

Proposta de modelos de otimização para movimentações do pessoal militar do Exército Brasileiro

Dayanna Rodrigues da Cunha Nunes^a, Orivalde Soares da Silva Júnior^b, Renata Albergaria de Mello Bandeira^c, Paulo Afonso Lopes da Silva^d, Jeronymo Mota Alves de Carvalho^e, Yuri Façanha Bezerra^f

Pesquisa Operacional e Logística em Engenharia de Transporte - IME

^adayanna_nunes@ime.eb.br

^borivalde@ime.eb.br

^crenatabandeira@ime.eb.br

^dpauloafonsolopes@ime.eb.br

^ejeronymo.carvalho@eb.mil.br

^ffacanha@ime.eb.br

RESUMO: A movimentação dos militares do Exército Brasileiro (EB) entre as diversas Organizações Militares (OM), essas agrupadas nas chamadas guarnições em diversas cidades, é uma atividade realizada anualmente pela Diretoria de Controle de Efetivos e Movimentações (DCEM), que tem como objetivo atender, da melhor maneira possível, às necessidades da Força e aos interesses dos militares. Para otimizar as movimentações dos militares, este artigo apresenta o desenvolvimento de um modelo matemático baseado em um problema de alocação de recursos e compara os resultados obtidos com aqueles apresentados pelo Sistema de Apoio às Decisões para Movimentações (SADMov), atualmente em uso, que se baseia em um algoritmo construtivo. Realizaram-se experimentos computacionais para uma amostra de 277 tenentes da arma de Infantaria, 374 guarnições e 912 organizações militares. Os resultados das otimizações indicaram um atendimento positivo de 121% para os militares e de 34% para as OM.

PALAVRAS-CHAVE: Movimentação de pessoal. Problema de alocação. Otimização. Exército Brasileiro. Programação não linear inteira.

ABSTRACT: The permanent change of station (PCS) of the Brazilian Army military among the various Military Organizations (OM), these grouped in the so-called garrisons in several cities, is an activity carried out annually by the Directorate of Personnel and Movement Control (DCEM), which aims to meet, in the best possible way, the needs of the Force and the interests of the military. To optimize the relocations of the military, this article presents the development of a mathematical model, based on a problem of resource allocation, and compares his results with those presented by the Decision Support System for Movements (SADMov), currently in use, which is based on a constructive algorithm. Computer experiments were carried out for a sample of 277 lieutenants of the Infantry, 374 garrisons and 912 military organizations. The results of optimizations indicate a positive attendance of 121% for the military and 34% for the OM.

KEYWORDS: Personnel relocation. Allocation Problem. Optimization. Brazilian Army. Integer nonlinear programming.

1. Introdução

De acordo com o Art. 2º do Decreto nº 2.040, de 21 de outubro de 1996, “O militar está sujeito, em decorrência dos deveres e das obrigações da atividade militar, a servir em qualquer parte do País ou no exterior”, o que faz necessária a existência de um órgão no âmbito das Forças Armadas que gerencie essas movimentações.

A Diretoria de Controle de Efetivos e Movimentações (DCEM), subordinada ao Departamento-

Geral do Pessoal (DGP), é o órgão responsável pela movimentação dos militares de carreira do Exército Brasileiro. São aproximadamente 60 mil militares, a serem distribuídos em quase 1.000 organizações militares (OM), em todo o território nacional, além das missões no exterior. Para cumprir essa finalidade, a DCEM desenvolveu dois produtos: o Cadastro de Movimentações do Exército (CAMEx) e o Algoritmo de Movimentações do Exército, segundo AGITEC [1].

O CAMEx consiste em um sistema de inscrição para movimentação, obrigatório para os militares que com-

pletaram o tempo mínimo para movimentação. Nele, as opções de guarnições são alocadas inicialmente pela DCEM, podendo o militar reordená-las segundo suas prioridades. Essa ferramenta de gestão compartilhada permite à DCEM ter uma visão dos interesses de cada militar no que tange à sua movimentação [1].

O Algoritmo de Movimentações do Exército, empregado para auxiliar na tomada de decisões da DCEM, busca otimizar as movimentações, considerando três fatores principais: a necessidade da Força, o interesse do militar (conforme o CAMEX) e a meritocracia [1].

