

APOIO A CALAMIDADES: UMA APLICAÇÃO DA ROTEIRIZAÇÃO DE VEÍCULO COM COLETA E ENTREGA SIMULTÂNEA

Rainer Ferraz Passos

Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA)

Caixa Postal 6017 – Campus do CTA – São José dos Campos - SP – 12228-970

rainerfp@ita.br

RESUMO

Motivado pela necessidade de resposta às calamidades causadas pelo grande volume de chuvas no Vale do Itajaí, no final de 2008, este artigo descreve uma pesquisa que objetiva desenvolver uma aplicação dos métodos de Coleta e Entrega Simultâneas para apoio a calamidades. Esta variação envolve entregar cargas como víveres e remédios aos agrupamentos isolados de pessoas, remover feridos, remover pessoas em áreas de risco isoladas e transportar equipes de resgate e de apoio aos pontos necessários. Para tal, o problema foi caracterizado e foram utilizados dados da Defesa Civil e instâncias construídas para testar a modelagem inicial sugerida.

Palavras Chave: Roteirização de Veículos, Coleta e Entrega Simultâneas, Calamidades.

ABSTRACT

Motivated by the urge to support the people involved with the weather catastrophes that took place at Itajaí Valley by the end of 2008, this article describes the research aiming the development of an application of the Simultaneous Pick-up and Delivery problem to support the victims. This variation involves delivering food and medicine to isolated people, injured removal, endangered people removal and rescue teams transportation. To this end the problem was described and it has been used Civillian Defense data, as well as created data for testing the preliminar model presented.

Keywords: Vehicle Routing, Simultaneous Pickup and Delivery, Disaster.

1. Introdução

“A maior operação aérea da Defesa Civil na história do Brasil se tornou uma operação de guerra para resgatar as vítimas das enchentes e deslizamentos em Santa Catarina, por causa das chuvas que atingiram o Estado” (Nunes, 2008).

Nesta mesma reportagem o autor informa que o Comando da Aeronáutica classificou a atividade como “a maior operação aérea deflagrada no País em todos os tempos”, bem como a segunda maior de toda a América Latina, após apenas da Guerra das Malvinas, em 1982.

Essa operação, destinada ao apoio e resgate às vítimas dos soterramentos e das enchentes ocorridas no Vale do Itajaí, no fim de novembro e início de dezembro de 2008, foi denominada Operação Santa Catarina.

A catástrofe teve abrangência sobre: 51 municípios atingidos, 78 mil desabrigados, 135 óbitos (duas pessoas desaparecidas até hoje) e 4 mil deslizamentos (Pinto, 2009). Essa dimensão levou ao desenvolvimento da atividade aérea com 14 órgãos estaduais e federais, incluindo as três Forças Armadas.

Segundo Marques (2010), a diversidade de instituições envolvidas produz uma dificuldade de ser contornada: a coordenação do emprego dos meios de apoio. Esta coordenação é estudada por um grupo de pesquisa em atividade no Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA), com foco no desenvolvimento de um *framework* aplicável às diversas situações em que se exige interoperabilidade dos sistemas de comando das Forças Armadas ou órgãos reunidos.

Inclusa nesse conceito, encontra-se a necessidade de um componente o qual, dada uma situação específica, calcule uma alocação adequada dos meios disponíveis para o cumprimento das atividades necessárias, em tempo hábil.

Dessa forma, motivado pela necessidade de resposta às calamidades citadas, este artigo descreve o início da pesquisa que objetiva dotar o sistema de interoperabilidade com um modelo matemático próprio para o caso de uso de apoio de helicópteros a calamidades, a fim de otimizar a alocação dos meios disponíveis para cada missão necessária.

Assim, propõe-se apresentar um modelo de otimização da roteirização de helicópteros para atender pedidos de transporte de víveres, feridos e desabrigados. O modelo foi aplicado a dados da Operação Santa Catarina, no entanto, ressalta-se também que este problema caracteriza-se por outras necessidades de transporte e por variações do problema de roteirização não implementadas no modelo apresentado.

Os intuítos da divulgação desta abordagem inicial do assunto são: sensibilizar as organizações que participam do socorro para a importância da coleta e divulgação de dados e alertar a comunidade acadêmica para a existência desta aplicação relevante de um problema frequente na literatura. Por isto a contribuição em foco, além do modelo em si, é realizar a caracterização do problema no contexto do apoio a calamidades.

O trabalho tem a seguinte estrutura: a segunda seção comenta os problemas de Coleta e Entrega Simultânea e de Mínima Latência, identificados como afins ao problema em tela; a seção 3 apresenta a definição do problema e a modelagem da abordagem inicial; levando-se aos resultados comentados na seção 4 e às considerações registradas na conclusão.

