

APLICAÇÃO DO TRAVELLING SALESMAN PROBLEM NA ROTEIRIZAÇÃO DAS VIATURAS DA MARINHA DO BRASIL: UMA ABORDAGEM DA TEORIA DOS GRAFOS

RODRIGUES JUNIOR, Luiz¹; SANTOS, Marcos²; FERNANDES, Mariana de
Carvalho³

¹ Engenharia de Produção, Faculdade SENAI CETIQT, luizroinuj@hotmail.com

² Seção de Engenharia de Computação, Instituto Militar de Engenharia, marcosdossantos_doutorado_uff@yahoo.com.br

³ Engenharia de Produção, Faculdade SENAI CETIQT, fernandes-mari@outlook.com

Resumo: Embora a Marinha do Brasil seja uma instituição que não vise o lucro, seus gestores devem ter a preocupação de melhorar os seus processos de maneira tratar com austeridade o erário público. Nesse sentido, sabendo que os custos de transporte representam mais da metade dos custos logísticos de uma organização, esse trabalho tem o objetivo de propor uma metodologia para redução dos custos de transporte, na região metropolitana do Rio de Janeiro, entre o principal centro de distribuição da Marinha do Brasil e as suas Organizações Militares (OM). Hoje, as OM são abastecidas por suprimentos de natureza variada, sem que haja roteirização na utilização das viaturas. Assim, as entregas são feitas sob demanda, muitas vezes de uma maneira antieconômica. Esse trabalho tem o objetivo de propor uma metodologia capaz de reduzir os custos de transporte, por meio da clusterização das OM que estejam dentro de um raio de proximidade, além da roteirização por meio da solução do Problema do Caixeiro Viajante (PCV). O estudo ora apresentado, indica que pode haver uma significativa economia dos recursos da Força, os quais poderiam ser investidos estrategicamente em outros setores. Tal economia mostra-se oportuna, dado o momento de forte contingenciamento das Forças Armadas Brasileiras.

Palavras-chave: Problema do Caixeiro Viajante (PCV); Teoria dos Grafos; Marinha do Brasil.

APPLICATION OF THE TRAVELLING SALESMAN PROBLEM IN THE ROUTES OF THE BRAZILIAN NAVY VEHICLES: AN APPROACH TO THE THEORY OF GRAPHS

Abstract: Although the Brazilian Navy is an institute that didn't created for profit, yours management must be concerned to always improve their processes in a way that deals with the public treasury with total and complete austerity. In this sense, knowing that transport costs represent more than half of the logistics costs of most organization, this work has the objective

of proposing a methodology to reduce transportation costs, in the metropolitan region of Rio de Janeiro, between the main distribution center of the Brazilian Navy and its Military Organizations (OM). Today, the OMs are supplied by a variety of supplies, without any type of routing to use of vehicles. Thus deliveries are made on demand, often in an uneconomical way. This work has the objective of proposing a methodology capable of reducing transportation costs, through the clustering of the OMs that are within a radius of proximity, besides the routing through the solution of the Traveling Salesman Problem (TSP). The study presented here, indicates that there can be a significant saving of the resources of the Force, which could be invested strategically in other sectors. This economy is timely, given the moment of strong contingency to the Brazilian Military Forces.

Keywords: *Travelling Salesman Problem (TSP), Theory of Graphs; Brazilian Navy*

1 Introdução

A Marinha do Brasil (MB) possui um grande centro de distribuição localizado no Estado do Rio de Janeiro, Base de Abastecimento da Marinha no Rio de Janeiro (BAMRJ) – ilustrado na Figura 1, responsável por abastecer as Organizações Militares (OM) localizadas no referido Estado. Contudo, não é aplicado qualquer metodologia na roteirização dos seus veículos de entrega.

