tal forma que se afastam consideravelmente das características de uma operação real. Ressalta-se, no entanto, que esta fidelidade implica em formulações significativamente mais complexas, que não necessariamente constituem o foco destes trabalhos.

Özdamar *et al* [7] desenvolveram um plano de apoio à decisão logística em desastres naturais baseado na distribuição (oferta e demanda) de medicamentos, suprimentos e meios de transportes. Este plano deveria indicar a programação ótima de quantidades e tipos de cargas a serem coletadas e entregues em determinada rota.

Em complemento ao trabalho anterior, Yi e Özdamar [8] tratam da distribuição de commodities, como materiais médicos, pessoal, equipes de resgate, alimentos etc em operações de logística na fase de resposta a desastres naturais. Apesar de incluir neste novo modelo o resgate das vítimas, não diferenciam suas condições, ou seja, se são transportadas em assentos ou se necessitam de apoio de maca.

Apresentam, ainda, o *Location-Routing Model* (LRP), que integra um *discrete facility location* (FLP) e o *Vehicle Routing Problems* (VRP), além de considerar o fluxo de commodities nos veículos como inteiros em vez de variáveis binárias.

Passos [9] aplica o problema de roteirização de veículos com coleta e entrega simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery – VRPSPD*), definido pela visita aos pontos de coleta e entrega na rota, sendo estes visitados uma única vez com suas respectivas demandas atendidas na mesma visita.

O trabalho de Passos [9], apesar de focado também no tempo de processamento do cálculo e não na roteirização em si, realiza uma abordagem aproximada da realidade das operações de resgate e de transporte de bens e equipes de apoio. Porém, por tratar de uma VRPSPD, considera uma frota homogênea.

O *Heterogeneous Dial-a-Ride Problem* (HDARP) foi apresentado por Parragh [10] motivada pela observação da divisão de transportes de pacientes da Cruz Vermelha Austríaca, *Austrian Red Cross* (ARC). A ARC define três tipos de pacientes que podem ser transportados: (1) sentado, (2) em uma maca e (3) em uma cadeira de rodas, além de um acompanhante que pode ou não estar presente. São utilizados dois tipos diferentes de veículos com diferentes capacidades para os quatro modos de transporte (assento-funcionário, assento-paciente, maca e adaptador para cadeira de rodas).

Parragh [10] acrescenta na função objetivo uma penalização para o tempo de espera do veículo com o passageiro já embarcado, além da penalização normal do tempo de espera pela chegada do veículo. Este adicional foi instituído visando minimizar a inconveniência para o usuário.

Wex *et al* [11], focado na comparação de heurísticas e metaheurísticas que minimizem o tempo de processamento de problemas de roteirização e programação de unidades de resgate, trata do *Rescue Unit Assignment and Scheduling Problem* (RUASP).

No que tange à roteirização de veículos, o RUASP está relacionado ao *multiple Traveling Salesman Problem* (MTSP), o qual é uma generalização do TSP e uma relaxação do VRP. Esta relaxação refere-se à remoção das restrições de capacidades, não computando, com isso, a quantidade das cargas e/ou vítimas que deverão ser transportadas de uma origem a um destino.

III. DESASTRES NATURAIS E HVRP

Desastres naturais e inundações

Da análise dos registros da base de dados de eventos de emergência, EM-DAT (do inglês *Emergency Events Database*), do CRED, observa-se que as inundações, enchentes ou alagamento respondem por aproximadamente 34% de todas as ocorrências, 22% das fatalidades, 50% do total de vítimas afetadas e 26% dos danos materiais

provenientes dos desastres naturais ocorridos em todo o mundo, conforme ilustrado na Fig. 2.