2. Os Problemas de Coleta e Entrega Simultânea e de Mínima Latência

Esta seção apresenta alguns conceitos que auxiliam caracterizar a aplicação do problema de roteirização para o apoio a calamidades, incluindo os não implementados na formulação apresentada a partir da terceira seção.

Segundo Sarubbi (2007), o problema de Mínima Latência também é conhecido como *Traveling Repairman Problem*, *Traveling Salesman Problem with Cumulative Costs* ou *Deliveryman Problem*, com a característica de que se busca fazer o agente visitar clientes nos nós de um grafo de forma a minimizar o tempo de espera desses clientes. Por conta desta minimização, identifica-se afinidade com o problema de socorro às vítimas isoladas de uma catástrofe climática.

Já o problema de Coleta e Entrega, é definido pela construção de rotas para que uma frota de veículos atenda a um grupo de demandas de transporte. Diferentes definições e caracterizações foram reunidas por Parrah (2008), algumas foram resumidas por Rigo (2009), das quais destacamos:

Problema de Roteirização de Veículos com *Backhauls* (*Vehicle Routing Problem with Backhauls – VRPB*), onde os veículos só podem coletar as mercadorias dos clientes, nos pontos de demanda, após terem acabado de entregar toda a sua carga. Tratando-se de transporte de carga entre depósito-ponto de demanda-depósito em que se busca minimizar o comprimento total da rota dos veículos.

Problema de Roteirização de Veículos com Coleta e Entrega Simultânea (*Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery - VRPSPD*), definido pela situação em que os clientes estão nos pontos da rota, são visitados apenas uma vez e demandam entrega e coleta na mesma visita.

Dial-a-ride Problem (DARP), no qual transportam-se pessoas entre pontos de coleta e entrega pareados, normalmente buscando-se minimizar a inconveniência para o passageiro, que é considerado o cliente. Dessa forma, transporte de carga entre pontos de demanda.

Problema de Coleta e Entrega com Carga Dividida (*Split Load Pick-Up and Delivery Problem – Split Load PDP*), onde a carga pode ser dividida, atendendo-se a demanda em mais de uma viagem ou com mais de um veículo (Nowak et al, 2009).

Além dessas variações apresentadas, cabe comentar uma outra característica da aplicação em tela, a necessidade de transporte de diferentes cargas: material embalado (viveres, remédios, etc...) e pessoas (equipe de resgate ou vítimas). Cada qual limitada por restrições de capacidade de carga dos veículos em dimensões distintas: massa, volume (material) e unidades (pessoas).

3. Definição do problema e formulação matemática

Depois de apresentadas as formulações afins, ilustra-se a caracterização do problema na Tabela 1, conforme os casos de emprego do helicóptero. Ressalta-se que algumas dessas características tabuladas não se encontram implementadas na modelagem apresentada.

Tabela 1: Características do problema por caso de emprego do helicóptero

| Característica | Remoção de ferido | Evacuação de vítimas | Transporte de material | Traslado equipe de apoio e resgate |
|---|-------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------|
| Otimiza conveniência para o “cliente” (latência mínima) | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Transporte “depósito”-ponto-“depósito” | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Transporte entre pontos de demanda | Não | Não | Não | Sim |
| Entrega e coleta simultânea em um ponto | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Demanda dividida | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Dimensão de restrição de carga | Unidade | Unidade | Massa ou volume | Unidade |

Dentre os casos de emprego do helicóptero, alguns podem ser realizados concomitantemente em cada trecho entre dois pontos, quer sejam os pontos a serem apoiados, as bases, onde ficam as aeronaves, ou os centros de apoio, onde concentram-se os voluntários, as estruturas de suporte aos desabrigados e a organização dos donativos.

As possibilidades de concorrência são resumidas na Tabela 2.

Tabela 2: Possibilidade de concorrência de casos de emprego em um mesmo trecho.

| Caso de emprego | Remoção de ferido | Evacuação de vítimas | Transporte de material | Traslado de equipe de apoio e resgate |
|--|-------------------|----------------------|------------------------|---------------------------------------|
| C1 - Remoção de ferido | - | Não | Não | Não |
| C2 - Evacuação de vítimas | Não | - | Não | Sim |
| C3 - Transporte de material | Não | Não | - | Sim |
| C4 - Traslado de equipe de apoio e resgate | Não | Sim | Sim | - |

Dessa forma, cabe ressaltar que independentemente do caso de emprego no trecho, pode ser realizada uma entrega e uma coleta (simultâneas), em qualquer ponto. A concorrência de mais de um caso indica apenas a possibilidade de a entrega, a coleta, ou ambas envolverem mais de um tipo de “produto” em demanda.

Outra propriedade da situação é a capacidade de comunicação com as aeronaves, enquanto estão visitando os pontos que solicitaram apoio. A qualidade dessa capacidade define a possibilidade de alterar a rota que o helicóptero deverá cumprir. Isso é comum, porque o isolamento das pessoas atingidas faz com que as solicitações de apoio sejam produzidas a partir das observações dos tripulantes das aeronaves, no momento em que são relatadas.

