

Otimização do Carregamento de Veículos no Sistema de Distribuição de Materiais da Força Aérea Brasileira

Optimization of Vehicle Loading in the Material Distribution System of the Brazilian Air Force

Optimación del Cargamento de Vehículos en el Sistema de Distribución de Materiales de la Fuerza Aérea Brasileña

Major Especialista em Fotografia Antônio Célio Pereira de Mesquita^{1,2}

1 Chefe da Subdivisão de Ensino Presencial do Instituto de Logística da Aeronáutica (ILA)

2 Programa de Mestrado em Engenharia de Sistemas Logísticos pela Universidade de São Paulo (USP)



Recebido: 09/06/2009

Revisado: 12/09/2009

Aceito: 18/09/2009

*Autor: Major Especialista em Fotografia Antônio Célio Pereira de Mesquita é mestre em Engenharia de Sistemas Logísticos pela Universidade de São Paulo (USP).
Contatos: Tel.: (11) 2465-2108. E-mail: celiomesquita@ila.intraer e celiomesquita@usp.br.

RESUMO

No planejamento do carregamento de veículos no sistema de distribuição de materiais da Força Aérea Brasileira (FAB), pode-se decidir designar veículos a rotas predefinidas e alocar cargas a esses veículos, levando-se em consideração os parâmetros e as restrições das cargas e dos veículos, com o propósito de se obter o máximo benefício para o transporte. Nesse contexto, a presente pesquisa tratou do desenvolvimento de um método de solução destinado a otimizar as operações de transporte e distribuição dos materiais de interesse da FAB realizado a partir de um centro de distribuição, tendo realizado a modelagem matemática e desenvolvido uma solução por Programação Linear capaz de proporcionar o planejamento ótimo da alocação carga-veículo-rota que maximiza o benefício total do que for transportado.

Palavras-chave: Transporte. Programação linear. Modelagem matemática. Carregamento de veículos.

ABSTRACT

In the planning of the vehicle loading in the material distribution system of the Brazilian Air Force, one may decide for designating vehicles to predefined routes and allocate cargoes to these vehicles, considering the parameters and restrictions of the cargoes and the vehicles, aiming at obtaining the maximum benefit to the transportation. In this context, this research has the objective to develop a method of solution, especially designed to optimize the transport and distribution operations of the materials in the interest of the Brazilian Air Force made from a distribution center; having developed a mathematical formulation and implemented a Linear Programming solution capable of offering an optimal planning of the allocations cargo-vehicle-route that maximizes the total benefit for the cargo.

Keywords: *Transportation. Linear programming. Mathematical modeling. Vehicle loading.*

RESUMEN

En la planificación de la carga de vehículos en el sistema de distribución de materiales de la Fuerza Aérea Brasileña (FAB), se puede decidir por designar vehículos a rutas predefinidas y alocar cargas a estos vehículos, levándose en consideración los parámetros y las restricciones de las cargas y de los vehículos, con el propósito de obtenerse el máximo beneficio para el transporte. En este contexto, la presente investigación se trató de un método de soluciones destinado a optimizar las operaciones de transporte y distribución de los materiales de interés de la FAB realizado a partir de un centro de distribución, teniendo realizado el molde matemático y desarrollado una solución por Programación Linear capaz de proporcionar la planificación óptima de ubicación carga-vehículo-rota que maximiza el beneficio total de lo que va a ser transportado.

Palabras - clave: *Transporte. Programación linear. Moldeo matemático. Cargamento de vehículos.*

INTRODUÇÃO

Nas operações de transporte tipicamente militares, equipagens (tropas e equipamentos) poderão ser transportadas por aeronaves a partir de um conjunto de origens para um conjunto de destinos. Cada equipagem pressupõe um ponto de embarque, um ponto de desembarque e uma janela de tempo. Dado um conjunto de aeronaves com capacidades limitadas, o objetivo é mover cada equipagem na janela de tempo especificada, utilizando-se a frota da forma mais eficiente possível em termos de custos e de atendimento das prioridades de transporte.

A Força Aérea Brasileira (FAB) possui uma frota composta por aeronaves de transporte e caminhões de diferentes tipos destinados a realizar a movimentação de cargas entre os centros de distribuição do sistema de distribuição de materiais da FAB e diversas outras organizações clientes do transporte de carga. Essas cargas são compostas de materiais e equipamentos utilizados na manutenção das frotas de aeronaves e em outras atividades de apoio as suas operações.