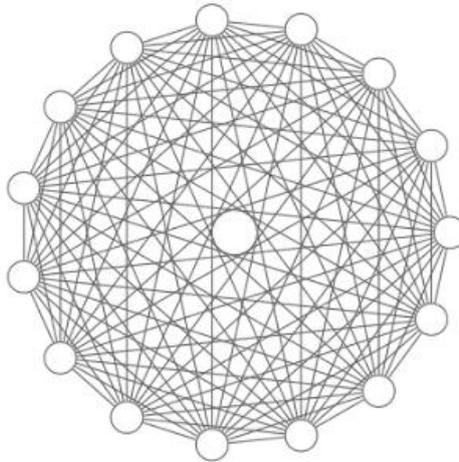
Figura 1 – Base de Abastecimento da Marinha no Rio de Janeiro (BAMRJ)



Fonte: www.mar.mil.br (2017)

O estudo em tela apresenta uma modelagem matemática, oriunda da Teoria dos Grafos, na qual as OM da MB estão distribuídas em 14 clusters pelo RJ e a BAMRJ é a sede da qual as viaturas devem iniciar e concluir a roteirização. Esquemáticamente, tal problema resulta num grafo completo K_{15} , representado na Figura 2.

Figura 2 – Grafo K_{15}



Fonte: Autores (2017)

Sabe-se que a solução para o Problema do Caixeiro Viajante (PCV) resulta em uma explosão combinatorial. Um computador capaz de calcular mil bilhões de ciclos hamiltonianos por segundo, demoraria 284 milhões de anos para calcular de maneira exaustiva todas os ciclos hamiltonianos de um grafo completo com apenas 30 vértices.

2 Problema

Tendo em vista as más condições de trânsito na região metropolitana, a segurança do material transportado e os altos custos logísticos, mormente com transporte, esse trabalho tem o objetivo de propor um sistema de roteirização para as viaturas da MB, que, partindo da BAMRJ, deverão visitar 14 pontos de entrega. O mapa mental a seguir, Figura 3, mostra as condições de contorno do problema.

Figura 3 – Mapa mental com as condições de contorno do problema



Fonte: Autores (2017)

3 Metodologia

Esse trabalho tem o objetivo de desenvolver uma metodologia de roteirização para a entrega de suprimentos às Organizações Militares da Marinha do Brasil no Rio de Janeiro. Para alcançá-lo, o trabalho foi decomposto nas seguintes partes:

- a. Coleta dos dados a serem utilizados para a modelagem do problema;
- b. Mapeamento das OM a serem consideradas no problema;
- c. Clusterização das OM a partir de um critério de proximidade; e
- d. Solução do TSP a partir do processamento computacional.

4 Fundamentação teórica

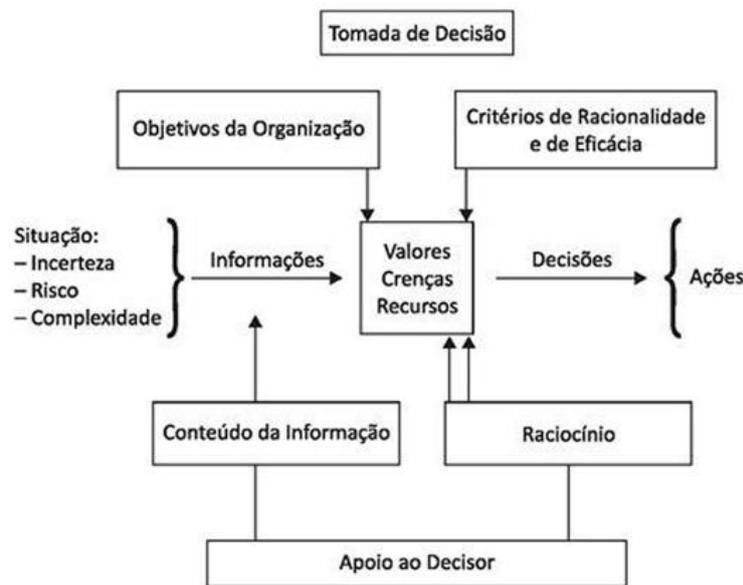
Santos (2013) aponta que a PO lança mão de modelos matemáticos e/ou lógicos, a fim de resolver problemas reais, apresentando um caráter eminentemente multidisciplinar.

