

Geração de agrupamentos para roteamento de veículos considerando distância e trânsito

Armando Gonçalves Madeira Junior, Mikey da Silva Neto e Anderson Ribeiro Correia¹
Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA, Praça Marechal Eduardo Gomes, 50 - Vila das Acácias - São José dos Campos - SP

Resumo — O Depósito de Fardamento de Marinha do Rio de Janeiro é responsável pelo armazenamento e distribuição de uniformes da Marinha para venda aos seus militares. Para tal, o canal de distribuição é composto de postos de venda de uniformes e postos de encomendas de uniformes e sofre livre concorrência com particulares que vendem fardamento.

Este artigo apresenta o resultado obtido na aplicação de métodos multivariados, em particular os métodos hierárquicos de agrupamentos, considerando a localização e o grau de engarrafamento, sendo este aferido pelo método MACBETH (Mensuração da Atratividade através de uma Técnica de Base Categórica), com o intuito de verificar a viabilidade de se criar agrupamentos para o canal de distribuição do Estado do Rio de Janeiro de forma a otimizar os custos logísticos do Depósito, oferecendo aos seus clientes preços competitivos.

Palavras-chaves — Canal de Distribuição; MACBETH; Métodos de Agrupamentos Hierárquicos.

I. INTRODUÇÃO

O uniforme é um padrão de vestuário usado por membros de uma dada organização, a farda do militar é um símbolo de reconhecimento da condição de militar da ativa. A presença de um militar bem uniformizado representa para a sociedade um senso de segurança e nacionalismo.

É importante que haja uma logística específica da instituição militar federal de forma a disponibilizar as diversas peças do uniforme por todo Brasil, a preços módicos em comparação com a iniciativa privada.

A Marinha do Brasil (MB) adquire os uniformes de fornecedores por meio do procedimento licitatório, no qual é escolhida a proposta mais vantajosa especificada em edital. A compra é feita de forma centralizada, garantindo economia de escala, conforme a previsão da demanda. Recebido o material, este é armazenado no Depósito de Fardamento de Marinha no Rio de Janeiro (DepFMRJ) que tem a responsabilidade das seguintes tarefas: contabilizar, controlar o estoque, armazenar e distribuir o material.

O DepFMRJ efetua a distribuição do material para os postos de venda de uniformes (PDU) e, sob pedido, aos postos de encomendas de uniformes (PEU). Nos PDU se localizam em áreas de grande concentração de militares, possuindo estoques próprios e estrutura para realizar a venda aos consumidores. Os PEU estão localizados em áreas cuja demanda não se justifica a implantação de PDU, eles não

possuem estoque, funcionando apenas sob pedido para as organizações militares (OM) nestas localidades.

Referência [2] considera como causas do inadequado nível de serviço do sistema de distribuição de fardamento da Marinha a falta de capital para manutenção do nível de estoques adequados para um desejado nível de serviço; morosidade do procedimento de aquisição; diversidade de itens constantes da andaina básica de uniformes; e falta de planejamento na execução da distribuição e transporte de uniformes.

Adicionalmente, a iniciativa privada tem oferecido um nível de serviço adequado na livre concorrência deste setor, sua logística é mais eficiente o que permite oferecer aos seus clientes o fardamento a preço mais vantajoso e de melhor qualidade, reduzindo a demanda ao sistema próprio da Marinha.

Referência [2] apresentou como alternativa para redução dos custos logísticos a aplicação de um método de solução da roteirização por programação inteira, cuja função objetivo era minimizar a distância percorrida pelo veículo considerando as restrições de capacidade do veículo e da demanda de cada PDU. Por ser um problema de complexidade razoável (NP-difícil), o modelo foi utilizado para apenas quatro PDU.