Analisando-se o funcionamento do sistema de distribuição de materiais da FAB, foi observado que há infraestrutura de carregamento adequada, porém, a falta de um Sistema de Apoio à Decisão (SAD) pode ocasionar planejamentos ineficientes do transporte de carga.

Quanto à falta de um SAD, convém observar que, mesmo que se disponha dos dados das demandas de transporte em um sistema de informações, isto não é suficiente para a realização do planejamento ótimo do carregamento dos veículos, considerando a diversidade dos veículos e das cargas. A finalidade de um SAD, especializado no planejamento dos transportes, é de proporcionar ao decisor soluções de planejamento de transporte para que este, em função do cenário, possa escolher o planejamento adequado dentre as possíveis soluções geradas pelo SAD.

Para que a definição do problema seja corretamente compreendida, convém definir os termos “rota” e “benefício”. Rota, neste trabalho, significa um corredor de suprimento estabelecido entre vários destinos. O termo “benefício”, neste trabalho, é um fator numérico que representa a ocupação eficiente do compartimento de carga, o transporte realizado no menor tempo possível, itens prioritários selecionados primeiro e o menor custo por quilômetro do veículo escolhido, haja vista que o cliente do sistema de distribuição de materiais da FAB deseja receber o material certo, no local certo, no prazo certo e na qualidade certa e o Comando

Logístico deseja, além de atender às necessidades do cliente, que o material seja entregue segundo a prioridade estabelecida e ao menor custo possível.

Devido à complexidade do problema de distribuição da FAB (múltiplos centros de distribuição, frota heterogênea, cargas de diferentes características, entregas e coletas realizadas simultaneamente, a existência de janela de tempo para realização dessas entregas e coletas, no caso de operações combinadas com outras forças armadas e etc.), decidiu-se abordar, neste trabalho, uma situação bastante singular na distribuição de materiais da FAB, o planejamento do carregamento dos veículos a partir de um centro de distribuição.

1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

Em dado momento, em um determinado centro de distribuição, pode haver cargas a serem transportadas, cujos atributos como peso, dimensões, prioridade de envio, distância do destino e rota são conhecidos, assim como as aeronaves ou caminhões disponíveis, com capacidades de transporte conhecidas. O problema consiste em designar veículos a rotas e alocar cargas a esses veículos considerando-se os parâmetros e as restrições das cargas (destino, prioridade, tipo, peso e dimensões) e dos veículos (dimensões úteis do compartimento de carga, capacidade máxima de peso, custo da hora de voo ou de viagem terrestre e a velocidade média), maximizando o benefício do transporte.

Neste problema, a frota é limitada, e cargas poderão deixar de ser transportadas, em decorrência da insuficiência de capacidade de transporte (lotação por volume ou por peso). Conseqüentemente, são definidas prioridades para as cargas a serem transportadas, conforme ilustrado na Tabela 1. A classificação de prioridades define o grau do impacto negativo caso a carga não seja transportada.

Na tabela 2 são apresentados dados reais de alguns veículos da frota de transporte da FAB.

A tabela 3 apresenta dados de algumas cargas gerados aleatoriamente, mas segundo faixas de valores comumente encontrados nos terminais de carga. A coluna “P” apresenta as prioridades de transporte. A coluna “D” apresenta a quantidade de dias obtida pela diferença entre o prazo de entrega e a data do planejamento do transporte.

De acordo com Bowersox e Closs (2001), os veículos, geralmente, são mais limitados por espaço do que por peso. Isto é, lotam primeiramente por espaço, ficando impedidos de transportar qualquer outro item,

Tabela 1: Classificação das prioridades de transporte.

Prioridade	O transporte soluciona a situação de:
1	Segurança nacional, calamidade pública e salvamento de vida humana.
2	Material para socorro de aeronave da FAB.
3	Material crítico do Serviço de Proteção ao Voo.
4	Material de aviação e/ou suas Ordens Técnicas.
5	Material bélico e material em garantia e/ou suas Ordens Técnicas.
6	Combustível e víveres, suprimento de viatura, malotes de correspondência e outros.
7	Material e/ou medicamentos das Forças Armadas em geral e/ou Serviço Público.
8	Mala diplomática.
9	Bagagem de militar.
10	Cargas não previstas nos subitens anteriores.