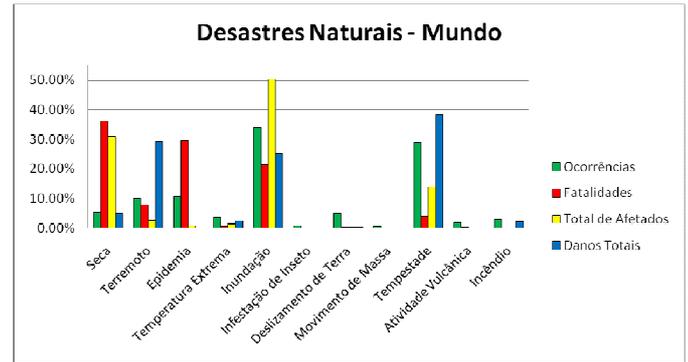


Fig. 2. Desastres Naturais no Mundo.

No Brasil as inundações têm relevância ainda maior, representando 60% de todas as ocorrências, 63% das fatalidades, 27% do total de vítimas afetadas e 42% dos danos materiais, como observado na Fig. 3.

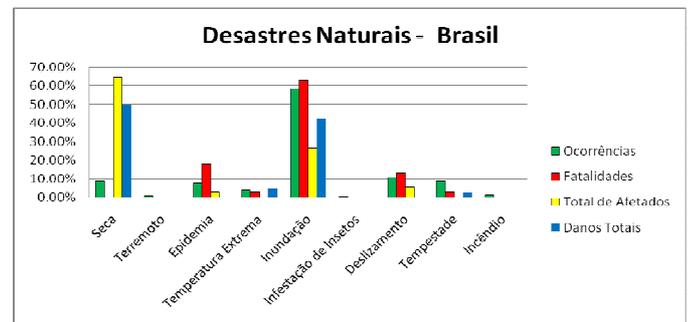


Fig. 3. Desastres Naturais - Brasil.

A literatura distingue conceitualmente enchente de inundação, onde a primeira refere-se a uma ocorrência natural onde o nível máximo de um curso d'água é atingido e a segunda representa o transbordamento das águas deste curso, atingindo a planície de inundação ou de várzea. A inundação, portanto, é o evento que normalmente pode provocar danos de grande proporções, apesar de existirem aglomerações humanas dentro do nível máximo de alguns cursos d'água, principalmente quando se trata de países em desenvolvimento ou subdesenvolvidos.

Além destas ocorrências, existem as enxurradas, que são o escoamento superficial concentrado e com alta energia de transporte e o alagamento, considerado o acúmulo momentâneo de águas em determinados locais por deficiência no sistema de drenagem.

Considera-se para efeito deste trabalho, no entanto, que não haverá distinção na utilização dos termos inundação e enchente, abrangendo estes, todos os desastres naturais de caráter hidrometeorológico ou hidrológicos, de natureza atmosférica, hidrológica ou oceanográfica [12]. Tal distinção visa, ainda, abranger diversos outros trabalhos e publicações que tratam indistintamente ambos os conceitos, visto que seus efeitos e danos colaterais são bastante similares.

Além dos conceitos acima definidos, DePue [13] lista seis tipos mais recorrentes de enchentes, quais sejam: o transbordamento de rios ou inundação de áreas ribeirinhas, enchente relâmpago, rompimento de diques ou barragens, inundação de área urbana, deslizamento de terra, inundações costeiras e erosões. Os dois primeiros são os mais comuns no contexto de desastres naturais.

O nível de alagamento ou inundação pode ser elevado e é influenciado pelas características topográficas. Portanto, estes dois tipos de inundações são amplamente reconhecidas como de grande importância para o estudo e análise de áreas de risco e preparação e planejamento de atividades de prevenção e resposta.

O resultado destes eventos pode implicar em danos estruturais como o colapso de pontes, rodovias, construções etc, com o conseqüente isolamento de áreas ou regiões repletas de vítimas, entre mortos feridos e desabrigados. Outra conseqüência grave é a contaminação das águas, sendo este outro fator que deve ser levado em consideração quando se trata de agilizar o resgate e extração de vítimas de inundações.

Em virtude destas características, as inundações são um desafio em particular para a fase de resposta de um desastre visto que pode haver uma vasta área de terra coberta de água, dificultando sobremaneira qualquer tipo de coordenação ou incursão. As operações de resgate de vítimas, bem como a organização logística, o transporte e distribuição de produtos de ajuda tornam-se complicados, uma vez que a infraestrutura está debilitada.