O objetivo do trabalho é apresentar um modelo que efetue a geração de agrupamentos considerando a distância entre DepFMRJ, PDU, PEU do Estado do Rio de Janeiro e, o grau de engarrafamento dessas localidades. Foi utilizado o método MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*) para criar uma escala cardinal do grau de engarrafamento avaliados pelos valores qualitativos do encarregado de transportes. Os métodos hierárquicos de agrupamento estabeleceram os *clusters* que maximizam a similaridade entre elementos do grupo e entre grupos.

O resultado encontrado possibilitará uma posterior utilização de métodos de roteirização, possibilitando a redução da dimensão das observações (PDU e PEU), tornando esta aplicação mais eficiente.

II. MATERIAIS E MÉTODOS

A matriz de dados, elemento de entrada para aplicação de métodos multivariados, é formada pela diferença de latitude (variável x) e de longitude (variável y) dos PDU/PEU (observações) ao DepFMRJ, informações obtidas no

¹ Armando Gonçalves Madeira Junior, madeira@ita.br, Mikey da Silva Neto, kike4@hotmail.com, Anderson Ribeiro Correia, correia@ita.br.

programa Google Earth e dispostas na Tabela I; e o julgamento subjetivo do grau de engarrafamento (variável z).

TABELA I POSICIONAMENTO DAS OM, PDU E PEU

Ordem	OM/PDU/PEU	Latitude	Longitude
0	DEPFMRJ	22° 49' 59,97''	043° 15' 29,49''
1	SNNF	22° 17' 30,64''	042° 31' 59,32''
2	DHN	22° 53' 00,72''	043° 08' 02,89''
3	BNRJ	22° 52' 07,84''	043° 07' 54,77''
4	CIAW	22° 53' 49,45''	043° 10' 31,37''
5	COM1DN	22° 53' 48,17''	043° 10' 35,49''
6	EN	22° 54' 46,13''	043° 09' 44,08''
7	IEAPM	22° 58' 39,54''	042° 01' 07,16''
8	SPA	22° 49' 24,28''	042° 05' 42,89''
9	CN	23° 00' 50,89''	044° 19' 22,92''
10	CADIM	23° 02' 49,08''	043° 50' 20,22''
11	DABM	22° 53' 49,05''	043° 10' 29,55''
12	CIAGA	22° 50' 08,19''	043° 15' 21,35''
13	BAMRJ	22° 50' 00,77''	043° 15' 31,58''
14	CIAA	22° 49' 36,12''	043° 16' 13,24''
15	CIAMPA	22° 51' 53,19''	043° 34' 52,01''
16	BFNIF	22° 50' 50,20''	043° 05' 54,03''
17	BFNIG	22° 46' 53,41''	043° 09' 29,24''
18	HNMD	22° 54' 49,98''	043° 17' 03,45''

A. Escala Cardinal (MACBETH)

Este método tem o objetivo de simplificar a construção de funções de preferência por meio de julgamentos semânticos. Isto se verifica quando o decisor (encarregado de transportes) precisa fazer apenas comparações par-a-par sobre as diferenças de atratividade entre duas ações potenciais. Com isso, metodologia calcula, através de programação linear, verificando a inconsistência cardinal dos julgamentos e construindo a escala de valor (Madeira Junior, 2004). Para estruturação da função de preferência MACBETH, a metodologia se utiliza de um procedimento que consiste em questionar o decisor a diferença de atratividade dos impactos (v(a) e (b)) de duas ações potenciais (alternativas a e b) segundo o ponto de vista fundamental (grau de engarrafamento). A Tabela II apresenta a escala semântica de julgamentos para medição da diferença de atratividade.

TABELA II ESCALA SEMÂNTICA DE JULGAMENTOS MACBETH

Categoria	Diferença de atratividade
C0	Indiferença
C1	Muito Fraca
C2	Fraca
C3	Moderada
C4	Forte
C5	Muito Forte
C6	Extrema

A Fig. 1 apresenta a matriz de juízo de valor atinente ao grau de engarrafamento. Com o intuito de reduzir o número de julgamentos, os PDU/PEU foram agrupados por regiões (Centro do Rio de Janeiro, Avenida Brasil, Niterói, Ilha do Governador, Região dos Lagos, Costa Verde e Nova Friburgo). O cálculo da escala de atratividade foi realizado pelo programa M-MACBETH, proposto por Bana e Costa em conjunto com Vansnick.