Fonte: Brasil, (2003).

Tabela 2: Parâmetros das aeronaves e dos veículos disponíveis.

Veículos	Largura (m)	Comp. (m)	Altura (m)	Cap. (t)	Custo da Hora de viagem* (R\$/h)	Velocidade média (Km/h)	Custo médio (R\$/Km)
Aeronave KC-137 (Boeing 707)	3,18	25,74	1,80	15	15.338,34	850	18,05
Aeronave C-130 (Hércules)	2,48	12,04	2,16	30	7.442,06	550	13,53
Aeronave KC-105 (Amazonas)	2,10	8,50	1,70	9,25	3.955,62	481	8,22
Aeronave C-99 (EMB 145)	1,50	6,50	1,60	8	3.401,72	850	4,00
Aeronave C-95 (Bandeirante)	1,10	6,35	1,40	1,5	1.295,66	380	3,41
Semi-reboque	2,60	15,20	2,60	35	36,47	35	1,47
Caminhão	2,60	12,00	2,60	35	47,25	35	1,35
Caminhão	2,60	8,00	2,60	16	30,15	45	0,67
Caminhão	2,60	6,00	2,60	6	21,00	60	0,35

*Custo médio de voo ou de viagem calculado em função do consumo de combustíveis, lubrificante, materiais de consumo e valores de homem-hora utilizados nas manutenções nos últimos doze meses.

Tabela 3: Exemplos de cargas com seus parâmetros e restrições.

Cargas	Peso (kg)	Larg (m)	Comp (m)	Alt (m)	P -	D -	Rota -	Dist (Km)
1	227	2,24	3,18	1,15	4	9	1	400
2	303	1,00	1,20	0,70	1	1	3	1950
3	998	1,20	1,20	1,20	3	6	2	1500
...

Tabela 4: Exemplos de veículos com seus parâmetros e restrições.

Parâmetros dos veículos	C-130	Caminhão	C-95	...
Disponibilidade de peso (Kg)	20.000	35.000	12.000	...
Largura do compartimento de carga (m)	2,48	2,60	1,10	...
Comprimento do compartimento de carga (m)	12,04	12,0	6,50	...
Altura do compartimento de carga (m)	2,16	2,60	1,40	...
Custo por quilômetro (R\$/Km)	12,40	1,35	3,41	...
Velocidade (Km/h)	600	35	380	...
Dias adiante	1	3	2	...

por mais leve que seja. Esses autores afirmam ainda que o custo do transporte aumenta exponencialmente à medida que a densidade (kg/m³) da carga diminui.

Observa-se, na Tabela 4, o parâmetro “Dias adiante” que contém, para cada veículo, a quantidade de dias obtida pela diferença entre a previsão de estada do veículo no terminal e a data do planejamento do transporte. (Ex.: 1 – amanhã, 2 – depois de amanhã e etc.)

Assim, considerando o custo da viagem, na FAB, pouco dependente da quantidade de carga transportada, haja vista que o benefício global da missão também é incrementado com o treinamento das tripulações, cada trecho do transporte apresenta um custo mais dependente do trajeto, do tipo de veículo e pouco dependente da quantidade de cargas transportadas. Quanto mais cargas de maior peso específico forem embarcadas, mais o custo do transporte é diluído. Ou seja, menor custo por unidade de massa será obtido. Assim, a minimização dos custos se dará por meio da maximização das densidades das cargas transportadas, tendendo a proporcionar a diminuição na quantidade de missões de transporte e na quantidade de transportes realizados por terceiros.

O planejamento do carregamento de veículos (aeronaves e caminhões) nos terminais de carga possui as características de um problema conhecido na literatura como um Problema de Múltiplas Mochilas Multidimensionais -

Multi-Dimensional Multiple Knapsack Problem (MDMKP), haja vista que pode haver veículos de dimensões diversas disponíveis no terminal para realizar o carregamento.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Dantzig (1957), possivelmente, foi o primeiro a reportar, na literatura, o Problema da Mochila, seguido de Balas (1965). Em resumo, o Problema da Mochila consiste na escolha de um subconjunto de itens, cada qual com uma correspondente utilidade e um valor, em geral denominado “peso”, que define o quanto esse item utilizará da capacidade da “mochila”. Metaforicamente pode-se entendê-lo como o desafio de encher uma mochila sem ultrapassar um determinado limite de peso, maximizando a utilidade do que for carregado.