Santos *et al* (2017) afirmam que todo problema de PO possui uma metodologia relativamente simples e logicamente encadeada, começando com uma situação problemática, ou seja, com um descompasso entre o que se quer e o que se tem, seja para uma pessoa, um

grupo de pessoas ou uma organização. Assim, o primeiro passo na solução de um problema é o perfeito entendimento do mesmo e das suas condições de contorno.

Para Belfiore e Fávero (2013), a tomada de decisão é um processo complexo e que envolve fatores internos e externos ligados à organização, onde pode-se destacar: ambiente; risco e incerteza; custo e qualidade requerida pelo produto ou serviço; agentes tomadores de decisão; cultura organizacional; e até mesmo o próprio mercado. Pode-se afirmar ainda que o processo de tomada de decisão dentro das organizações, pode ser ilustrado conforme figura 4.

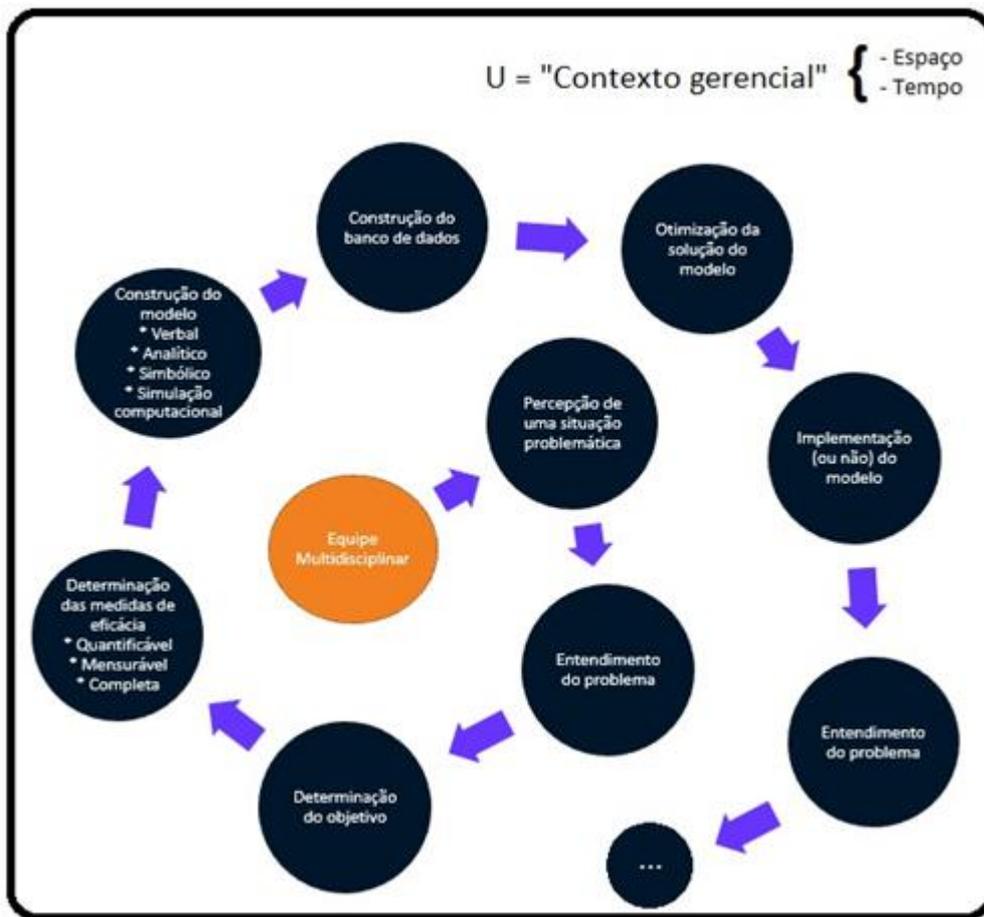
Figura 4 – O processo de tomada de decisão e apoio ao decisor



Fonte: Belfiore e Fávero (2013)

Santos *et al.* (2017) apresentam a espiral do processo decisório – Figura 5, concebida como uma abstração mental, uma vez que o processo decisório acerca de um problema desdobra-se nas oito primeiras etapas, partindo de uma situação problemática, 1ª etapa, até a implementação ou não do modelo, 8ª etapa, quando então, a percepção da situação problemática ganha uma nova dimensão, incorporando novos fatos da realidade subjacente que antes não tinham sido levados em consideração. Isso levará a um novo entendimento do problema, e, talvez, conduzirá a um novo objetivo, fazendo com que todo o processo se repita. Por isso, o processo decisório é iterativo e crescente.