O Vale do Itajaí

Segundo Dias [14] o mês de novembro de 2008 bateu todos os recordes históricos de precipitação pluviométrica nas regiões da Grande Florianópolis, Vale do Itajaí e Litoral Norte do estado de Santa Catarina, sendo o período compreendido entre 20 e 24 daquele mês os dias de maior volume de chuvas.

A combinação de diversos fatores de cunho hidrológico e geomorfológicos transformou a região do vale do rio Itajaí-Açu em um cenário dramático de inundação, com aproximadamente 4.000 deslizamentos de terra. Tal cenário constituiu um dos piores desastres naturais já registrados no Brasil. Dentre as 1,5 milhões de pessoas afetadas em aproximadamente 60 municípios, foram contabilizados 133 óbitos, 22 desaparecidos e 78.000 desabrigados.

O elevado grau de intensidade do evento em tão curto período de tempo, transformou a fase de resposta deste desastre, segundo [15] em uma operação de guerra. As operações aéreas de resgate, denominadas “Operação Santa Catarina”, tiveram início em 24 de novembro de 2008, com a mobilização das unidades aéreas e se prolongaram por aproximadamente 15 dias. Esta operação foi classificada pelo Comando da Aeronáutica como a maior operação aérea já deflagrada no País em todos os tempos, e a segunda maior da América Latina, perdendo apenas para a Guerra da Malvinas em 1982 [9].

O Centro de Operações Aéreas foi gerenciado pelo Comando do Batalhão de Aviação da Polícia Militar de Santa Catarina, por delegação da Defesa Civil do Estado de Santa Catarina e foi instalado no Aeroporto Internacional de Navegantes. A operação envolveu 14 órgãos estaduais e federais, incluindo as três Forças Armadas e outras aeronaves de empresas privadas e particulares.

Do tratamento do dados

Passo [9] sumariza os dados relativos aos resgates executados pelos helicópteros na Operação Santa Catarina. Para o presente trabalho, foram utilizados os dados referentes ao dia 30/11/08, quando foram resgatadas 181 vítimas em 89 missões, totalizando 62 horas de voo.

As aeronaves envolvidas nesta operação, bem como o teatro de operações com os respectivos pontos de resgate de vítimas foram extraídos do relatório do Batalhão de Aviação da Polícia Militar de Santa Catarina sobre a Operação Santa Catarina.

Os pontos de suporte às vítimas foram identificados através de pesquisas realizadas pelo autor.

A distribuição inicial das vítimas nos pontos de resgate e capacidades dos pontos de suporte foram distribuídas de forma aleatória, visto que não foi possível identificar o posicionamento real destes. As demandas e capacidades utilizadas podem ser observadas na Tabela II.

TABELA II DISTRIBUIÇÃO INICIAL DE VÍTIMAS

Distribuição de Vítimas			
Localidade	Total de Vítimas	Localidade	Total de Vítimas
ALTO DO BAU	48	BAU CENTRAL	10
SERAFIM	45	SANTANA	3
ILHOTA	24	BRAÇO SERAFIM	3
BAÚ DE BAIXO	23	GASPAR	3
ARRIAL DE CIMA	19	BAÚ SECO	3
Total		181	
HSA-B	50	HCA-FAB	40
23BI	42	EG	24
EHL	25		
Total		181	
Áreas de resgate (Coleta)		Áreas de apoio (Entrega)	

As performances e características dos helicópteros estão disponíveis em [16]–[36]. Não foram analisadas, no entanto, as peculiaridades dos mesmos, como gráficos de desempenho, de peso versus combustível, diferenciação de tripulantes e passageiros e variações de configurações, entre outros.

O resumo destes dados pode ser observado na Tabela III.