Fig. 1: Matriz de Juízo de Valor e a Escala de Atratividade

B. Métodos Multivariados

A Análise Multivariada consiste de uma coleção de métodos que pode ser usado quando várias medidas (variáveis) são feitas em um determinado objeto em um ou mais amostras (unidades ou observações) [5].

Dentro da análise multivariada, existem os métodos de geração de agrupamentos que realizam exploração de dados de forma a verificar a existência de agrupamentos naturais. Eles maximizam a similaridade dentro do agrupamento e a dissimilaridade entre agrupamentos [6]. Estes métodos podem ser divididos em aglomerativos (hierárquicos) e partitivos (não hierárquicos).

Os agrupamentos são formados a partir de uma matriz de dissimilaridade. Para tal ela possui as seguintes propriedades:

- a) $d(x,y) \geq 0$
- b) Simetria: $d(x,y) = d(y,x)$
- c) Se $x=y$ então $d(x,y) = 0$, senão $d(x,y) \neq 0$
- d) Desigualdade triangular: $d(x,y) \leq d(x,z) + d(z,y)$, somente para medidas de distância.

A medida de dissimilaridade mais utilizada em geração de agrupamentos é a distância Euclidiana. A distância Euclidiana entre dois vetores, x e y, é [5]:

$$D_{x,y} = ((x-y)' (x-y))^{1/2}. \tag{1}$$

Os métodos de agrupamentos hierárquicos mais comuns são: ligação simples, ligação completa, ligação média, centróide e ward [6].

O algoritmo da ligação simples (*nearest neighbor*) define a distância entre dois grupos com a do menor valor das distâncias individuais [3]:

$$d(R, P+Q) = \min \{ d(R,P), d(R,Q) \}. \tag{2}$$

Uma das desvantagens da ligação simples é quando os grupos são diferentes, mas não bem separados, podendo ser classificados dentro de um grupo se houver dois pontos próximos.

O algoritmo da ligação completa (*complete linkage* ou *farthest neighbor*) procurou corrigir a desvantagem da ligação simples, considerando a maior distância individual [3]:

$$d(R, P+Q) = \max \{ d(R,P), d(R,Q) \}. \tag{3}$$

Na ligação média (average linkage) se propõe um compromisso entre os dois algoritmos anteriores computando a distância média [3]:

$$d(R, P+Q) = (n_p/(n_p+n_q)) d(R,P) + (n_q/(n_p+n_q)) d(R,Q). \quad (4)$$

O algoritmo do centróide é bastante similar com o ligação média e utiliza a distância geométrica natural entre R e o peso do centro de gravidade de P e Q [3]:

$$d(R, P+Q) = (n_p/(n_p+n_q)) d(R,P) + (n_q/(n_p+n_q)) d(R,Q) - (n_p n_q / (n_p+n_q)^2) d(P,Q) \quad (5).$$

O método de Ward, diferentemente dos métodos de ligação, não coloca juntos os grupos com a menor distância, e sim os junta conforme a menor medida de heterogeneidade. O objetivo de Ward é unificar grupos tais que a variação dentro deles não cresça drasticamente, resultando em grupos tão homogêneos quanto possível. A heterogeneidade do grupo R é medida por inércia dentro do grupo definida como [3]:

$$I_R = \frac{1}{nr} \sum_{i=1}^{nr} d^2(x_i, x_r). \quad (6)$$

Os agrupamentos gerados são representados em uma estrutura, na forma de árvore, denominada dendograma que mostra como as observações foram aglomeradas.

II. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na matriz de dados as variáveis de posição (latitude e longitude) e grau de engarrafamento são de grandezas diferentes, ensejando a sua normalização para o equilíbrio no cálculo da distância euclidiana, decidiu-se a manutenção da variável grau de engarrafamento de forma que esta tivesse um peso menor na formação da matriz de dissimilaridades. A Fig. 2 apresenta esta matriz e a Fig. 3 a plotagem dos dados relativo as 3 variáveis (x – latitude, y – longitude e z – grau de engarrafamento).

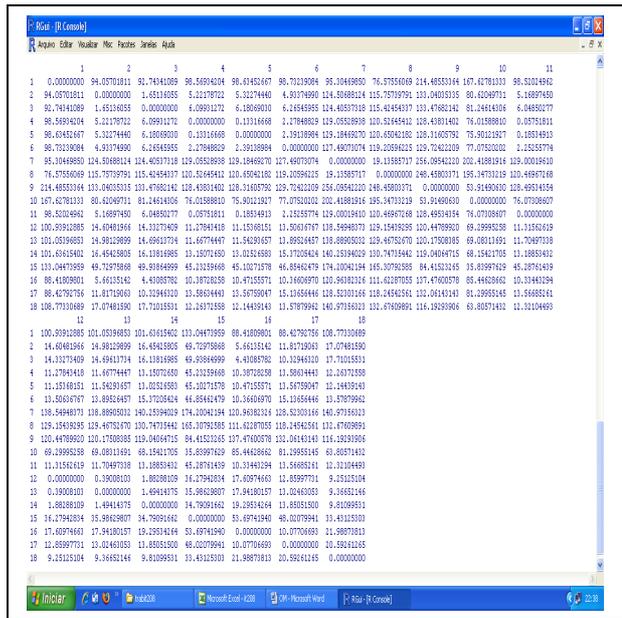


Fig. 2: Matriz de dissimilaridades

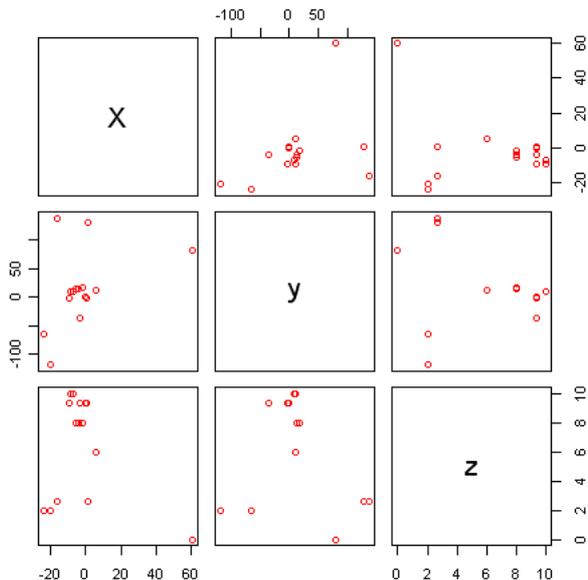


Fig. 3: Plotagem das variáveis

Preliminarmente, pode-se observar nas Fig 2 e 3 que existem PDU bastante próximos como Comando do 1º Distrito Naval (5), DABM (11) e CIAW (4); e CIAGA (12), BAMRJ (13) e DepFMRJ. Tal fato denota uma necessidade de redução da estrutura física do canal de distribuição de forma a reduzir os custos logísticos com a redução de despesas fixas e dos custos de estoque. Com isso implicará em uma melhor gerência de armazenamento com a simplificação de estoques nos PDU, resultando em preços dos produtos oferecidos a preços mais competitivos.

Pode-se observar a presença de *outliers*, principalmente em dois PEU – SNNF (1) e IEAPM (7), e um PDU – CN (9). Pela distância envolvida dessas OM poderá ensejar a terceirização na entrega, pois dificilmente conseguirá consolidar a carga com a demanda desses canais de distribuição. Referência [1] apresenta essa alternativa, porém adverte que a terceirização agrega valor ao produto e exige uma competente administração dos custos logísticos e dos tempos dos fluxos dos produtos no canal de distribuição.