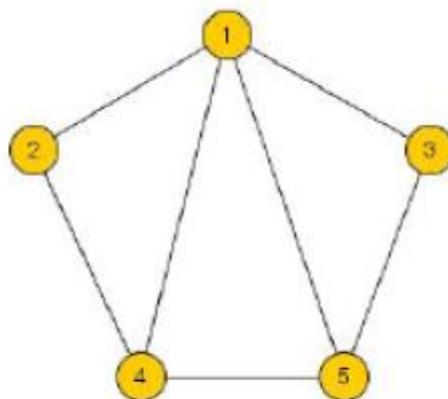
Figura 5 – Espiral do processo decisório



Fonte: Santos *et al.* (2017)

Conforme Pacheco e Lima (2016), um grafo P , simples não-orientado, é composto por um conjunto de pares ordenados $P = (X, A)$, de tal modo que o conjunto de vértices X , tal que $|X| = n$, e de arestas A , tal que $|A| = e(P)$. A Figura 6 apresenta um exemplo de um grafo.

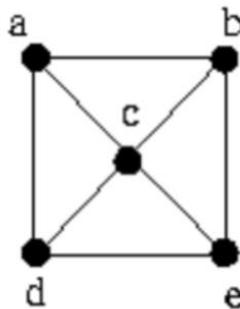
Figura 6 – Grafo de ordem 5



Fonte: Pacheco e Lima (2016)

Segundo Leite (2015), um caminho que passa uma única vez em cada vértice de um grafo é chamado hamiltoniano. Se o caminho começa e termina no mesmo vértice, então esse caminho é chamado de Ciclo Hamiltoniano. No grafo apresentado na Figura 7, é possível percorrer o caminho (a, b, e, d, c, a), sendo esse caminho um ciclo hamiltoniano.

Figura 7 – Exemplo de grafo com ciclos hamiltonianos



Fonte: Leite (2015)

Segundo Leite (2015), o Problema do Caixeiro Viajante (PCV), ou em inglês *Travelling Salesman Problem* (TSP), é o nome utilizado para um conjunto de problemas que podem ser modelados a partir do conceito de ciclo hamiltoniano. O PCV consiste na busca de um ciclo hamiltoniano que gere a menor distância, iniciando de um vértice qualquer, visitando todos os vértices uma única vez e regressando ao vértice de partida.

Segundo Café e Bräsher (2006), as 3 principais e clássicas leis da bibliometria podem ser apresentadas sinteticamente da seguinte forma:

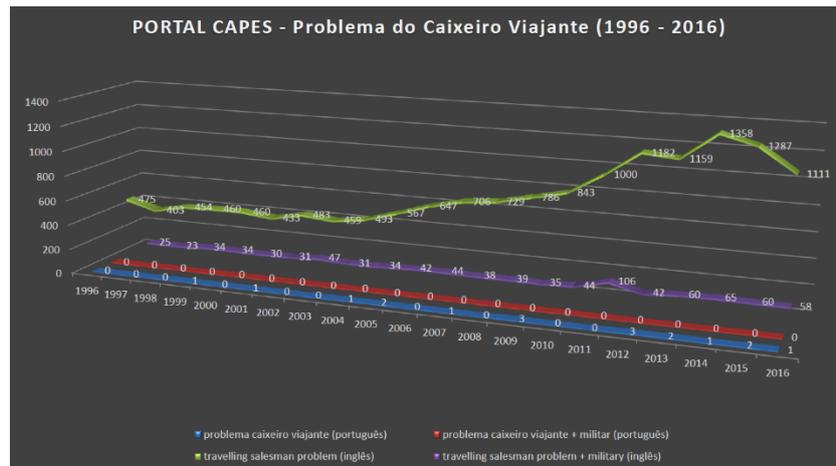
1^a) Bradford, tem o objetivo de conhecer o conteúdo dos periódicos produzidos a partir de determinado tema;

2^a) Lotka, tem o objetivo de definir as maiores contribuições de pesquisadores em determinadas áreas do conhecimento;

3^a) Zipf, pontua a frequência com que determinadas palavras aparecem nos textos científicos, de modo a estabelecer sua representatividade neste contexto.