TABELA III DISTRIBUIÇÃO INICIAL DE VÍTIMAS

Tabela de Características das Unidades Aéreas de Resgate				
Equipamento	Qtd	(Km/h)	USD/h	Capacidade de vítimas
Bell 206	3	210	\$609.50	5
Bell 407	1	246	\$736.00	6
Bell UH-1H	2	205	\$1,588.00	14
Super Puma	2	262	\$3,085.50	20
H-350	12	240	\$754.86	6
Panther	1	264	\$1,705.00	11
S-76A	1	253	\$1,973.00	13
UH-60M	1	260	\$564.00	14

IV. RESULTADOS

Após a aplicação do problema de roteirização de veículos, baseado nos dados apresentados, observou-se que foram utilizadas 20 aeronaves das 23 disponíveis.

Seriam necessárias 7 horas totais de voo gerando um custo de \$ 8.995,64 para executar o resgate de todas as 181 vítimas. O encerramento da operação se daria aproximadamente 30 minutos após a decolagem das aeronaves (sem considerar o tempo de embarque, desembarque, aceleração e desaceleração das aeronaves na rota).

Uma visão geral do teatro de operações e das rotas a serem percorridas por cada aeronave, após a otimização, é apresentada na Fig. 4.

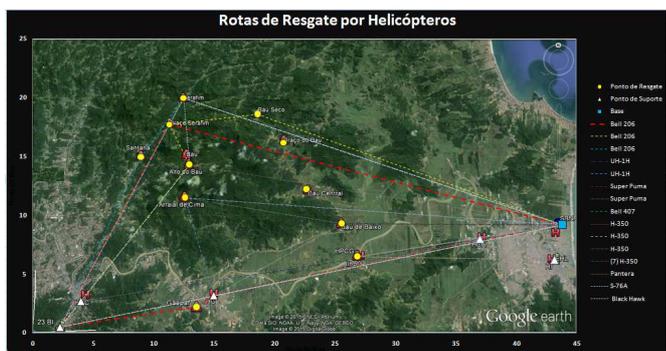


Fig. 4. Rotas sugeridas após a otimização.

V. CONCLUSÃO

Desastres naturais são eventos geralmente imprevisíveis que geram destruição e podem ocorrer em qualquer região do globo terrestre. As enchentes e inundações são os desastres naturais de maior relevância, em termos de danos materiais e danos à população das regiões afetadas, tanto no Brasil quanto no mundo.

O gerenciamento de desastres naturais tem sido um desafio às autoridades e órgãos responsáveis por prestar os serviços de resgate na fase de resposta.

Este gerenciamento pode ser visto como um ramo da logística, conhecido como logística de eventos.

Dentre as ferramentas amplamente utilizadas para o gerenciamento logístico e da cadeia de suprimento estão os métodos de roteirização de veículos, sendo o problema de roteirização de veículos (PRV) um dos mais conhecidos na literatura.

Este artigo se propôs a aplicar o HVRP, um variante do PRV, na otimização de rotas de unidades aéreas de resgate no contexto de desastres naturais.

Utilizou-se a inundação do Vale do Itajaí de 2008 como fonte de dados para executar a aplicação proposta.

Os resultados apresentados mostraram números surpreendentes em termos de eficiência na utilização de helicópteros de resgate com a consequente redução dos custos destas operações e aumento da capacidade de resgate de vítimas.

Ressalta-se, no entanto, a impossibilidade de realizar comparações entre os resultados apresentados e os reais em virtude da simplificação do mundo real necessária para a implementação do VRP. Acrescenta-se neste contexto o fato de não haver dados suficientemente específicos da Operação Santa Catarina que permitam analisar a verdadeira contribuição do presente estudo.

Posto isto, este artigo pretende, ainda, estimular os estudos nesta área de vital importância não só para a Defesa Civil como para a população, bem como estimular a coleta e manutenção dos dados e registros de forma completa e sistemática das ações realizadas nos eventos reais.