Dessa forma, pode-se alterar a rota das aeronaves já em algum ponto, para otimizar o atendimento ao novo cenário. Situação em que o modelo deve contemplar a possibilidade das aeronaves iniciarem a rota a partir de qualquer ponto ou centro de apoio, além das bases.

3.1. Proposta da Primeira Abordagem

A referência ao problema em observação será simplificada, utilizando-se CHR (Caso do Helicóptero de Resgate), bem como também foi simplificada esta abordagem inicial de sua formulação.

Assumindo-se a hipótese de incapacidade de comunicação e de alteração da rota durante a mesma, deve-se esperar o retorno de todo o conjunto de aeronaves em vôo, denominado pacote, para atualizar o quadro de solicitações e, então, utilizar o modelo para definir rotas das saídas seguintes dos helicópteros, e assim sucessivamente até cessarem as solicitações, conforme ilustrado na Figura 1.

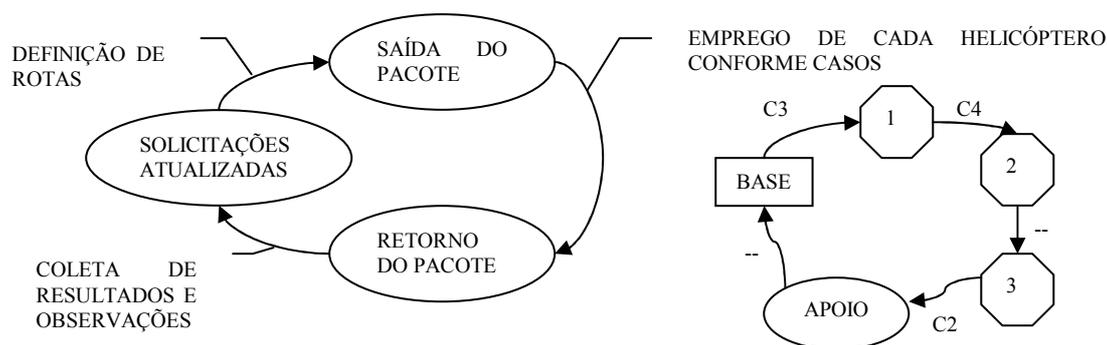


Figura 1: Situação sem contato durante a rota – aguardar retorno de todas as aeronaves.

Esse processo pode ser realizado após a chegada de cada aeronave, pois os resultados de sua última missão e suas observações alteram o quadro de apoio necessário. No entanto, nesta primeira abordagem, voltada para a operacionalização do sistema de interoperabilidade, buscase uma solução factível e ainda sem o controle da latência. Por isso, não foi inserido o controle do tempo, a ser usado no futuro quando da implementação do controle de latência mínima.

Dessa forma, a Tabela 3 permite identificar as características efetivamente implementadas pela formulação inicial.

Tabela 3: Características do CHR inicial por caso de emprego do helicóptero

| Características | Remoção de ferido | Evacuação de vítimas | Transporte de material | Traslado equipe de apoio e resgate |
|---|-------------------|----------------------|------------------------|------------------------------------|
| Otimiza conveniência para “cliente” (latência mínima) | Não | Não | Não | Não |
| Transporte base - ponto | Não | Não | Sim | Sim |
| Transporte ponto - apoio | Sim | Sim | Não | Sim |
| Transporte entre pontos de demanda | Não | Não | Não | Sim |
| Entrega e coleta simultânea | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Demanda dividida | Sim | Sim | Sim | Sim |
| Dimensão de restrição de carga | Unidade | Unidade | Massa | Unidade |

Finalmente, observa-se que não foi permitida nenhuma das concorrências de casos citadas na Tabela 2.

3.2. Formulação da Primeira Abordagem

Conhecidas essas características, pode-se apresentar os principais detalhes da formulação deste modelo. Partiu-se da formulação apresentada por Dethloff (2001), especialmente para a ordenação dos pontos a serem visitados por cada helicóptero em sua rota.

O conjunto L representa todos os locais já cadastrados na operação. Esses locais são classificados também em sub-conjuntos de L : L^b (bases), L^a (centros de apoio) e L^p (pontos de solicitações). O conjunto V contempla os helicópteros disponíveis para o próximo pacote.

A matriz C armazena os valores de capacidade: c_v^f de transporte de feridos (maca) do helicóptero v , c_v^g de transporte de pessoas (desabrigados ou equipes de resgate) e c_v^k de transporte de carga. (Conjunto M de tipos de capacidade $M = \{f, g, k\}$).