Os dendogramas, gerados pelo programa R, dispostos das Fig. 4 e 5, com a aplicação dos métodos hierárquicos de Ward e ligação completa, respectivamente, apontam para um número ideal de agrupamentos de cinco *clusters*.

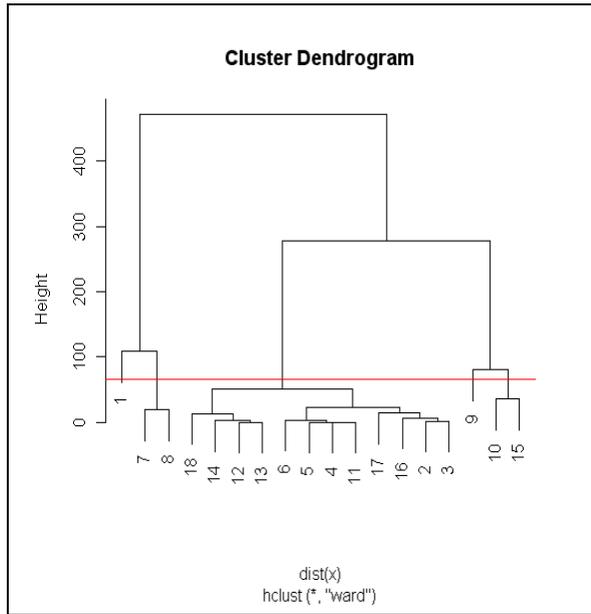


Fig. 4: Dendrograma pelo método de Ward

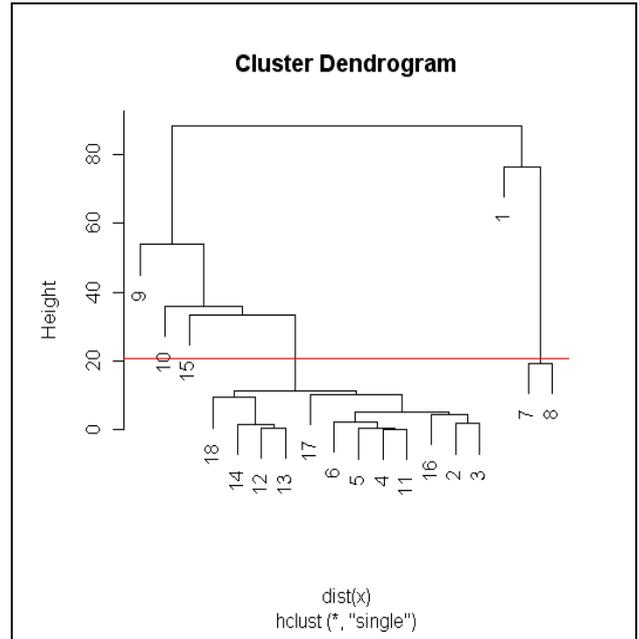
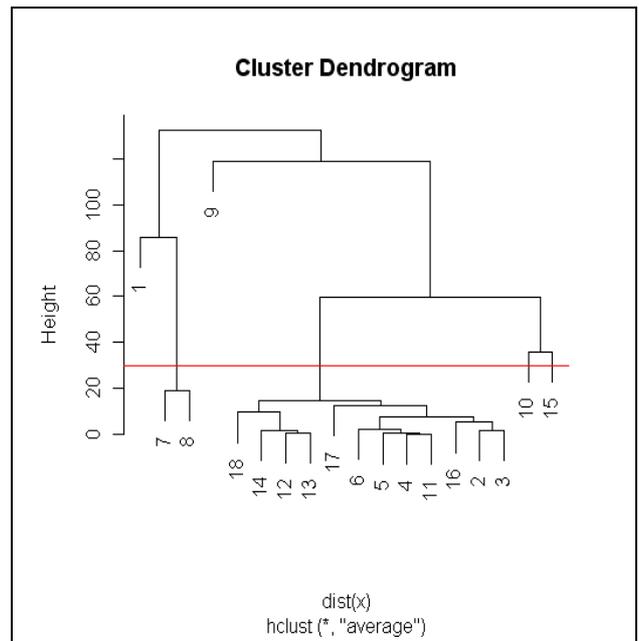
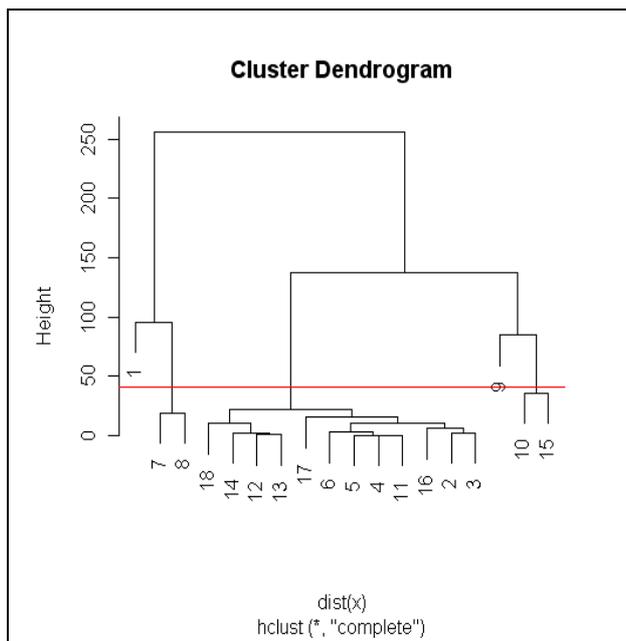