A pesquisa bibliométrica de Zipf foi realizada no Portal de Periódicos da CAPES, onde foram encontrados 16.435 trabalhos publicados entre os anos 1996 e 2016, conforme a Figura 8, a seguir.

Figura 8 – Quantidade de publicações com o termo “Problema do Caixeiro Viajante”



Fonte: Portal de Periódicos da CAPES (2017)

5 Estudo de caso

De acordo com o site da Marinha do Brasil (2017):

A Base de Abastecimento da Marinha no Rio de Janeiro (BAMRJ), com sede na cidade no Rio de Janeiro, RJ, foi criada pela Portaria Ministerial nº 771, de 21 dezembro de 1993, com a denominação de Base Almirante Newton Braga, posteriormente alterada para a atual denominação, por intermédio da Portaria Ministerial de nº 467, de 11 de setembro de 1995.

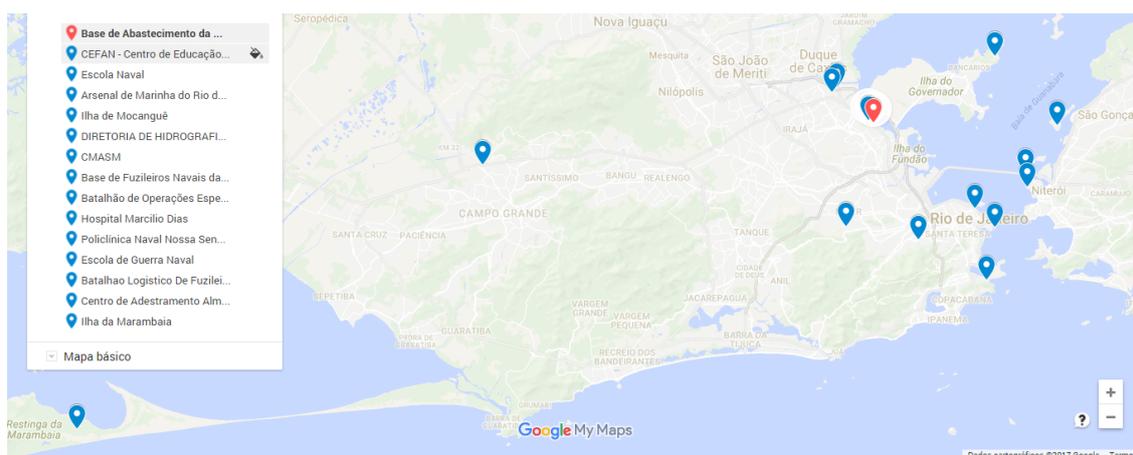
A BAMRJ teve o primeiro Regulamento aprovado pela Portaria nº 50, de 6 de abril de 1994, e revogada pela Portaria nº 409, de 5 de outubro de 1998, ambas do Chefe do Estado-Maior da Armada.

Passou a ter sua organização e atividades estruturadas pelo Regulamento aprovado pela Portaria nº 33, de 17 de setembro de 1998, a qual, foi revogada e substituída pelo Regulamento aprovado pela Portaria nº 3, de 12 de janeiro de 2000, ambas do Secretário-Geral da Marinha. Revogada esta última, a BAMRJ passa a ter sua organização e atividades estruturadas pelo presente Regulamento, aprovado pela Portaria nº 40 de 4 de agosto de 2004, do Secretário-Geral da Marinha.