A matriz D armazena a demanda de cada ponto, podendo ser de carga ($d_{p,kk}$), de remoção de ferido ($d_{p,vf}$), de remoção de desabrigado ($d_{p,vd}$), de recebimento de equipe de resgate ($d_{p,ea}$) e de retirada de equipe de resgate ($d_{p,ed}$). (Conjunto N de tipos de demanda $N = \{kk, vf, vd, ea, ee\}$).

A matriz $T_{L \times L}$ armazena a quantidade de pessoas de equipe de resgate que precisam ser trasladadas entre dois pontos quaisquer, origem e destino das demandas sobre equipes definidas em D .

Por isso, o caso de traslado de equipe foi dividido em três casos, totalizando seis formas de emprego do helicóptero, além do caso de não ser utilizado no pacote:

- 1 – Transporte de material de uma base para um ponto de solicitação;
- 2 – Traslado de equipe de resgate de uma base para um ponto de solicitação;
- 3 – Coleta de equipe de resgate – início do traslado entre dois pontos de solicitação;
- 4 – Entrega de equipe de resgate – fim do traslado entre dois pontos da rota;
- 5 – Evacuação de vítima (sem maca) de um ponto para um centro de apoio; e
- 6 – Remoção de ferido (com maca) de um ponto para um centro de apoio.

O vetor W armazena os pesos w_N ($N = \{kk, vf, vd, ea, ee\}$) definidos pelo usuário, modo pelo qual se implementa a priorização dos tipos de demanda, determinada pela autoridade responsável pela condução das operações no local da calamidade.

Define-se também:

$$x_{v,l} = \begin{cases} 1, & \text{se helicóptero } v \text{ visita o local } l; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$x_{v,l}^{caso} = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ visita local } l \text{ e é empregado com o caso } \in \{1,2,3,4,5,6\}; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$y_{v,l} = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ segue para centro de apoio } l \in L^a \text{ após último ponto visitado;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$t_{v,i,l} = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ realiza o trecho } i - l, i \in L, l \in L; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$tr_{v,i,l} = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ realiza traslado de equipe no trecho } i - l, i \in L^p, l \in L; \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$ckk_v = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ realiza entrega de material na rota;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

$$cea_v = \begin{cases} 1, & \text{se } v \text{ realiza entrega de equipe a partir da base;} \\ 0, & \text{caso contrário.} \end{cases}$$

Além dessas variáveis de decisão, calcula-se:

$q_{v,l}^{caso}$ = quantidade da unidade própria que v transporta para/de l , conforme caso;

$\pi_{v,l}$ = posição do ponto l na rota de v ;

rd_p = demanda de entrega não atendida no ponto $p \in L^p$ (2) - carga (cada 100kg) ou equipe;

rp_p = demanda de coleta (vítima e equipe) não atendida no ponto $p \in L^p$ (3); e

NL = número total de locais existentes em L .

Também são definidas variáveis de apoio para forçar que a aeronave saia da base carregada apenas com pessoas (equipe) ou apenas com carga, bem como para controlar as quantidades nos traslados entre pontos e os totais transportados para ou de cada ponto.

Dessa forma, são definidas restrições comuns aos modelos e seu fluxo:

- O número de chegadas de cada aeronave a um ponto é igual ao número de saídas e limitado a uma, em cada pacote, assim mais de uma aeronave pode visitar o mesmo ponto, dividindo a carga;
- Não é permitido o trecho de um ponto para ele mesmo;
- A quantidade transportada ($q_{v,l}^{caso}$) por cada aeronave em todas as pernas é limitada por sua capacidade (c_v^M) própria para cada caso ($\{1,2,3,4,5,6\}$);
- A soma da quantidade transportada ($q_{v,l}^{caso}$) por todos os helicópteros do pacote não excede a demanda do ponto ($d_{p,N}$);
- A soma das quantidades trasladadas pelas aeronaves entre quaisquer pontos i e j não excede a demanda de coleta e de entrega ($T_{i,j}$); e
- Um ponto só passa a fazer parte da rota ($t_{v,i,l}$) de uma aeronave (v) se é visitado pela mesma ($x_{v,l}$).

Função objetivo:

$$\text{Min} \sum_{p \in L^p} rd_p + \sum_{p \in L^p} rp_p + \sum_{v \in V} \sum_{p \in L^p} x_{v,p} \quad (1)$$

Onde:

$$rd_p = w_{kk} \cdot (d_{p,kk} - \sum_{v \in V} q_{v,p}^1) / 100 + w_{ea} \cdot (d_{p,ea} - \sum_{v \in V} q_{v,p}^2 - \sum_{v \in V} q_{v,p}^4) \quad \forall p \quad (2)$$

$$rp_p = w_{vf} \cdot (d_{p,vf} - \sum_{v \in V} q_{v,p}^6) + w_{vd} \cdot (d_{p,vd} - \sum_{v \in V} q_{v,p}^5) + w_{ed} \cdot (d_{p,ed} - \sum_{v \in V} q_{v,p}^3) \quad \forall p \quad (3)$$