Pode-se aplicar o problema da mochila no problema de transporte aéreo considerando que os compartimentos de carga das aeronaves precisarão ser preenchidos com raciocínio similar ao do problema da mochila. Como, no caso da FAB, pode haver veículos com dimensões diferentes nos terminais, surge a necessidade de se tratar este subproblema do problema geral de distribuição como um MDMKP.

Problema semelhante foi estudado por Romaine (1999), no *Air Force Institute of Technology – USAF/AFIT*, tendo sido identificado como *Multi-dimensional Multiple Knapsack Problem (MDMKP)*. Romaine modelou o *Air Lift Problem (ALP)* do Comando Aéreo de Transportes dos Estados Unidos da América como um MDMKP com restrições. Especificamente, o problema da carga dessas aeronaves envolvia uma frota heterogênea de 118 aeronaves de diversos tipos, cada uma com diferentes capacidades em peso e área disponíveis para o transporte de itens. Por exemplo, uma ordem de transporte poderia acionar um esquadrão equipado com aeronaves C-17 (primeiro tipo de mochila) e C-5 (segundo tipo de mochila) com o objetivo de executar uma missão de transporte aéreo e de evacuar grandes cargas. O objetivo de Romaine era maximizar a carga transportada.

Guéret et al. (2002), sob contratação da agência militar francesa *Délégation Générale pour l'Armement (DGA)*, estudaram um problema semelhante aplicado ao carregamento de aeronaves militares para transporte de tropas e equipamentos. Eles apresentaram dois métodos, utilizados em seqüência, para resolver o problema real do DGA. Uma heurística inicial para seleção dos itens por determinados critérios, alocação desses à aeronave, seguido por um método de geração de colunas para resolver um problema similar de carregamento de aeronaves.

3 FORMULAÇÃO MATEMÁTICA

No centro de distribuição, o índice i indica cada uma das cargas disponíveis para ser transportadas a uma distância d_i na rota R_i , que deverá ser transportada pelo veículo j , segundo a ordem de prioridade P_i .

Cada carga i possui um peso W_i , uma dimensão lateral A_i , uma dimensão longitudinal B_i , uma dimensão vertical C_i , que são utilizados para se calcular a densidade D_i , conforme a expressão (1).

$$D_i = \frac{W_i}{A_i B_i C_i} \quad (1)$$

Cada veículo j disponível para realizar o transporte da carga i possui restrição de peso representada por VW_j , uma dimensão lateral VA_j , uma dimensão longitudinal VB_j , uma dimensão vertical VC_j , velocidade V_j , a quantidade de dias adiante VD_j para início do carregamento e custo variável do quilômetro CV_j .

O tempo de entrega da carga i pelo veículo j será calculado por meio da expressão (2), sendo T_{ij} expresso em horas.

$$T_{ij} = 24 \times VD_j + \frac{d_i}{V_j} \quad (2)$$

Em situações especiais de urgência, pode ser necessário atribuir maior importância ao tempo de entrega T_{ij} em detrimento dos outros fatores da expressão (3). Assim foi colocado o expoente γ em T_{ij} que, por padrão, é igual à unidade, mas que pode ser alterado pelo decisor com a finalidade de valorar o tempo de entrega.

O benefício do transporte da carga i pelo veículo j é dado pela expressão (3):

$$B_{ij} = \frac{D_i}{P_i^\gamma \times CV_j \times T_{ij}^\gamma} \quad (3)$$

São definidas as seguintes variáveis de decisão do problema:

$Y_{jk} = 1$, se o veículo j for alocado à rota k , caso contrário $Y_{jk} = 0$.

$X_{ij} = 1$, se a carga i for alocada ao veículo j , caso contrário $X_{ij} = 0$.

São definidas as seguintes constantes do problema:

$a_{ik} = 1$, se a carga i for destinada à rota k , caso contrário $a_{ik} = 0$.

$b_{ij} = 1$, se a carga i puder ser transportada pelo veículo j , caso contrário $b_{ij} = 0$.