O CAMEX e o Algoritmo automatizaram o que era realizado manualmente. As maiores vantagens desse processo são a celeridade, a redução da interferência humana nas decisões, o aumento da produtividade do pessoal e a facilitação das auditorias em todas as etapas.

Nesse cenário, o objetivo deste artigo é apresentar três modelos matemáticos, dois mono-objetivos e um multiobjetivo, para otimizar as movimentações dos militares do Exército Brasileiro. O problema é de alocação e visa atender às necessidades de recursos humanos das OM e aos interesses dos militares, relativamente às suas opções de movimentação.

Este artigo encontra-se estruturado em seis seções: esta introdução, revisão bibliográfica, metodologia, estudo de caso, análise e discussão dos resultados e conclusões.

2. Revisão Bibliográfica

Pentico [11] faz uma revisão sistemática da literatura a respeito das variações do problema clássico de alocação que surgiram desde a publicação do artigo de Kuhn [9], sobre a utilização do método húngaro para a sua resolução, reconhecido como o estudo que destacou esse tipo de problema, dando início a mais pesquisas nesse assunto.

O problema original de alocação (Allocation Problem – AP) consiste em encontrar uma correspondência um-para-um entre tarefas e agentes com o objetivo de minimizar o custo total das alocações, segundo Pentico [11].

A variação mais comum desse problema é o da alocação generalizada (Generalized Assignment Problem – GAP), um problema de otimização combinatória NP-difícil que consiste em encontrar o custo mínimo

de alocação de n tarefas para m agentes, em que cada tarefa é alocada a exatamente um agente, considerando as capacidades de cada agente, segundo Chu [5]. Para resolver esse problema, algoritmos exatos e heurísticos foram propostos. Entre os métodos exatos, pode-se citar os trabalhos de Savelsbergh [12], que utiliza um algoritmo branch-and-price, e o de Nauss [10], que prevê o uso de um algoritmo branch-and-cut. Ceselli e Righini [4] e Avella et al. [2] também os utilizaram em seus trabalhos, porém, aplicados a uma variação do GAP, o *Multilevel Generalized Assignment Problem (MGAP)*, em que os agentes podem realizar tarefas segundo diferentes níveis de eficiência, os quais têm custos diferenciados.

Todavia, a maioria dos trabalhos na literatura para esse tipo de problema utiliza heurísticas e meta-heurísticas como método de solução. Tal fato se deve principalmente à complexidade do problema e à disponibilidade existente de recursos computacionais.

Díaz e Fernández [6] propõem a meta-heurística Busca Tabu para a resolução de problemas do tipo GAP. O algoritmo utiliza a memória para ajustar dinamicamente o peso da penalidade incorrida por violar a viabilidade. Os principais diferenciais desse algoritmo são a simplicidade e a flexibilidade, que fazem com que ele, quando comparado a outras heurísticas, obtenha soluções de qualidade em tempo computacional competitivo.

Yagiura et al. [18] também usam a Busca Tabu, com uma abordagem de cadeia de ejeção, que produz um conjunto restrito de movimentos, relacionados à construção da vizinhança a partir de uma solução inicial. O algoritmo usa um mecanismo para ajustar os parâmetros de pesquisa e manter um equilíbrio entre as visitas nas regiões viáveis e não-viáveis.

Tkatek et al. [14] estudaram um modo de otimizar a realocação de recursos humanos em uma organização com várias unidades de produção, geograficamente distribuídas considerando as características individuais delas. O estudo tem duas etapas: primeira, formular o problema, partindo do básico do GAP e adicionando outras restrições para caracterizá-lo; e segunda, resolvê-lo usando algoritmos genéticos.

Dörterler [7] propõe um Algoritmo Genético desenvolvendo crossover aplicado aos agentes, métodos de busca local e substituições baseadas na maturidade das

soluções. Esses métodos produzem uma diversidade de soluções, fazendo com que uma solução mais próxima da ótima seja obtida em um menor tempo de execução.

Wan et al. [16] desenvolveram um algoritmo híbrido a partir da combinação do Algoritmo do Morcego com a Relaxação Lagrangiana para resolver problemas do tipo GAP. Para isso, utilizaram a estrutura básica do Algoritmo do Morcego, redefinindo as fórmulas de velocidade, posição e atuação local e, então, combinaram com a Relaxação Lagrangiana.