REFERÊNCIAS

- [1] IFRC, "What is a disaster," *Disaster and crisis management*, 2015. [Online]. Available: <https://www.ifrc.org/en/what-we-do/disaster-management/about-disasters/what-is-a-disaster/>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [2] N. Altay and W. G. Green, "OR/MS research in disaster operations management," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 175, no. 1, pp. 475–493, 2006.
- [3] D. F. Manso, R. Suterio, and M. C. N. Belderrain, "Estruturação do problema de gerenciamento de desastres do estado de São Paulo por intermédio do método Strategic Options Development and Analysis," *Gestão & Produção*, vol. 22, no. 1, pp. 4–16, Mar. 2015.
- [4] S. Onut, M. R. Kamber, and G. Altay, "A heterogeneous fleet vehicle routing model for solving the LPG distribution problem: A case study," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 490, no. 1, p. 012043, Mar. 2014.
- [5] J. R. Montoya-Torres, J. López Franco, S. Nieto Isaza, H. Felizzola Jiménez, and N. Herazo-Padilla, "A literature review on the vehicle routing problem with multiple depots," *Comput. Ind. Eng.*, vol. 79, pp. 115–129, Jan. 2015.
- [6] J.-F. Cordeau, J.-Y. Potvin, M. W. P. Savelsbergh, D. Vigo, C. Barnhart, and G. Laporte, *Transportation*, vol. 14. Elsevier, 2007.
- [7] L. Özdamar, E. Ekinci, and B. Küçükyazici, "Emergency Logistics Planning in Natural Disasters," *Ann. Oper. Res.*, vol. 129, no. 1–4, pp. 217–245, 2004.
- [8] W. Yi and L. Özdamar, "A dynamic logistics coordination model for evacuation and support in disaster response activities," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 179, no. 3, pp. 1177–1193, 2007.
- [9] R. F. Passos, "Apoio a calamidades: Uma aplicação da roteirização de veículo com coleta e entrega simultânea," in *XLII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, 2010.
- [10] S. N. Parragh, "Introducing heterogeneous users and vehicles into models and algorithms for the dial-a-ride problem," *Transp. Res. Part C Emerg. Technol.*, vol. 19, no. 5, pp. 912–930, 2011.
- [11] F. Wex, G. Schryen, S. Feuerriegel, and D. Neumann, "Emergency response in natural disaster management: Allocation and scheduling of rescue units," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 235, no. 3, pp. 697–708, Jun. 2014.
- [12] ISDR, "Disaster Reduction for Sustainable Mountain Development," *United Nations World Disaster Reduction Campaign*, 2002. [Online]. Available: <http://www.unisdr.org/2002/campaign/pa-camp02-kit-eng.htm>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [13] M. DePue, "Flood Types and Characteristics," *Annual Georgia Association of Floodplain Management Conference*, 2010. [Online]. Available: http://www.gafloods.org/pdf/2010/Types_of_Floods.pdf. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [14] M. A. F. S. Dias, "As chuvas de novembro de 2008 em Santa Catarina: um estudo de caso visando à melhoria do monitoramento e da previsão de eventos extremos," *Nota técnica*, 2009. [Online]. Available: http://www.ciram.com.br/ciram_arquivos/arquivos/gtc/downloads/Nota_Tecnica_SC.pdf. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [15] L. Nunes, "Operação da FAB em Santa Catarina já cumpriu 459 missões com 375 horas de voo," 2008. [Online]. Available: <http://noticias.uol.com.br/ultnot/agencia/2008/12/01/ult4469u33996.jhtm>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [16] HELISOLUTIONS, "Helisolutions abre base no Rio de Janeiro," *Jornal Gazeta Mercantil*, 2004. [Online]. Available: <http://www.helisolutions.com.br/getdb.asp?chk=5>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [17] F. Castro, "Aeronave Composta no Brasil 2," *Sistema de Armas*, 2006. [Online]. Available: <http://sistemasdearmas.com.br/ca/aco05mbeb.html>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [18] FORUM, "Helicopters: Cost of ownership," *Philippine Defense Forum*, 2007. [Online]. Available: <http://www.timawa.net/forum/index.php?topic=7943.0>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [19] TERRA, "Conheça o Bell 407GX, helicóptero de US\$ 3,3 milhões," *CARROS E MOTOS*, 2013. [Online]. Available: <http://economia.terra.com.br/carros-motos/conheca-o-bell-407gx-helicoptero-de-us-33-milhoes,d63fcb0243752410VgnVCM10000098cceb0aRCRD.html>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [20] WIKIPEDIA, "Bell 206 Jet Ranger," *Bell 206 Jet Ranger*, 2015. [Online]. Available: https://pt.wikipedia.org/wiki/Bell_206_Jet_Ranger. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [21] CONKLIN & DE DECKER ASSOCIATES, "Aircraft Cost Summary," *Aircraft Cost Evaluator*, 2015. [Online]. Available:

