

Consolidação de instalações de manutenção aeronáutica pela utilização do Método do Centro de Gravidade

D. A. Pamplona¹; J.L.C. Fortes²; C. J. P. Alves³;

¹Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-900, São José dos Campos-SÃO PAULO, Brasil

pamplonadefesa@gmail.com;

²Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-900, São José dos Campos-SÃO PAULO, Brasil

jlfortes@gmail.com;

³Engenharia de Infraestrutura Aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 12228-900, São José dos Campos-SÃO PAULO, Brasil

claudioj@ita.br;

(Recebido em 22 de fevereiro de 2014; aceito em 26 de agosto de 2014)

O problema da melhor localização das instalações de uma empresa é um assunto estratégico e de vital importância para as companhias modernas. O correto delineamento de uma estrutura de distribuição é visto como questão de sobrevivência. Atualmente, muitas empresas têm optado pela diminuição de sua estrutura com a consolidação de suas instalações. O objetivo desse artigo é demonstrar a viabilidade da utilização do Método do Centro de Gravidade para a consolidação de instalações de manutenção aeronáutica. Aplicando o método e adequando-o as características de uma organização que tem na aviação a sua ferramenta, o mesmo mostrou-se adequado com a diminuição de custos para a organização.

Palavras-chave: Manutenção; Método do Centro de Gravidade; Logística.

Consolidation of aircraft maintenance facilities by using the method of Center of Gravity.

The problem of best location for a business site is a strategic and vital issue for modern companies. The correct design of a distribution structure is a matter of survival. Currently, many companies have opted for lowering its structure with the consolidation of its facilities. The purpose of this article is to demonstrate the feasibility of using the method of Center of Gravity for the consolidation of facilities involved in air maintenance. Using the method and adapting it to the characteristics of an organization that has aviation as a tool, the use of the method was applicable with benefits to the company such as reducing costs for the organization.

Keywords: Maintenance; Center of Gravity Method; Logistic.

1. INTRODUÇÃO

O delineamento de um eficiente sistema logístico é questão de sobrevivência para uma organização. O correto entendimento do sistema de distribuição e manutenção de uma frota permite um apoio diferenciado nos serviços prestados por uma empresa. Saber onde melhor localizar uma instalação não se torna apenas uma questão econômica, mas também uma questão estratégica e de sobrevivência da própria empresa.

A problemática da localização de instalações faz parte do cotidiano dos profissionais de Pesquisa Operacional e da Logística e referem-se à modelagem, formulação e solução de uma classe de problemas ligados a localização espacial, tendo como principal característica a minimização dos custos mantendo, porém, as demandas dos consumidores. Trata-se de um problema não apenas estudado nas empresas, mas também nas organizações públicas. Em sua essência, consiste num problema estratégico de longo prazo, devido ao montante de dinheiro gasto e pelo seu poder de influenciar todas as demais decisões da cadeia de suprimento de uma empresa [1].

Muitas das vezes, os administradores ao escolherem o posicionamento de seus empreendimentos, fazem uso de métodos qualitativos. O problema da utilização de tais

métodos, é que na sua grande maioria, o julgamento é baseado em opiniões e aspectos subjetivos, o que pode acarretar na não escolha da melhor alternativa e trazer como consequências, enormes prejuízos pela má aquisição. A escolha torna-se uma tarefa difícil e que demanda dos planejadores enorme conhecimento das forças que influenciam no negócio. Por isso a importância da utilização de métodos quantitativos baseados em funções objetivas que buscam a otimização dos custos. Um dos métodos quantitativos disponíveis é o Método do Centro de Gravidade [2].

O objetivo do artigo é mostrar que apesar de não ser um método novo e ter sido utilizado para diversos tipos de problemas de localização de instalações, o método em questão ainda é útil e eficaz quando na aplicação para a consolidação de instalações de manutenção aérea, evidenciando uma nova aplicação do método e a sua capacidade em servir de ferramenta de auxílio ao tomador de decisão.