Tkatek et al. [15] combinaram o Algoritmo Genético com o Simulated Annealing para otimizar a alocação de pessoal qualificado em postos de trabalho, segundo prioridades. A hibridização teve por objetivo reduzir o consumo de tempo computacional e, ao mesmo tempo, melhorar a taxa de convergência da solução.

Além disso, alguns trabalhos adotam uma abordagem multiobjetivo para o problema de alocação, considerando um balanceamento entre os objetivos, que muitas das vezes são conflitantes.

Tapkan et al. [13] utilizam os métodos de ordenação fuzzy dos valores da função objetivo com o algoritmo de Enxame de Abelhas para resolver um problema multiobjetivo para minimizar o custo total e o desequilíbrio entre as cargas de trabalho dos agentes.

Kaur et al.[8] analisaram o trade-off entre custo e tempo de execução para um projeto industrial e, para isso, propuseram um algoritmo iterativo que considera todas as combinações dos parâmetros a fim de determinar o conjunto de soluções eficientes de Pareto.

Wang et al. [17] exploraram a otimização multiobjetivo no contexto da arquitetura de redes, considerando a alocação de múltiplos usuários, tarefas e servidores, a fim de minimizar o tempo de resposta, o consumo de energia e o custo.

Zhang et al. [19] apresentam um modelo de otimização multiobjetivo aplicado a alocação de portões em aeroportos com os objetivos de minimizar conflitos de voos em tempo real, maximizar a taxa de utilização da ponte de embarque e minimizar o consumo de combustível pelo taxiamento de aeronaves.

Há inúmeras variações do problema original e dos métodos de solução. Apesar de nenhum deles tratar es-

pecificamente da questão da movimentação de militares, existem similaridades e lógicas de resolução que serviram de ponto de partida para o desenvolvimento dos modelos deste artigo.

3. Metodologia

Partiu-se da formulação básica do problema GAP e foram adicionadas restrições específicas do problema estudado, tal como fizeram Tkatek et al. [14]. O GAP, bastante abordado na literatura, trabalha apenas com duas restrições: uma que estipula que cada trabalhador só pode ser alocado em uma única tarefa e outra que limita que cada tarefa seja atribuída a um único trabalhador. Neste artigo, apenas a primeira restrição é mantida, ou seja, cada militar só pode ser alocado em uma única OM, porém não há impedimentos para que mais de um militar seja designado para uma mesma OM. Entretanto, apesar de ser omitida uma das restrições do problema padrão, foram inseridas restrições particulares do problema da movimentação dos militares, o que aumenta a sua complexidade. Com relação aos objetivos deste artigo, primeiramente deve ser priorizado o atendimento dos interesses das OM e, na sequência, o atendimento dos interesses dos militares.

Os militares, por meio do CAMEX, colocam em ordem de prioridade as guarnições nas quais desejam servir e a DCEM os aloca não nas guarnições, porém nas OM. As OM são os elementos dos conjuntos referentes às guarnições, conjuntos que geralmente são disjuntos, ou seja, não existe uma OM que pertença ao mesmo tempo a duas guarnições militares. As exceções, caso existam, são tratadas individualmente.

Tendo em vista essa diferença entre as opções de escolha dos militares (conjunto das guarnições militares) e as alocações a serem realizadas pela DCEM (conjunto das organizações militares), assumiram-se os seguintes pressupostos:

- a) Se um militar é voluntário para uma determinada guarnição militar, então ele é voluntário para todas as OM da guarnição;
- b) Se um militar tem determinada ordem de prioridade para uma guarnição militar, então essa ordem de prioridade será transferida para

todas as OM da guarnição.

Para analisar esses objetivos separadamente e em conjunto, foram propostos três modelos matemáticos: dois mono-objetivos e um multiobjetivo. O primeiro é um modelo de programação não-linear inteira que busca atender os interesses das organizações militares e é representado pelas **equações 1 e 3 a 9** (Min Placar). O segundo modelo, de programação linear inteira, busca atender os interesses dos militares e é representado pelas **equações 2 a 9** (Max Pontos). O terceiro modelo busca atender simultaneamente ambos os objetivos 1 e 2, porém o objetivo 1 foi substituído por uma linearização exata, sendo representado pelas **equações 3 a 12** (Multi). Todos os modelos foram resolvidos de forma exata.