Sujeito a:

$$x_{v,l} \leq \sum_{caso=1}^6 x_{v,l}^{caso} \quad \forall v, \forall l \quad (4)$$

$$\sum_{l \in L^a} t_{v,p,l} \geq x_{v,p}^{caso} \quad \forall v, \forall p \in L^p, \quad \forall caso \in \{5,6\} \quad (5)$$

$$y_{v,l} \leq \sum_{p \in L^p} x_{v,p}^5 + \sum_{p \in L^p} x_{v,p}^6 \quad \forall v, \forall l \in L^a \quad (6)$$

$$ckk_v + cea_v \leq 1 \quad \forall v \quad (7)$$

$$\sum_{l \in L^b} t_{v,l,p} \geq x_{v,p}^2 \quad \forall v, \forall p \in L^p \quad (8)$$

$$\sum_{p \in L^p} tr_{v,p,l} = x_{v,p}^3 \quad \forall v, \forall l \in L \quad (9)$$

$$\sum_{p \in L^p} tr_{v,p,l} = x_{v,l}^4 \quad \forall v, \forall l \in L \quad (10)$$

$$tr_{v,p,l} \leq T_{p,l} \quad \forall v, \forall p \in L^p, \forall l \in L \quad (11)$$

$$NL \cdot \sum_{p \in L^p} t_{v,b,p} \geq \sum_l t_{v,i,l} \quad \forall v, \forall b \in L^b, \forall i \in L^p, \quad l \in L^p \cup L^a \quad (12)$$

$$t_{v,a,b} \geq y_{v,a} \quad \forall v, \forall a \in L^a, \forall b \in L^b \quad (13)$$

$$\pi_{v,l} \leq \sum_i^{L^p \cup L^a} \sum_j^L t_{v,i,j} \quad \forall v, \forall l \in L^p \cup L^a \quad (14)$$

$$\pi_{v,j} \geq \pi_{v,i} + 1 - \{NL \cdot (1 - t_{v,i,j})\} \quad \forall v, \forall i \in L^p, \forall j \in L^p \cup L^a \quad (15)$$

As restrições detalhadas tratam de:

- (4) – Impedir a concorrência de mais de um caso de emprego em um trecho;
- (5) – Obrigar que qualquer emprego leve a existência de um trecho correspondente na rota;
- (6) – Forçar a visita a um centro de apoio em qualquer rota que tenha a coleta de ferido ou desabrigado;
- (7) e (8) – Forçar que em uma rota a aeronave só entregue equipe ou material e que a entrega de equipe seja no primeiro ponto após a saída da base;
- (9), (10) e (11) – Forçar que haja coleta de equipe em p e entrega em j toda vez que houver um trajeto com traslado de equipe entre p e j e que isso só ocorra quando houver traslado previsto em T entre os dois pontos;
- (12) e (13) – Forçar que haja um trecho que saia da base toda vez que houver qualquer trecho na rota, bem como que haja um trecho entre apoio e base toda vez que houver visita a um apoio; e
- (14) e (15) – Atribuir valores a π formando a rota com a ordenação dos trechos percorridos e limitando π ao número de pontos visitados.

Deve-se observar que a função objetivo (1) e o cálculo dos resíduos (2) e (3) indicam a necessidade de que os pesos w_N sejam superiores a um, para que uma eventual iteração com resíduo de valor um, não leve a equivalência de valor entre não decolar nenhum helicóptero ou atender à demanda de valor unitário. Bem como perceber que a unidade de massa foi transformada em uma unidade para cada 100 kg (como por exemplo caixas de 100kg). Desta forma as variáveis na função objetivo contam com dimensões equiparáveis.

4. Resultados com dados da Defesa Civil

O modelo foi implementado utilizando-se o aplicativo GAMS (*General Algebraic Modeling System*), com sua linguagem de programação própria e utilizando como solver o pacote CPLEX 10.1. A plataforma contava com um processador Intel Atom de 1.66GHz e 2 GB de memória RAM.

Os dados utilizados foram os apresentados por Pinto (2009) que sumarizam helicópteros disponíveis, os pontos utilizados, as quantidades de vítimas e de carga transportadas, no entanto sem dados sobre o transporte de equipes, conforme ilustrado na Figura 2 e nas Tabelas 4, 5 e 6.



Figura 2: Transporte de carga (caixas), de desabrigados e de equipes. Fonte: PMMG (2008).