Para provar a sua eficácia, foi realizado um estudo de caso tendo como base a Força Aérea Brasileira (FAB) e seus Parques de Manutenção Aeronáutica (PAMA). Utilizou-se como parâmetros da função custo, as horas de voo de cada esquadrão da FAB, divididos por modelo e função específica; o custo da hora de voo (sendo nesse caso utilizado um custo aproximado e baseado em dados disponíveis na internet) e a distância de cada esquadrão ao respectivo PAMA. A escolha foi motivada pela FAB ser uma organização com um inventário de mais de 400 aeronaves, considerada a maior operadora de aeronaves do país e possuir vários centros destinados à manutenção de seus aviões espalhados pelo Brasil.

Esse artigo está estruturado em quatro seções, além desta introdutória. A segunda seção apresenta os materiais e métodos utilizados, descrevendo a FAB e sua estrutura de manutenção, o Método do Centro de Gravidade e a aplicação do método para a consolidação de uma instalação de uma manutenção aérea. A terceira seção apresenta os resultados, com a definição da localização geográfica e discussão da melhor localidade para a consolidação das instalações de manutenção e por fim, a seção quatro apresentará as conclusões.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 A empresa estudada

A empresa escolhida para a utilização do Método do Centro de Gravidade e consolidação das unidades de manutenção foi a Força Aérea Brasileira (FAB). A FAB é um órgão ligado ao Ministério da Defesa que tem como função ser o braço armado da defesa aérea do Brasil. Para cumprir esta missão constitucional, a FAB foi dividida organizacionalmente em Comandos e Departamentos. O Comando Geral de Operações Aéreas é o órgão responsável pela administração dos meios aéreos e possui Unidades Aéreas (UA) em todas as regiões do Brasil.

A manutenção das aeronaves é dividida em: manutenção nível base e manutenção nível parque. Os serviços de manutenção nível parque são tarefas mais complexas e que demandam mais tempo, sendo realizadas nos Parques de Manutenção (PAMA). Além de servirem como pontos de apoio para serviços de manutenção mais complexos, os PAMA ainda são os pontos de estoque das aeronaves apoiadas, funcionando em coordenação com os estoques avançados localizados nas Unidades Aéreas. Atualmente, existem quatro Parques de Manutenção: PAMA – SP (São Paulo), PAMA-LS (Lagoa Santa – MG), PAMA-GL (Rio de Janeiro) e PAMA-AF (Rio de Janeiro).

Os dados utilizados neste artigo foram obtidos da internet, sendo, portanto, de domínio público.

2.2 O problema do Centro de Gravidade

Em termos amplos, o problema de localização de instalações envolve um conjunto de clientes espacialmente distribuídos e um conjunto de instalações alocados para atender as demandas dos consumidores. As distâncias, tempos e custos envolvidos entre clientes e as instalações são medidos por uma determinada métrica [3].

Desde então, os pesquisadores criaram algoritmos e formulações para diversos tipos de problemas envolvendo os setores privados (lojas, bancos, indústrias) e os setores públicos (hospitais, agências de correio, postos de polícia) [4].

Segundo [5], os problemas de análise de localização de instalações são classificados nas seguintes classes:

- a) Problema da p-mediana;
- b) Problema do p-centro;
- c) Problema da localização de instalações sem limite de capacidade;
- d) Problema de localização de instalações com limite de capacidade; e
- e) Problema de atribuição quadrática.

O problema da p-mediana busca encontrar a solução para “p” instalações que minimizem o critério de custo. A função custo pode ser determinada em termos de tempo, dinheiro, número de viagens, distância total ou qualquer outra medida necessária. Podem também ser atribuídos pesos aos pontos de demanda, significando que cada ponto de demanda não contribui de maneira igual para a função objetivo, nesse caso o problema recebe o nome de Problema da p-mediana ponderada. O problema do p-centro objetiva a alocação de “p” localidades para minimizarem a distância máxima de qualquer instalação até o ponto de demanda. Este método é geralmente utilizado na alocação de serviços de emergência, como por exemplo, bombeiros, resgate e polícia [5,6,7].