Apresenta-se a seguir modelo de Programação Linear do problema.

$$\text{Max} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n B_{ij} X_{ij} \quad (4)$$

Sujeito a :

$$\sum_{j=1}^n W_j X_{ij} \leq VW_j \quad \text{para } i = \{1, 2, \dots, m\} \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^m (A_i \times B_i \times C_i) X_{ij} \leq VA_j \times VB_j \times VC_j \quad (6)$$

para $j = \{1, 2, 3, \dots, n\}$

$$\sum_{j=1}^n X_{ij} \leq 1 \quad \text{para } i = \{1, 2, 3, \dots, m\} \quad (7)$$

$$\sum_{k=1}^p Y_{jk} \leq 1 \quad \text{para } j = \{1, 2, 3, \dots, n\} \quad (8)$$

$$X_{ij} \leq Y_{jk} \quad (9)$$

$$X_{ij} \leq \alpha_{ik} \times Y_{jk} \quad (10)$$

$$X_{ij} \leq \beta_{ij} \quad (11)$$

A função objetivo (4) busca maximizar o benefício a ser auferido com o transporte. Esse benefício é diretamente proporcional ao peso específico do item e indiretamente proporcional à duração da viagem, ao quadrado da prioridade e ao custo unitário do quilômetro a ser percorrido pelo veículo. Observa-se no denominador a prioridade elevada ao quadrado. Isto se deve à necessidade de se conferir maior peso à prioridade, em detrimento dos outros fatores tais como densidade e peso do item. Vislumbra-se que essas prioridades sejam estipuladas pelo Comando Logístico, em conformidade com seus objetivos operacionais.

As restrições (5) estabelecem que as cargas não excedam a disponibilidade de peso do veículo. Já as restrições (6) estabelecem que o volume das cargas alocadas não exceda os volumes dos compartimentos de carga dos veículos. Isto não garante que todas as cargas alocadas caibam nos compartimentos de carga dos veículos. Cargas com formato anormal (pás de helicópteros, longarinas de aeronaves, etc.), poderão deixar de ser embarcadas, ficando para uma missão posterior. As restrições (7) estabelecem que cada item somente possa ser alocado a um e somente um veículo ou poderá não ser alocado, enquanto que as restrições (8) estabelecem que cada veículo somente possa ser designado para uma rota, podendo passar por diferentes destinos. Eventualmente, poderá haver rota não atendida como resultado do processo de otimização. As restrições

(9) estabelecem que o item i somente seja alocado ao veículo j se o veículo j for alocado à rota k . As restrições (10) estabelecem que uma carga i somente será alocada à rota k que contém o seu destino. As restrições (11) garantem que a carga seja alocada a um veículo que possa transportá-la (Ex. a princípio, acetileno não pode ser transportado em aeronaves).

4 ESTRATÉGIA DE SOLUÇÃO

Observando-se no exemplo da Tabela 3 (com exemplos de cargas com seus parâmetros e restrições) e da Tabela 4 (com exemplos de veículos com seus parâmetros e restrições) verifica-se que há três rotas e três veículos. Havendo a mesma quantidade de veículos e de rotas, a melhor alocação de veículos a rotas poderá ser encontrada mediante testes com todas as possibilidades de alocação veículos-rotas, inclusive com a possibilidade de alocação de mais de um veículo a uma rota e de que uma ou mais rotas possam não ser atendidas.

Havendo mais veículos do que rotas, surge a necessidade de que mais de um veículo possa ser designado para a mesma rota. Assim, para se descobrir quais rotas receberão mais de um veículo, testa-se todas as formas possíveis de alocação veículos-rotas, considerando-se as possibilidades de alocação de mais de um veículo à mesma rota.

Havendo menos veículos do que rotas, rotas deixarão de ser atendidas. Assim, para se descobrir quais as rotas que serão atendidas, criam-se veículos fictícios, com capacidades nulas, de forma a igualar a quantidade de veículos à quantidade de rotas. Assim, o método de enumeração exaustiva das possibilidades de alocação veículos-rotas será utilizado e, como resultado da otimização, algumas rotas não serão atendidas.

Todas essas possibilidades deverão ser testadas com o objetivo de encontrar o conjunto de soluções que melhor atenda à função objetivo. Cada teste realizado resolverá um problema de alocação de cargas a veículos por meio de Programação Linear, respeitando as restrições dos veículos. Um típico problema de múltiplas mochilas com restrições.