A Base de Abastecimento da Marinha no Rio de Janeiro (BAMRJ), tem como um de seus objetivos apoiar as demais OM no Estado do Rio de Janeiro, nos seguintes aspectos: prover facilidades de apoio de rancho, assistência social, transporte, alojamento, saúde e prática de esportes.

Foram elencadas 28 OM, contudo, foi realizado uma clusterização entre as OM cujas distâncias fossem inferiores a 3.000 metros. Com isso, foi possível formar um total de 15 clusters, plotados na Figura 9, a seguir. A BAMRJ está destacada na cor vermelha, de modo a identificar a origem e o destino final da roteirização.

Figura 9 – Clusterização das OM



Fonte: Google Maps (2017)

6 Modelagem matemática

A rotina de trabalho das viaturas envolvidas com o transporte de materiais entre as Organizações Militares precisa iniciar na BAMRJ, passar pelos 14 clusters apresentados na Figura 8 e retornar para a BAMRJ. Para o início da modelagem matemática do problema é necessário coletar as informações de distância entre cada cluster, par a par. O valor representativo de cada aresta é o equivalente à distância utilizada para percorrer o trajeto entre uma OM e outra, em quilômetros.

Fazendo-se uma análise inicial das restrições do problema, chega-se à conclusão de que o mesmo possui 32.751 restrições de sub-rotas. Assim, optou-se pelo processamento computacional para a solução do problema, já que seria inexequível modelar milhares de equações uma a uma.

7 Solução computacional do modelo

Para calcular a solução do PCV do estudo de caso, foi utilizado o software TSP SG. Foi feito o preenchimento das distâncias entre todos os pares de vértices do grafo, ou seja, as distâncias entre os clusters dois a dois, conforme ilustrado na Figura 10.

Figura 10 – Matriz contendo as distâncias entre os clusters dois a dois

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
City1	---	4.5	0.45	22.5	19.4	34.7	31.9	35.2	23.9	35.4	19.6	18.7	22.5	8.4	54.4
City2	11	---	11.4	24.1	20.9	34.2	31.9	37.4	23.4	31.8	21.2	19	26.1	3.4	50.9
City3	8.9	4	---	22.1	18.9	25.8	32	34.8	23.5	34.9	19.2	18.2	24.1	8	53.9
City4	17.5	22	17.9	---	3.4	25.8	23.5	26.4	26.9	54	15.9	10	9	25.9	55.2
City5	14.1	20.9	14.6	6.1	---	22.4	20.2	23	23.5	51.8	12.9	6.7	10.8	24.8	54.3
City6	19.6	24.1	20.1	20.5	17.4	---	27.8	30.6	29	53.6	22.7	16.5	22.5	28	60
City7	24.4	24.1	25.4	25.8	22.6	7.6	---	8.7	34.3	62.6	31.5	21.8	27.8	35.6	64
City8	25.8	32.5	26.2	26.7	23.5	8.3	7.9	---	37.9	66.1	31.9	25.3	31.4	36.9	67.6
City9	14.8	19	15.2	27.3	24.1	35.2	33	38.1	---	49.9	26.2	23.2	29.6	23	58.9
City10	40.6	33.9	41	55.9	52.6	63.8	61.5	66.7	53	---	43.1	48.2	58.1	37.8	26.7
City11	14.9	20.2	15.4	15.7	12.6	26.9	24.6	29.8	26.7	35.6	---	8.6	18	24.3	39.2
City12	14.5	19	15	8.1	6.3	22.6	20.3	25.5	23.7	48.3	8.6	---	10.3	22.7	46.7
City13	18.7	24.6	20.5	7.4	9	28.4	26.2	31.3	29.8	57.6	18	10.3	---	28.5	46.5
City14	14.4	3.4	14.8	27.5	24.3	37.6	35.3	40.5	26.8	35.2	24.7	23.5	29.5	---	52.4
City15	54.1	55.7	54.6	54.3	56.4	66.2	62.9	68	60	30.1	40.4	46.6	47.2	54.7	---

Fonte: Autores (2017)

Ao término do preenchimento da matriz, deve-se selecionar a opção *solve* do software. O resultado pode ser visto na aba *solution*, conforme observa-se na Figura 10.