O problema da localização de instalações sem limite de capacidade tem como objetivo a minimização da distância entre pontos, porém a função custo possui um custo fixo, dependendo da localização da instalação. Devido a capacidade de cada instalação ser indeterminado, não se torna confiável utilizar esse método para mais de um ponto. O problema da localização com limite é similar ao método anterior, com a diferença que cada instalação possui um limite de capacidade. A solução ótima pode requerer que um cliente seja abastecido por mais de uma localidade. O problema de atribuição quadrática busca encontrar a solução onde “n” meios devem ser disponibilizados em “n” lugares simultaneamente para minimizar o custo total, sendo medido em tempo vezes a distância [5]

ReVelle, Eiselt e Daskin [3] demonstram as várias aplicações dos métodos de localização e salientam que o método do centro de gravidade é ainda utilizado por pesquisadores, com uma extensa lista de problemas e como foram resolvidos pelo método do centro de gravidade e suas ramificações.

O problema da alocação também está presente nas organizações públicas quando se pensa em qual localidade seria o melhor lugar para a concentração das instalações, principalmente em uma época marcada pelos constantes cortes orçamentários, mas que continua exigindo que os serviços sejam prestados da melhor forma possível. O problema de melhor alocar uma unidade em um vasto território geográfico é um problema que sempre esteve presente nos diversos setores das Forças Armadas. Em termos de localização, uma organização militar é uma organização pública que por motivo de sua função, tem de estar presente em todos os pontos do território nacional.

2.3 Definição matemática do método

Matematicamente, o problema pode ser definido da seguinte forma:

$$\min_{x,y} \{W(x,y) = \sum_i^n w_i d_i(x,y)\} \quad (1)$$

sendo a distância euclidiana, $d_i(x,y) = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2}$

O resultado será o melhor ponto $(x^*;y^*)$ que minimiza a soma ponderada das distâncias Euclidianas do melhor ponto até n pontos fixos com as coordenadas $(a_i;b_i)$. Os pesos (w) com os quais estão associados os pontos fixos recebem a denominação w_i . (4)

2.4 Resolução do problema

Para a resolução correta do problema, alguns passos iniciais foram necessários e serão descritos a seguir:

2.4.1 Coleta de dados

Através da pesquisa de dados foram selecionadas todas as Unidades Aéreas (UA) do Comando Geral de Operações Aéreas e os Parques de Manutenção Aeronáutica (PAMA) que apóiam cada projeto voado pelas UA.

As coordenadas geográficas de latitude e longitude utilizadas foram obtidas do Google Earth.

2.4.2 Metodologia para a solução do problema

Primeiramente, foram colhidos da internet os dados de localização e dotação dos Esquadrões da FAB. As Figuras 1 a 4 mostram as ligações entre os Parques de Manutenção Aérea e Unidades Aéreas.