5 EXPERIMENTOS COMPUTACIONAIS

Inicialmente foi gerada uma matriz de todas as possibilidades de alocação veículos-rotas (Tabela 5), sendo essa matriz percorrida seqüencialmente e submetendo cada possibilidade combinatória de veículos à solução por Programação Linear realizada com o *Excel Solver*; com o objetivo de encontrar a melhor alocação carga-veículo para cada possibilidade de alocação veículo-rota.

Ao final dessa seqüência de buscas, os resultados são apresentados de forma ordenada pelos valores de

Tabela 5: Matriz de possibilidades de alocação de quatro veículos a quatro rotas.

ROTAS				
Veículo	Veículo	Veículo	Veículo	Benefício
1	2	3	4	
4	1	3	2	79052,83
2	1	3	4	78850,69
4	1	2	3	78802,08
3	1	3	2	78783,01
...

Fonte: Dados obtidos nos experimentos computacionais.

Benefício, possibilitando ao decisor a escolha da alocação veículo-rota mais conveniente para atender às necessidades das circunstâncias atuais no momento do processamento da solução. A tabela 6 apresenta os tempos computacionais alcançados nas soluções de diferentes cenários, utilizando um *notebook* com processador *Intel Centrino* de 1,6 Ghz e com 1,5 GB de memória *RAM*.

Tabela 6: Resultados dos experimentos com diversas cargas, diversos veículos e diversas rotas.

Cenário	20 cargas, 3 veículos e uma rota.	20 cargas, 3 veículos e 2 rotas	20 cargas, 3 veículos e 3 rotas.	20 cargas, 4 veículos e 3 rotas	20 cargas, 4 veículos e 4 rotas.	40 cargas, 4 veículos e 4 rotas
Duração total (s)	1,0	2,0	3,0	12,0	33,0	279,0

Fonte: Dados obtidos nos experimentos computacionais.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um método destinado a otimizar as operações de planejamento das operações de carga em um centro de distribuição do sistema de distribuição de materiais da FAB, especificamente quanto ao processo de alocação de veículos às rotas predefinidas e de cargas aos veículos, com o objetivo de otimizar a geração das missões de transporte por meio da maximização do benefício global auferido com essas missões e visando oferecer ao decisor um conjunto de soluções ótimas para o problema da programação de missões de transporte de carga na FAB.

O termo “benefício” referido acima foi definido como um fator numérico que representasse a ocupação eficiente do compartimento de carga (com o objetivo de diminuir custos), o transporte realizado no menor tempo possível, itens prioritários selecionados primeiro e o menor custo por quilômetro do veículo escolhido.

Ficando então o benefício do transporte como sendo a razão do peso específico do item pelo tempo de entrega, dividido pelo quadrado da prioridade e pelo custo unitário por quilômetro para o veículo escolhido.

O objetivo proposto foi atingido, tendo o método desenvolvido apresentado resultados que proporcionam ao decisor a flexibilidade da escolha da alocação veículo-rota mais conveniente, caso haja informações extras não processadas pelo algoritmo de solução.

Estudos e ensaios posteriores podem ser realizados com o objetivo de otimizar as rotas utilizadas pela aviação de transporte e pelo Depósito de Aeronáutica do Rio de Janeiro, pois, como este trabalho considerou rotas de suprimento pré-definidas, pode ser necessário resolver um problema de roteirização de veículos com o objetivo de se otimizar também a rede de transportes como requisito à aplicação deste método.

AGRADECIMENTO

Agradeço ao Carlos Henrique dos Santos, 1º Ten. Esp. Arm., pela gentil contribuição na revisão do texto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALAS, E. **An additive algorithm for solving linear programs with 0–1 variables**. [S.l.]: Oper. Res., 1965.
- BOWERSOX, D. J.; CLOSS, D. J. **Logística empresarial**. São Paulo: Atlas, 2001.
- BRASIL. Comando da Aeronáutica. **NSCA 4-2: transporte de carga no Sistema do Correio Aéreo Nacional**: Brasília, DF, 2003.
- DANTZIG, G. B. Discrete Variable Extremum Problems. In: **Operations Research**. [S.l.: s.n.], 1957.
- GUÉRET, C. et al. Loading aircraft for military operations. **Journal of the operational Research Society**, v. 54, p. 458-465, 2003.
- ROMAINE, J. **Solving the Multidimensional Multiple Knapsack Problem with packing constraints using Tabu Search**. Master thesis, Air Force Institute of Technology, Wright Patterson AFB, Ohio. 1999.