- <https://www.conklindd.com/CDALibrary/ACCostSummary.aspx>.
[Accessed: 29-Jun-2015].
- [22] HELIBRAS, "Helibras EC120 Colibri," *EC120 CIVIL*, 2013. [Online]. Available: http://www.helibras.com.br/wp-content/uploads/2013/10/ec120_b_apresentacaodoproduto.pdf. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [23] SIKORSKY AIRCRAFT CORPORATION, "UH-60M BLACK HAWK Helicopter," *BLACK HAWK*, 2014. [Online]. Available: <http://www.sikorsky.com/Pages/Products/Military/BlackHawk/UH60M.aspx>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [24] SIKORSKY AIRCRAFT CORPORATION, "Sikorsky Archives | R-4 Coast Guard." [Online]. Available: <http://www.sikorskyarchives.com/S-76.php>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [25] G. A. H. Rocha, "ROBINSON R-44 ASTRO:ESSE AÍ VEIO E CONQUISTOU O BRASIL - Flog Brasil," *ROBINSON R-44*, 2006. [Online]. Available: <http://www.gustavoadolfo.flogbrasil.terra.com.br/foto15977758.html>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [26] HELITORQUE, "MD Helicopters Proudly Presents Aircraft to Turkish National Police," *Turkish National Police*, 2011. [Online]. Available: <http://www.helitorque.com/portal/modules.php?name=News&file=article&sid=258>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [27] HELIHUB, *US Customs & Border Protection puts MD600 fleet into desert storage*. helihub.com, 2010.
- [28] K. Palt, "Eurocopter / Aerospatiale AS 350 Ecureuil / AS 550 Fennec - Specifications - Technical Data / Description," *Flugzeug*, 2013. [Online]. Available: http://www.flugzeuginfo.net/acdata_php/acdata_as350_en.php. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [29] HELIBRAS, "Esquilo AS350 B2 da Helibras é um helicóptero monoturbinado leve." [Online]. Available: <http://www.helibras.com.br/produtos/civil/as350-b2/>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [30] AIRBUS HELICOPTERS, "AS565," *AS565 MBe*, 2014. [Online]. Available: http://www.airbushelicopters.com/website/docs_wsw/pdf/AS565MBe/AS565MBe-MP-1214E.pdf. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [31] HELIBRAS, "AS565 - Helibras." [Online]. Available: <http://www.helibras.com.br/produtos/militar/as565/>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [32] AIRBUS HELICOPTERS, "AS332," *AS332 C1e*, 2014. [Online]. Available: http://www.airbushelicopters.com/website/docs_wsw/pdf/AS332C1e-MP-0114E.pdf. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [33] G. Mylne, "Huey Specifications," *Dedicated Unhesitating Service To our Fighting Forces*, 1998. [Online]. Available: <http://home.onthenet.com.au/~gmylne/hueyspecs1.htm>. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [34] S. Writer, "The UH-1 Huey became the symbol of American involvement in the Vietnam War," *Bell UH-1 Iroquois (Huey) Multi-Role / Utility / Attack / Transport Helicopter*, 2014. [Online]. Available: http://www.militaryfactory.com/aircraft/detail.asp?aircraft_id=42. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [35] Wikipedia, "Bell UH-1H Iroquois 'Huey' specifications and photos," *The Skytamer Archive*, 2012. [Online]. Available: http://www.skytamer.com/Bell_UH-1H.html. [Accessed: 29-Jun-2015].
- [36] BELL HELICOPTER TEXTRON, "Specifications," *THE BELL 206L4*, 2014. [Online]. Available: http://www.bellhelicopter.com/en_US/Commercial/Bell206L4/1291148332448.html. [Accessed: 29-Jun-2015].