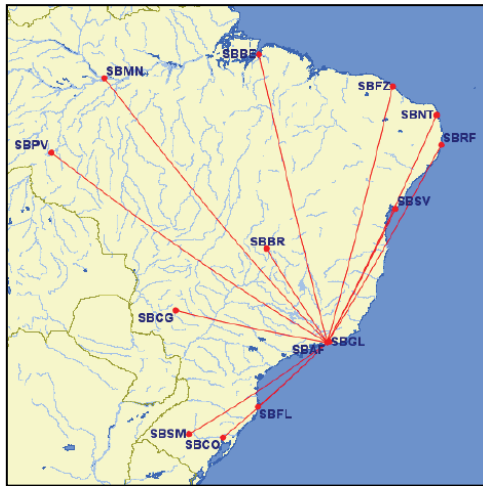


Figura 1: Unidades Aéreas apoiadas PAMA-AF
Fonte: Próprio autor

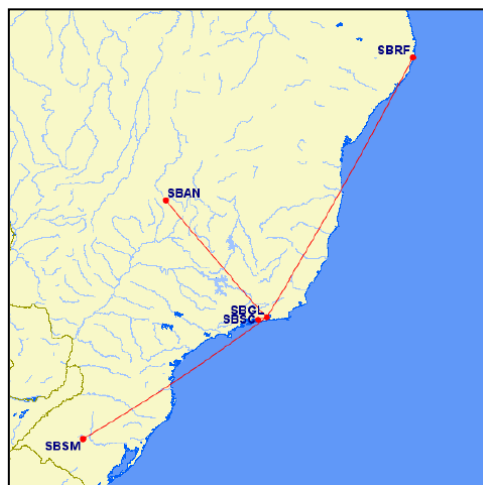


Figura 2: Unidades Aéreas apoiadas PAMA-GL
Fonte: Próprio autor



Figura 3: Unidades Aéreas apoiadas PAMA-LS
Fonte: Próprio autor



Figura 4: Unidades Aéreas apoiadas PAMA-AF.
Fonte: Próprio autor

Depois foram calculadas as distâncias entre os PAMA apoiadores e as UA. Adotou-se como o padrão de deslocamento para os PAMA o modal aéreo, sendo as distâncias calculadas através de uma reta unindo os dois pontos.

Calculou-se a média de horas totais voadas pelo COMGAR tendo como base os anos de 2009, 2010 e 2011, conforme Tabela 1.

Tabela 1: Total de Horas voadas COMGAR.

Ano	Total horas voadas
2009	107.727
2010	116.242
2011	90.889
Total	314.858
Média	104.952,67

Fonte: Relatório Gestão COMGAR (2009,2010,2011)

Os Esquadrões da FAB foram divididos nas seguintes aviações com os seguintes pesos: Caça a Reação (1) ; Caça a Hélice (2); Transporte (3); Patrulha(1); Helicóptero (1) e Reconhecimento (1). O critério de peso baseou-se na atribuição de pesos maiores às aviações com mais frequência anual de voo.

A média ponderada anual de horas totais voadas está mostrada na Tabela 2:

Tabela 2: Total horas voo anual por aviação.

Aviação	Total horas de voo
Transporte	34.985
Helicóptero	11.662
Caça a jato	11.662
Caça a hélice	23.323
Patrulha	11.662
Reconhecimento	11.662

Fonte: Próprio autor

Para saber a quantidade de horas voadas por aeronave, (Tabela 3) em sua respectiva aviação, buscou-se a dotação total de aeronaves da Força (dados internet) e dividiu-se com o total alocado para cada tipo de Aviação.

Tabela 3: Total de horas de voo anual por aviação.

Aviação	Total de Aeronaves	Total horas voo / tipo
Transporte	152	230,16
Helicóptero	46	253,51
Caça a jato	121	96,38
Caça a hélice	99	235,58
Patrulha	18	647,85
Reconhecimento	9	1295,71

Fonte: Próprio autor

Para o cálculo do custo total da hora de voo por aeronave, devido a indisponibilidade pública do custo brasileiro, optou-se por correlacionar os custos das horas de voo da Força Aérea dos Estados Unidos (dado fornecido através de sitio da internet) com aeronaves de desempenho semelhante do inventário da FAB (vide Tabela 4).

Tabela 4: Total de horas de voo anual por aviação

Aeronave FAB	Aeronave USAF	Custo hora de voo
C-95	C-12F/2	5239
A-29	T-6II	2235
UH-50	UH-1H/2	4677.5
P3	C-12F/2	5239
P-95	C-12F/2	5239
CH-34	HH-60G	24475
AH-2	HH-60G	24475
UH-60	HH-60G	24475
UH-1H	UH-1H	23278
C-105	C-27J	19380
F-5	T-38C	9355
F-2000	T-38C	9355
A-29	T-6II	2235
R-35	C-20B	32121
R-99	C-20B	32121
A-1	A-10C	17716
C-130	C-130H	18634
C-99	C-20B	32121
KC-137	KC-135	39587
C-98A	T-6A	2235
C-97	C-12F/2	10477
VU-35	C-20B	32121
R-35	C-20B	32121
R-99	C-20B	32121