Nesses modelos propostos, M representa o conjunto de i militares, G representa o conjunto das j guarnições e O representa o conjunto das k organizações militares. Os parâmetros utilizados são: α_i recebe o valor 1 para indicar se o militar i está ativo para movimentação e 0, caso contrário, quando estiver bloqueado; g_i é a pontuação do militar i, calculada pela DCEM, considerando o histórico do militar, incluindo avaliações e condecorações; c_{ij} é a classificação em ordem de prioridade da guarnição j para o militar i; v_{ij} recebe o valor 1 para indicar que o militar i é voluntário para a guarnição j e 0, caso contrário; P_{\max} é a cardinalidade do conjunto G, das guarnições militares; P_k é o placar inicial da OM k, que indica quantos militares uma OM precisa ganhar ou perder a fim de cumprir o previsto para cada cargo ou função: por exemplo, uma OM com placar -2 precisa perder 2 militares, uma OM com placar 1 precisa ganhar 1 militar e uma OM com placar 0 não precisa perder nem ganhar militares, estando seu efetivo de acordo com o previsto; O_{ik} recebe o valor 1 se a OM k é de origem (atual) do militar i e 0, caso contrário; s_{jk} recebe o valor 1 se a OM k é subordinada à guarnição j e 0, caso contrário; x_{ik} as variáveis de decisão recebem o valor 1 quando o militar i é movimentado para a OM k e 0, caso contrário; as variáveis de decisão m_i recebem o valor 1 se o militar i é movimentado e 0, caso contrário; as variáveis de decisão q_k representam o placar final da OM k.

$$\text{Minimizar } z = \sum_{k \in O} q_k^2 \quad (1)$$

$$\text{Maximizar } z = \sum_{i \in M} \sum_{k \in O} x_{ik} \times g_i \times \left(\quad \right) \quad (2)$$

sujeito a

$$m_i = \sum_{k \in O} x_{ik} \quad \forall i \in M \quad (3)$$

$$q_k = p_k - \sum_{i \in M} x_{ik} + \sum_{i \in M} o_{ik} \times m_i \quad \forall \quad (4)$$

$$\sum_{k \in O} x_{ik} \leq 1 \quad \forall i \in M \quad (5)$$

$$x_{ik} \leq \sum_{i \in G} v_{ij} \times s_{jk} \quad \forall i \in M, k \in O \quad (6)$$

$$x_{ik} \leq \alpha_i \quad \forall i \in M, k \in O \quad (7)$$

$$x_{ik}, m_i \in \{0,1\} \quad \forall i \in M, k \in O \quad (8)$$

$$q_k \in Z \quad \forall k \in O \quad (9)$$

$$\text{lexmin} \left(q_k^+ + q_k^-, - \sum_{i \in M} \sum_{k \in O} x_{ik} \times \quad \right) \quad (10)$$

$$q_k = q_k^+ - q_k^- \quad (11)$$

$$q_k^+, q_k^- \in Z^+ \quad \forall k \in O \quad (12)$$

A função objetivo 1, voltada aos interesses das organizações militares, busca minimizar o quadrado dos placares das OM após as movimentações.

A função objetivo 2 busca maximizar o atendimento aos militares, ou seja, movimentar os militares com maior pontuação, alocando-os em organizações militares que estejam nas primeiras posições segundo as prioridades de cada militar.

Esse problema está sujeito às seguintes restrições: (3) definem se o militar i é movimentado ou não; (4) definem o valor do placar para cada OM; (5)

garantem que nenhum militar seja designado para mais de uma OM; (6) garantem que um militar apenas seja designado para uma OM para a qual seja voluntário; (7) garantem que nenhum militar bloqueado para movimentação seja movimentado; e (8) e (9) definem o domínio das variáveis de decisão.

Com relação ao modelo multiobjetivo, foram realizadas as seguintes adaptações. A função objetivo (1) foi substituída pela **equação 10**, buscando transformar o modelo em linear. A função quadrática foi substituída pela função módulo, a qual foi linearizada utilizando uma aproximação exata. Para isso, foram definidas as variáveis de decisão q_k^+ e q_k^- para representar as parcelas positiva e negativa das variáveis de decisão q_k , conforme apresentada nas **equações 10 à 12**.