Tabela 4: Totais da operação da Defesa Civil. Fonte: Pinto (2009).

| TOTAIS DE TRANSPORTE | |
|----------------------|------------------------------|
| QTD | TIPO |
| 1250 | Vítimas resgatadas |
| 14 | Corpos removidos |
| 610,8 | Horas de vôo |
| 733 | Missões |
| 127 | Colchões distribuídos |
| 30.206 | Kg de alimentos distribuídos |
| 4.248 | Litros de água distribuídos |
| 1.312 | Litros de leite distribuídos |

Desses dados, utilizou-se os totais de 1250 vítimas resgatadas, sem separá-las em feridos ou desabrigados, e 35.700kg de carga transportada, sendo uma aproximação da soma de alimentos, água e leite.

Os valores da carga foram distribuídos igualmente entre os dias de operação da Tabela 5, uma vez que apenas as vítimas foram discriminadas por dia. Os valores experimentados no modelo encontram-se sintetizados na Tabela 6. Já as aeronaves disponíveis são as constantes da Tabela 7 e os pontos utilizados correspondem aos apresentados na Figura 3.

Tabela 5: Dados por dia de operação. Fonte: Pinto (2009)

| DATA | NOVEMBRO | | | | | | DEZEMBRO | | | | | | | |
|-------------|----------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|-----|-----|-----|
| | 24 e 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Vítimas | 539 | 98 | 95 | 136 | 156 | 181 | 26 | 1 | 0 | 2 | 2 | 13 | 1 | 0 |
| Vit. Fatais | 5 | 1 | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 3 | 0 |
| Horas | 71,2 | 65,9 | 92,2 | 82,1 | 63,6 | 62,1 | 48,7 | 37,7 | 32,2 | 22,1 | 12,5 | 9,2 | 6,4 | 4,9 |
| Missões | 61 | 98 | 118 | 103 | 79 | 89 | 47 | 42 | 23 | 29 | 14 | 14 | 10 | 6 |

Tabela 6: Dados por dia de operação utilizados no modelo.

| DATA | NOVEMBRO | | | | | | DEZEMBRO | | | | | | | |
|---------|----------|------|------|------|------|------|----------|------|------|------|------|------|------|------|
| | 24 e 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
| Vítimas | 539 | 98 | 95 | 136 | 156 | 181 | 26 | 1 | 0 | 2 | 2 | 13 | 1 | 0 |
| Carga | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 | 2550 |

Tabela 7: Helicópteros e capacidades utilizadas no modelo.

| TIPOS | QTD (un.) | CARGA (kg) | PESSOA (un.) | MACA (un.) |
|---------------------|-----------|------------|--------------|------------|
| H-350 (Esquilo) | 12 | 400 | 4 | 1 |
| BH-07 (Bell 407) | 3 | 700 | 6 | 2 |
| BH-06 (Jet Ranger) | 2 | 350 | 3 | 1 |
| EC-120 (Colibri) | 2 | 300 | 3 | 1 |
| AS-332 (Super Puma) | 1 | 1800 | 16 | 2 |
| TOTAL | 20 | | | |

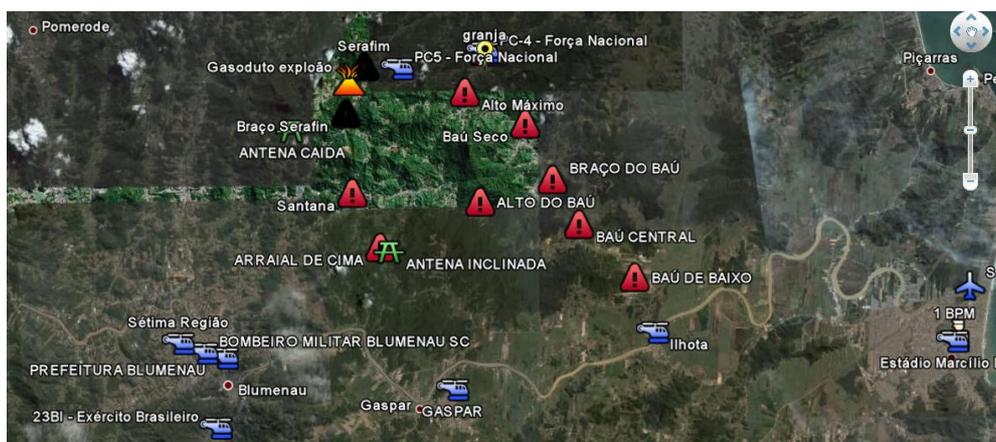


Figura 3: Ilustração de onde foram obtidos os pontos utilizados. Fonte: Pinto (2009).

Finalmente, os pontos utilizados no modelo (Tabela 8) foram identificados a partir da ilustração da região utilizada pelas tripulações e, assim, completou-se a reunião dos dados para experimentação do modelo.