Figura 11 – Resultado do software TSP SG

Selected route with (5,7) part.
 1 alternate candidate for branching: (12;13).
 Resulting path:
 City 1 -> City 3 -> City 2 -> City 14 -> City 10 -> City 15 -> City 11 -> City 12 -> City 13 -> City 4 -> City 5 -> City 7 -> City 8 -> City 6 -> City 9 -> City 1
 The price is 220.85 units.

Fonte: Autores (2017)

Como pode ser observado na Figura 11, o software apresentou o seguinte resultado: Saída da BAMRJ > cluster 3 > cluster 2 > cluster 14 > cluster 10 > cluster 15 > cluster 11 > cluster 12 > cluster 13 > cluster 4 > cluster 5 > cluster 7 > cluster 8 > cluster 6 > cluster 9 > retorno para BAMRJ, com uma distância percorrida de 220,85km.

8 Considerações finais

O tratamento analítico do problema mostrou-se demasiadamente trabalhoso, pois geraria um total de 32.751 equações lineares, o que praticamente inviabiliza esse tipo de abordagem. Por esse motivo houve a necessidade da utilização de um processamento computacional para dar conta do referido problema.

Embora tenha sido calculada a solução do PCV para 15 pontos a serem visitados, pode-se reproduzir esse experimento para uma quantidade qualquer de pontos ou clusters. A partir

de uma programação prévia de entregas, é possível que o gestor consiga de maneira simples gerar a roteirização de viaturas para determinado dia.

Referências Bibliográficas

BARROS, A. J. S. e LEHFELD, N. A. S. **Fundamentos de Metodologia: Um Guia para a Iniciação Científica**. 2 Ed. São Paulo: Makron Books, 2000.

BELFIORE, P.; FÁVERO, L. **Pesquisa Operacional para Cursos de Engenharia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013.

CAFÉ, Lígia, BRÄSCHER, Marisa. Organização da Informação e bibliometria. Enc. Bibli: **R. Eletr. Bibliotecon. Ci. Inf.**, Florianópolis, n. esp., 2008.

FÁVERO, L. P., BELFIORE, P., SILVA, F. L., & CHAN, B. L. **Análise de dados: modelagem multivariada para tomada de decisões**. Rio de Janeiro: Campus Elsevier, 2009.

GIL, A. Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**, 4^o edição, Atlas, 2002.

LEITE, Lucas. **Análise de desempenho de um sistema multiagentes na resolução do problema do caixeiro viajante**. Monografia, graduação, UnB, Brasília, 2015.

MARINHA do Brasil. **Marinha do Brasil**. Disponível em <<https://www.marinha.mil.br/>> acesso em jan./2017

MARINHA do Brasil. **Histórico da Base de Abastecimento da Marinha**. Disponível em < <https://www.marinha.mil.br/bamrj/historico>> acesso em jan. /2017

PACHECO, Diego Julio, LIMA, Leonardo Silva de. Modelos de confiabilidade em rede para arestas ou vértices confiáveis: Uma contextualização literária. **Anais do XXIII Simpósio de Engenharia de Produção. Bauru, 2016**.

SANTOS, Marcos dos *et al.* O uso da Programação Linear Inteira (PLI) no Apoio à Decisão e a Otimização do Mix de Produção. **Anais do XXXVII Encontro Nacional de Engenharia de Produção**. Joinville/SC, 2017.

SANTOS, Marcos dos *et al.* Aplicação da Programação Linear na formulação de uma dieta de custo mínimo: estudo de caso de uma empresa de refeições coletivas no Estado do Rio de Janeiro. **Anais do XIII Encontro Mineiro de Engenharia de Produção**. Juiz de Fora/MG, 2017.

SANTOS, Marcos dos *et al.* Seleção e avaliação de riscos na construção de navios de guerra da Marinha do Brasil. **Anais do XXIII Simpósio de Engenharia de Produção**. Bauru, 2016.

SANTOS, Marcos dos. **Simulação da Operação de um Sistema Integrado de Informações para o atendimento pré-hospitalar de emergência no município do Rio de Janeiro**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil, 2013.