Na função multiobjetivo (10), utilizou-se a ordem lexicográfica, a qual consiste em priorizar os objetivos segundo a ordem na qual estão dispostos, neste caso: primeiro, o atendimento às organizações militares; e, segundo, os interesses dos militares.

4. Estudo de caso

O Exército Brasileiro tem um efetivo aproximado de 60 mil militares de carreira, agrupados em cerca de 900 universos, concorrendo a vagas em quase 1.000 organizações militares, distribuídas pelo Brasil e pelo exterior. Para fins administrativos, os militares são divididos em universos segundo o posto ou a graduação e mais a tabela, a arma ou o serviço; por exemplo, o universo de capitães do serviço de saúde.

Os modelos matemáticos descritos na seção 3 foram aplicados ao universo dos tenentes da arma de Infantaria para o ano de planejamento de 2021, composto por 277 oficiais, 374 guarnições e 912 OM. Com relação ao universo de militares, objeto deste estudo, foram fornecidos os seguintes dados: número identificador do militar; código da OM de origem do militar; código da guarnição de origem do militar; tipo da guarnição de origem do militar (especial:1, comum:0); código da guarnição de opção do militar; tipo da guarnição de opção do militar (especial:1, comum:0); ordem da guarnição de opção do militar (CAMEx); se o militar é voluntário para a guarnição de opção (voluntário:1, não-voluntário:0); pon-

tuação do militar; e estado do militar para movimentação (bloqueado ou ativo).

Complementando essas informações, foram fornecidos também dados referentes às OM e às guarnições envolvidas. São eles: estado da OM; tipo de localidade da OM (A, B, COMUM); código da OM; código da guarnição da OM; nome da OM; e saldo da OM (ação sugerida).

O presente estudo, utilizou um banco de dados descaracterizado, previamente tratado de forma a preservar a confidencialidade das informações dos militares.

Foi utilizado o software de AIMMS em um sistema operacional Windows 64-bits, com processador Core i7 e processador de 8GB de memória RAM. Os resultados obtidos para cada função objetivo serão apresentados a seguir.

Primeiramente, processou-se o mesmo modelo, aplicando a função objetivo de atendimento às OM, **equação 1**. Foram criadas 253.815 variáveis, sendo 252.901 inteiras, para a resolução do problema. A solução ótima foi obtida em 195,61 segundos, utilizando 688,5 Mb de memória.

De um total de 912 OM, 798 estavam com placar igual a zero e o valor da função objetivo era 343. Após realizar a otimização, 808 OM ficaram com placar igual a zero, apresentando um acréscimo de 10 OM. O valor da função objetivo foi 205, apresentando um decréscimo de 40,23%.

Em seguida, o modelo mono-objetivo foi processado para a função objetivo de atendimento aos militares, **equação 2**. Foram criadas 253.815 variáveis, sendo 252.901 inteiras, e a solução ótima foi obtida em 13,47 segundos, utilizando 706,3 Mb de memória.

Dos 277 militares do universo, com 7 bloqueados para movimentação, aproximadamente 45% dos militares foram movimentados. Desses 125 militares movimentados, todos foram atendidos em suas primeiras opções. Com relação à situação dos militares após as movimentações, obteve-se que todos os militares (movimentados ou não) foram classificados nas guarnições militares que correspondiam à primeira opção, com exceção de quatro deles, não movimentados porque estavam bloqueados.

Posteriormente, aplicou-se o modelo multiobjetivo, **equação 10**. Foram criadas 255.639 variáveis, sendo 252.901 inteiras, e a solução ótima foi obtida em 4,31 segundos, utilizando 510,6 Mb de memória.

5. Análise e Discussão dos Resultados

Para a otimização segundo a função objetivo (1), os critérios utilizados, para comparação da solução obtida com a fornecida do SADMov, foram o número de militares movimentados, a quantidade de OM com placar final igual a zero e o valor da função objetivo. Os valores encontram-se apresentados na **tabela 1**.

Tab. 1 - Comparação dos resultados visando o atendimento às OM

Resultado	Min Placar	SADMov
Número de militares movimentados	49	46
Número de OM com placar zero	808	776
Valor da função objetivo	205	269

Verificou-se o ganho do modelo proposto tanto em termos de quantidade de militares movimentados, bem como de OM com placar zero. Além disso, o valor da função objetivo (de minimização) diminuiu, aproximadamente, 24%.