Tabela 8: Locais utilizados no modelo.

| LOCAL | TIPO | CÓDIGO |
|---------------------------|-------|-------------|
| Navegantes | base | base |
| 23 BI – Exército | apoio | BI |
| Gaspar | apoio | gaspar |
| Bombeiro Militar Blumenau | apoio | bomb |
| Prefeitura Blumenau | apoio | pref |
| Sétima Região | apoio | regiao |
| PC-4 Força Nacional | apoio | PC4 |
| PC-5 Força Nacional | apoio | PC5 |
| Ilhota | ponto | ilhota |
| Baú de Baixo | ponto | bau_baixo |
| Baú Central | ponto | bau_central |
| Arraial de Cima | ponto | arr_cima |
| Alto do Baú | ponto | bau_alto |
| Santana | ponto | santana |
| Braço do Baú | ponto | bau_braco |
| Baú Seco | ponto | bau_seco |
| Alto Máximo | ponto | maximo |
| Braço Serafim | ponto | br_serafim |
| Serafim | ponto | serafim |

O número de vítimas é a soma de cada dia de operação, por isso foi realizada a distribuição aleatória desse total entre os pontos, para cada um dos dias, ilustrada pela Tabela 9, referente ao período 24-25 de novembro de 2008.

Tabela 9: Demandas distribuídas para 24-25 / nov.

| CÓDIGO | VÍTIMAS | CARGA | FERIDOS | EQUIPE | RETORNO |
|-------------|---------|-------|---------|--------|---------|
| ilhota | 6 | 550 | | | |
| bau_baixo | 54 | 150 | | | |
| bau_central | 18 | 200 | | | |
| arr_cima | 76 | 50 | | | |
| bau_alto | 56 | 150 | | | |
| santana | 46 | 250 | | | |
| bau_braco | 32 | 0 | | | |
| bau_seco | 85 | 0 | | | |
| maximo | 78 | 350 | | | |
| br_serafim | 71 | 350 | | | |
| serafim | 17 | 500 | | | |
| total | 539 | 2550 | | | |

Dessa forma, a experimentação foi realizada com dados apenas para remoção de desabrigados e para distribuição de carga. Uma próxima etapa deve alocar algumas das vítimas como caso de emprego de maca, bem como buscar dados para estimar a distribuição de demanda de traslado de equipes.

Tabela 10: Resultados a cada cálculo de rotas – processamento limitado a 120 segundos.

| DATA | PACOTE | RESÍDUO ENTREGA | RESÍDUO COLETA | PONTOS VISITADOS | GAP | Tempo (seg) Acumulado | | |
|----------|---------|-----------------|----------------|------------------|-----|-----------------------|-------|--------|
| NOVEMBRO | 24 e 25 | 1 | 0 | 445 | 20 | 0% | 11,03 | |
| | | 2 | 0 | 363 | 17 | 7,08% | 6,45 | |
| | | 3 | 0 | 275 | 19 | 5,6% | 6,05 | |
| | | 4 | 0 | 185 | 19 | 0,68% | 6,38 | |
| | | 5 | 0 | 96 | 19 | 7,69% | 7,72 | |
| | | 6 | 0 | 4 | 20 | 0% | 121 | |
| | 26 | 1 | 0 | 3 | 25 | 10% | 69,7 | |
| | | 2 | 0 | 0 | 2 | 1,43% | 2,98 | |
| | | 27 | 1 | 0 | 3 | 21 | 0% | 121,41 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 3 | 0% | 3,23 |
| | | 28 | 1 | 0 | 46 | 21 | 0% | 9,13 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 9 | 6,25% | 31,88 |
| | | 29 | 1 | 0 | 62 | 24 | 0% | 37,08 |
| | | | 2 | 0 | 0 | 13 | 0% | 28,08 |
| 30 | 1 | 0 | 87 | 23 | 0% | 4,58 | | |
| | 2 | 0 | 0 | 19 | nob | 3,45 | | |
| DEZEMBRO | 1 | 1 | 0 | 0 | 6 | nob | 20,95 | |
| | 2 | 1 | 0 | 0 | 5 | nob | 5,88 | |
| | 3 | 1 | 0 | 0 | 3 | nob | 2,23 | |
| | 4 | 1 | 0 | 0 | 5 | nob | 4,45 | |
| | 5 | 1 | 0 | 0 | 5 | nob | 4,63 | |
| | 6 | 1 | 0 | 0 | 6 | nob | 4,33 | |
| | 7 | 1 | 0 | 0 | 4 | nob | 4,17 | |
| | 8 | 1 | 0 | 0 | 7 | nob | 3,52 | |

De qualquer forma, os resultados indicam que a demanda de entrega de suprimento podia ser atendida, dada a capacidade total do conjunto de aeronaves disponíveis, no entanto os valores de resíduo de coleta de vítimas, a cada passo, indicam a importância de veículos com grande capacidade de transporte de pessoas. Fato que deverá ser observado também quando da medição da latência.