Fonte: Revista TIME (2013)

Para o cálculo do w (peso) foi multiplicado o total de horas de voo por Esquadrão / Aviação pelo custo da hora de voo

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As coordenadas do centro de gravidade exato são obtidas pelas fórmulas:

$$\bar{X} = \frac{\sum_i V_i R_i X_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i} \quad (2)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_i V_i R_i Y_i / d_i}{\sum_i V_i R_i / d_i}$$

Em que:

\bar{X} ; \bar{Y} são as coordenadas da instalação localizada.

X_i ; Y_i são as coordenadas dos pontos de fonte e demanda.

$$d_i = k \sqrt{(X_i - \bar{X})^2 + (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Sendo que K representa um fator de escala para converter uma unidade de uma coordenada em uma medida mais comum de distância. Como esse trabalho utiliza coordenadas geográficas, não será necessário fazer uso de um fator de conversão.

Empregando o algoritmo utilizado por Ballou [8] e adequando-se a realidade do problema tem-se os seguintes passos:

1. Determina-se as coordenadas X ; Y para cada ponto de fonte e demanda, juntamente com os volumes e as tarifas lineares de transporte.
2. Aproxima-se a localização inicial das fórmulas para centro de gravidade omitindo os termos de distância d_i .
3. Usando a solução para \bar{X} ; \bar{Y} da etapa 2, calcula-se d_i .
4. d_i é substituído nas equações e resolve-se para as coordenadas revisadas \bar{X} ; \bar{Y} .

Os cálculos foram realizados no Excel. Os seguintes campos foram utilizados: Organização; Aeronave; Horas totais de Voo; Custo da hora de voo, Coordenadas; VR; VRX; VRY.

Os dados obtidos foram:

$$\bar{X} = -15.80993177$$

$$\bar{Y} = -46.272990$$

Após o cálculo da distância (d) em cada ponto, foi realizado o cálculo otimizado das coordenadas;

$$\bar{X} = -15.25805286$$

$$\bar{Y} = -45.27595279$$

5. Utilizando o Google Maps, a localização geográfica está representada pelo ponto A mostrado na Figura 5.



Figura 5: Localização otimizada de um PAMA

O ponto A localiza-se perto das cidades de Brasília e Anápolis, locais onde existem unidades da FAB.

4.1 Discussão do resultado

O artigo demonstrou uma nova utilização para o Método do Centro de Gravidade, com a sua aplicação na escolha de uma única unidade responsável pela manutenção de aeronaves. O método demonstrou ser uma ferramenta de aplicação rápida, permitindo ao planejador uma diretriz de onde seria o melhor lugar para a futura instalação. As forças de atração utilizadas como influenciadoras foram a distância das UA aos seus respectivos PAMA e o peso atribuído foi o custo da hora de voo, diretamente ligado ao tipo de aeronave, e o total de horas anuais alocadas.

Por ser um modelo contínuo, não existindo limitação de localização geográfica, o modelo pode indicar lugares desprovidos de infraestrutura para a operação, cabendo ao planejador realizar as correções necessárias. Caso o tomador de decisão possua mais tempo, mais informações e pessoal disponível, outros métodos podem ser realizados como Programação Linear, Modelos de Rede, Modelos Dinâmicos ou o método AHP (*Analytic Hierarchy Process*), indicando que o Método do Centro de Gravidade é apenas um dos métodos disponíveis para a escolha de instalações.

No estudo de caso realizado, uma das condicionantes para a futura localização do PAMA seria a de que a sua instalação ocorra em um lugar onde já exista uma unidade militar da FAB. O lugar escolhido deverá ser a cidade Brasília. Ao se analisar a disponibilidade de construção das instalações e ainda devido à problemática do tráfego aéreo, a cidade de Anápolis surge como candidata por possuir um aeródromo militar e possibilidade de expansão patrimonial.