Considerando, por sua vez, a otimização segundo a função objetivo (2), os critérios utilizados, para comparação da solução obtida com a fornecida do SADMov, foram o número de militares movimentados, o número de militares movimentados na primeira opção e o valor da função objetivo, tanto do modelo proposto quanto do SADMov, conforme **tabela 2**.

Tab. 2 - Comparação dos resultados visando o atendimento aos militares

Resultado	Max Pontos	SADMov
Número de militares movimentados	125	46

Número de militares movimentados na primeira opção	125	22
Valor da função objetivo	576.418	235.639

Verificou-se o ganho do modelo proposto tanto em termos de quantidade de militares movimentados, bem como da parcela atendida na primeira opção. Além disso, o valor da função objetivo (de maximização) aumentou, aproximadamente, 145%.

A otimização multiobjetivo apresentou resultados mais equilibrados em relação aos dois objetivos do que os valores de cada otimização separadamente. Além disso, quando comparada à solução fornecida do SADMov, é possível perceber que a otimização multiobjetivo proposta neste artigo superou-a em todos os critérios adotados para comparação, conforme **tabela 3**.

Tab. 3 - Comparação dos resultados otimização multiobjetivo com SADMov

Resultado	Multi	SADMov
Número OM com placar zero	845	776
Valor da Função Objetivo Eq. (10) - Atendimento às OM	115	173
Número de Militares Movimentados	115	46
Número de Militares Movimentados na 1ª opção	37	22
Valor da Função Objetivo FO Eq. (2) - Atendimento aos militares	-520.473	-235.639

Verificou-se o ganho do modelo proposto tanto no atendimento às OM quanto no atendimento aos militares. Houve um aumento considerável na quantidade de OM com placar zero, na quantidade de militares movimentados, bem como da parcela atendida na primeira opção. Além disso, houve uma melhoria nas funções objetivo. O

valor da função objetivo de atendimento às OM diminuiu, aproximadamente, 34%; e a de atendimento aos militares diminuiu cerca de 121%.

Finalmente, foi realizada uma análise de sensibilidade considerando o modelo multiobjetivo. A análise foi voltada para a questão do bloqueio de alguns militares para a movimentação. Sendo assim, considerou-se três cenários, além do considerado anteriormente. No primeiro cenário, nenhum militar está bloqueado para movimentação, todos estão ativos; no segundo cenário, os militares cuja OM atual é do tipo A ou B estão ativos (70 militares) e os militares de OM do tipo comum (270 militares) estão bloqueados; e no terceiro, apenas os militares de OM do tipo comum estão ativos para movimentação. A **tabela 4** apresenta os resultados obtidos na otimização para cada cenário.

Tab. 4 - Comparação dos resultados otimização multi-objetivo para os cenários

Resultado	Cenário 1	Cenário 2	Cenário 3
Número OM com placar zero	845	810	829
Valor da Função Objetivo Eq. (10) - Atendimento às OM	123	151	163
Número de Militares Movimentados	129	36	93
Número de Militares Movimentados na 1ª opção	63	23	55
Valor da Função Objetivo FO Eq. (2) - Atendimento aos militares	-598.664	-151.781	-449.224

A partir da **tabela 4**, percebe-se que o Cenário 1 apresenta os melhores valores para ambas as funções objetivo. Isso pode ser explicado pelo maior número de militares

passíveis de serem movimentados nesse cenário, o que confere uma maior flexibilidade ao modelo. Observa-se, ainda, que o cenário 2, mais restritivo com relação às movimentações, com cerca de 97% dos militares bloqueados, é o que apresenta o pior valor para a função objetivo de atendimento aos militares. Fica evidente, por meio das **tabelas 3 e 4**, que essa função objetiva é beneficiada pelo aumento do número de militares ativos para movimentação. O mesmo, todavia, não pode ser afirmado com relação ao atendimento às OMs. Apesar da otimização multiobjetivo ter retornado uma solução melhor para o cenário 1 (**tabela 4**), em comparação com o apresentado na **tabela 3**, em termos de atendimento aos militares, a função objetivo de atendimento às OMs sofreu uma ligeira piora no cenário 1.