Devido à necessidade de definir-se rapidamente a rota dos helicópteros, após seu retorno, os testes (Tabela 10) foram realizados com o sistema limitado a 120 segundos de processamento, quando se assume a melhor solução conseguida até o momento. Comparando seus resultados com os testes posteriores, utilizando um limite de 1.000 segundos, percebeu-se que só houve diferenças no pacote 7 do período 24-25/Nov e no pacote 2 de 27/Nov.

Os resultados atuais permitem indicar que a modelagem atingiu seu objetivo de calcular uma solução factível em tempo hábil, alocando os meios disponíveis para o cumprimento das atividades necessárias. Resta realizar sua comparação com soluções comprovadamente ótimas (sem cortes por tempo), bem como explorar o modelo com dados de transporte de equipes e de feridos, para completar toda a gama de casos de emprego dos helicópteros.

Acredita-se que a variação do tempo de processamento influencie mais pesadamente as situações com dados completos (incluindo feridos e traslados), pois isso foi observado nas experiências com pequenos grupos de dados fictícios, utilizados previamente para “testes de mesa” do modelo.

5. Conclusão

Conclui-se, assim, que foi apresentado um modelo linear de formulação matemática para aplicar o método de entrega e coleta simultânea nas operações de helicópteros, em apoio a calamidades. Apesar da importância do tempo no cálculo da rota de cada aeronave, foi indicado o interesse em realizar comparações com soluções obtidas a partir de métodos exatos.

De forma semelhante, considera-se a validade de desenvolver, também, a implementação das características do problema suprimidas nesta abordagem inicial, especialmente o tratamento da latência mínima das solicitações de socorro.

No entanto, o fato dessas características terem sido descritas e organizadas, confere ao problema uma estruturação que pode facilitar o interesse de demais centros acadêmicos pelo estudo e implementação de diferentes abordagens. Essa possibilidade permite despertar a atenção das organizações governamentais, para que valorizem a manutenção e divulgação dos dados mais precisos.

6. Agradecimentos

Registramos o agradecimento ao Tenente Coronel PM/SC Milton Kern Pinto, comandante das operações aéreas da Defesa Civil/SC durante a tragédia do Vale do Itajaí (Pinto, 2009), pela oportunidade de entrevista e indicação de fontes de dados.

7. Referências

- Dethloff, J.**, (2001) Vehicle Routing and Reverse Logistics: The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Delivery and Pickup. *OR Spektrum*, vol 23 p. 79-96.
- Marques, H. C.**, Trabalho de Grupo, Cenário de Aplicação, *notas de aula – curso “CE-262 Ontologias e Web Semântica”*, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2010.
- Nowak, M., Ergun, O., White, C. C. III** (2009) An empirical study on the benefit of split loads with pickup and delivery problem, *European Journal of Operational Research*, 198, 734–740, 2009.

- Nunes, L.,** (2008) Operação da FAB em Santa Catarina já cumpriu 459 missões com 375 horas de voo, Agência Brasil e Folha Online, 2008 Disponível em: < <http://noticias.uol.com.br/ultnot/agencia/2008/12/01/ult4469u33996.jhtml>>. Acesso em: 10/05/2010.
- Parragh, S.N., Doerner K.F., Hartl R.F.,** (2008) A survey on pickup and delivery problems Part I: Transportation between customers and depot. *Journal für Betriebswirtschaft*, v.58, nº 1, p.21-51.
- Pinto, M. K.,** (2009) Estudo de Caso: Atendimento e Integração da Aviação de Segurança Pública em Situações de Crise, Disponível em: http://www.defesanet.com.br/docs1/calamidades_08_sc.pdf. Acesso em: 25/04/2010.
- PMMG,** (2008) Missão Santa Catarina: catástrofe provocada pela chuva no Vale do Itajaí em novembro de 2008. *Relatório do apoio da PMMG através do Batalhão de Radiopatrulhamento Aéreo*, Polícia Militar de Minas Gerais, 2008. Disponível em: <https://www.pmmg.mg.gov.br/portal_pm/popUpload.action?act=getLoadImagem&contentTypeImagem=application/pdf&localImagem=/srv/uploadFCK/crs/File/PILOTO_2009/Doutrina%20de%20emprego/Santa%20Catarina.pdf&fileName=Santa%20Catarina.pdf>. Acesso em: 26/04/2010.
- Rigo, C., Rosa, R. A.,** (2009) Aplicação do Método de Coleta e Entrega Simultânea à Logística Reversa de Mercadorias. In: *XLI SBPO - Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional*, Porto Seguro, 2009.
- Sarubbi, J. F. M., Luna, H. P. L., Miranda Jr, G., Camargo, R. S.,** (2007) Computing Sharp Lower and Upper Bounds for the Minimum Latency Problem, *HIS-07- 7th International Conference on Hybrid Intelligent Systems*. Kaiserslautern-Alemanha. 2007.