Fig. 6: Dendrograma pelo método da ligação completa



Cluster Dendrogram

Cluster Dendrogram

Fig. 5: Dendrograma pelo método da ligação completa

Ambos os métodos formaram os mesmos agrupamentos, são eles:

1. SNNF (1);
2. IEAPM (7) e BAenSPA (8);
3. CN (9);
4. CADIM (10) e CIAMPA (15);
5. Demais PDU e PEU.

Nos métodos da ligação simples, ligação média e do centróide, as Fig. 6, 7 e 8, respectivamente, indicam a presença de seis *clusters* como número ideal.

Fig. 7: Dendrograma pelo método da ligação média

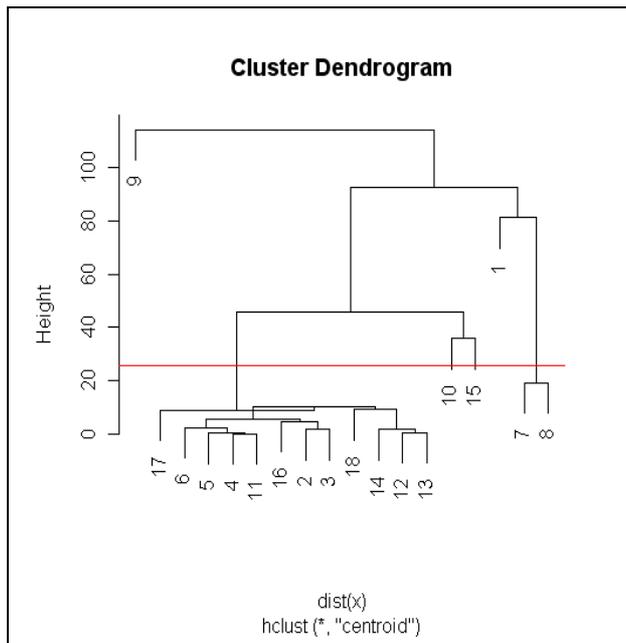


Fig. 8: Dendrograma pelo método do centróide

Esses três últimos métodos hierárquicos dividiram o *cluster* anterior CADIM (10) e CIAMPA (15) e dois. Os demais agrupamentos não sofreram alteração. Desta forma demonstra que a solução encontrada é robusta por ser praticamente a mesma em diferentes algoritmos.