Outro aspecto a ser considerado é que toda a análise é feita com dados do presente ou projeções do futuro. Decisões de instalações são decisões estratégicas que requerem elevada quantia investimento e que terão um horizonte amplo de influência na empresa. Caso se opte na realização do investimento, faz-se necessário um estudo aprofundado para verificar se a quantidade de horas de voo para cada Unidade estudada será mantido em um dado horizonte.

Outra característica que pode influenciar é o custo da hora de voo. A mudança de um tipo de aeronave, com a sua substituição ou aumento elevado dos custos de manutenção poderão representar mudanças de forças que influenciariam nas coordenadas geográficas. Por fim, nem sempre o critério mais economicamente vantajoso é escolhido em assuntos de Defesa. Talvez, por questões estratégicas seja necessário um maior apoio a determinado grupo de unidades em detrimento a outras.

4. CONCLUSÃO

O objetivo do artigo foi o de mostrar que apesar de não ser um método novo e ter sido utilizado para diversos tipos de problema de localização, o Método do Centro de Gravidade ainda é útil e eficaz quando na aplicação para a consolidação de instalações de manutenção aérea, evidenciando uma nova aplicação do método e a sua capacidade em servir de ferramenta de auxílio ao tomador de decisão.

Para verificar a eficácia da aplicação do método, foi realizado um estudo de caso tendo como base os esquadrões de voo da Força Aérea Brasileira e seus Parques de Manutenção Aeronáutica. Quando da sua aplicação para a localização de fábricas, terminais ou armazéns os parâmetros utilizados são os volumes transportados, a tarifa do transporte e a distância entre os pontos. Para a adequação do estudo de caso, os parâmetros da função custo utilizados foram o total de horas voadas por aeronave, o custo da hora de voo e a distância de cada esquadrão ao respectivo PAMA.

O modelo mostrou-se capaz de indicar rapidamente uma localização geográfica para a instalação. Por se tratar de um modelo contínuo, o administrador deverá fazer as correções necessárias a sua realidade. Vários outros métodos podem ser utilizados na escolha de uma localidade, cabendo ao planejador adequar a sua realidade os vários métodos disponíveis. Novos

estudos deverão focar a utilização de outros métodos de escolha de localidades na temática do transporte aéreo.

Um dos problemas que sempre preocupou os planejadores estratégicos de uma empresa é a mais adequada alocação de suas instalações. É função do planejador, com a quantidade de informações e recursos disponíveis analisar e pesar todas as variáveis que afetam um sistema e verificar quais serão as mais importantes para o empreendimento estudado.

-
1. Wolf GW. Facility location: concepts, models, algorithms and case studies. Series: Contributions to Management Science: edited by Zanjirani Farahani, Reza and Hekmatfar, Masoud, Heidelberg, Germany, Physica-Verlag, 2009.
 2. Boloori Arabani A, Farahani RZ. Facility location dynamics: An overview of classifications and applications. *Computers & Industrial Engineering*. 2012;62(1):408-20.
 3. Reville CS, Eiselt HA, Daskin MS. A bibliography for some fundamental problem categories in discrete location science. *European Journal of Operational Research*. 2008;184(3):817-48.
 4. Farahani RZ, Asgari N, Heidari N, Hosseininia M, Goh M. Covering problems in facility location: A review. *Computers & Industrial Engineering*. 2012;62(1):368-407.
 5. Sule DR. Logistics of facility location and allocation: CRC Press; 2001.
 6. Drezner Z, Hamacher HW. Facility location: applications and theory: Springer; 2004.
 7. Melo MT, Nickel S, Saldanha-da-Gama F. Facility location and supply chain management—A review. *European Journal of Operational Research*. 2009;196(2):401-12.
 8. Ballou RH. Gerenciamento da cadeia de suprimentos: logística empresarial: Bookman; 2006.