A limitação deste método é não levar em consideração a capacidade do caminhão que realiza o transporte e a demanda necessária para cada PDU/PEU. Porém o dendrograma permite ao encarregado de transportes gerenciar mais facilmente a alocação de roteiros eficientes, caso não possua aplicativos com métodos de roteirização.

Pode-se observar que o maior dos clusters, formado por onze PDU, sem sombra de dúvidas, resultará em sobrecarga no modal de transporte. Uma solução indicada pela metodologia, visualizada pelo dendrograma, é dividi-lo da seguinte forma:

1. CIAGA (12), BAMBJ (13), CIAA (14) e HNMD (18);
2. CIAW (4), DABM (11), Com1DN (5) e EN (6);
3. DHN (2), BNRJ (3), BFNIF (16) e BFNIG (17).

Essa subdivisão é bastante coerente com o senso comum, pois na primeira encontram-se as OM localizadas nas imediações da Avenida Brasil; no segundo apresenta as imediações do centro da cidade do Rio de Janeiro e o terceiro Niterói, São Gonçalo e Ilha do Governador.

Vale mencionar que a utilização do grau de engarrafamento alterou a similaridade do PDU BFNIG (17) passando-o do sub-agrupamento 1 para o sub-agrupamento 2, por uma

diferença bastante pequena, que pode ser atestada pelo distanciamento do peso nos dendogramas *supra*.

III. CONCLUSÕES

O modelo pautado em um método hierárquico aglomerativo apresentado permite ao encarregado de transportes do DepFMRJ criar agrupamentos de forma eficiente e simples, alocando-os para os caminhões disponíveis para o transporte dos produtos ao canal de distribuição. Trata-se de um importante elemento de entrada para ser utilizado a nível operacional em programas robustos de roteamento, reduzindo o tempo computacional com a divisão das dimensões das observações (PDU e PEU). Como também permite, pela simples análise do dendrograma, efetuar o roteamento, considerando as limitações de carga e de demanda, sem necessitar de artefato computacional.

Além de gerar os agrupamentos, o método apresentou a possibilidade de redução da estrutura de distribuição pela presença de PDU bastante próximos, bem como realçou a presença de *outliers*, que podem ser interpretados como pontos isolados no canal de distribuição que devem ser tratados de forma diferenciada dos demais de forma que a estratégia de distribuição e gerência de estoques seja ótima, possibilitando que o custo total seja minimizado considerando os custos de transporte, armazenagem e de realização do pedido.

Com a adoção da metodologia e as conclusões decorrentes permitirá ao sistema de distribuição de uniformes da Marinha concorrer com particulares de forma eficiente, com a redução dos custos logísticos, possibilitando a tropa uma maior motivação e facilidade na aquisição de uniformes.

REFERÊNCIAS

- [1] Ballou, Ronald H., *Gerenciamento da cadeia de suprimentos / logística empresarial*, 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006..
- [2] De Souza, F. S. & Guardiã, L. E. T., *Aplicação do modelo de roteamento e programação de veículos à distribuição de fardamento destinada aos postos de vendas e de encomendas na Marinha do Brasil*. X SPOLM - Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha, Rio de Janeiro, RJ, 2007
- [3] Härdle, W. & Simar, L. "Applied Multivariate Statistical Analysis". 2° ed. Springer: Berlin. 2007.
- [4] Madeira Junior, A.G. Avaliação de Unidades de Escolta através da Modelagem de Apoio à Decisão. Tese de M. Sc., UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 2004.
- [5] Rencher, A. C. *Methods of multivariate analysis*. 2° ed. Wiley: New York. 2002..
- [6] Sharma, S. "Applied Multivariate Techniques". 2° ed. Wiley: New York. 1996.