6. Conclusões

A movimentação anual dos militares do Exército Brasileiro é uma atividade voltada para atender, da melhor maneira possível, às necessidades da Força e aos interesses dos militares, realizada com o apoio do sistema SADMov, baseado em um algoritmo heurístico construtivo.

Este artigo apresentou três novos modelos matemáticos com os objetivos de atender aos militares e à Força, utilizado para um universo reduzido de 277 tenentes de Infantaria, os quais retornaram resultados que evidenciaram a adequação deles ao proposto. Embora processado com uma amostra reduzida de oficiais, essa é representativa do efetivo de carreira do Exército, porque todos os postos e graduações podem ser movimentados de acordo com os pressupostos assumidos pelos modelos deste artigo.

Tanto no que se refere ao atendimento aos militares quanto às OM, todos os modelos apresentaram ganhos com relação à quantidade de militares movimentados, número de militares atendidos na primeira opção, número de OM com placares zerados e redução nos valores absolutos dos placares. Cabe ao decisor, então, selecionar o modelo que mais se adequa, considerando sua preferência, seja de otimização multiobjetivo ou mono-objetivo. Além disso, a análise de sensibilidade realizada neste estudo permite auxiliar nas decisões referentes ao bloqueio de militares para movimentação, indicando os efeitos destas nas soluções.

Apesar da aplicação ser voltada para a área militar, esses modelos podem, feitas algumas modificações com o intuito de adequá-los ao novo universo de estudo, ser aplicado, inclusive, em instituições civis, como, por exemplo, bancos, multinacionais etc., uma vez que ferramentas que auxiliem na gestão de recursos humanos, propiciando uma melhor utilização da força de trabalho alinhada com os objetivos organizacionais são de interesse de qualquer organização.

Para estudos futuros, sugere-se abordar a questão

da preterição, evitada ao máximo pela DCEM nas movimentações. Preterição ocorre quando um militar pior classificado é designado para uma guarnição que era uma opção prioritária para um militar mais bem classificado. Também sugere-se definir pesos para o atendimento aos militares e às OM, unificando as funções objetivos pelo método das somas ponderadas, de forma a comparar com os resultados da otimização multiobjetivo realizada neste artigo e com o que a DCEM acredita ser o mais vantajoso para o Exército.

Referências

- [1] AGITEC. Informativo da Propriedade Intelectual 01-2021. 2021. Disponível em: <<http://www.agitec.eb.mil.br/publicacoes/212-informativo-da-agitec-n-01-2021>>. Acessado em 30 ago. 2021.
- [2] Avella, Pasquale; Boccia, Maurizio; Vasilyev, Igor. A branch-and-cut algorithm for the multilevel generalized assignment problem. *IEEE Access*, v. 1, p. 475-479, 2013.
- [3] BRASIL. Decreto nº 2.040, de 21 de outubro de 1996. Aprova o Regulamento de Movimentação para Oficiais e Praças do Exército (R-50). Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1996/d2040.htm>. Acessado em 30 ago. 2021.
- [4] Ceselli, Alberto; Righini, Giovanni. A branch-and-price algorithm for the multilevel generalized assignment problem. *Operations research*, v. 54, n. 6, p. 1172-1184, 2006.
- [5] Chu, Paul C.; Beasley, John E. A genetic algorithm for the generalized assignment problem. *Computers & Operations Research*, v. 24, n. 1, p. 17-23, 1997.
- [6] Diaz, Juan A.; Fernández, Elena. A tabu search heuristic for the generalized assignment problem. *European Journal of Operational Research*, v. 132, n. 1, p. 22-38, 2001.
- [7] Dörterler, Murat. A new genetic algorithm with agent-based crossover for the generalized assignment problem. *Information Technology and Control*, v. 48, n. 3, 2019.
- [8] Kaur, Prabhjot; Dahiya, Kalpana; Verma, Vanita. Time-cost trade-off analysis of a priority based assignment problem. *OPSEARCH*, v. 58, n. 2, p. 448-482, 2021.
- [9] Kuhn, Harold W. The Hungarian method for the assignment problem. *Naval research logistics quarterly*, v. 2, n. 1-2, p. 83-97, 1955.
- [10] Nauss, Robert M. Solving the generalized assignment problem: An optimizing and heuristic approach. *INFORMS Journal on Computing*, v. 15, n. 3, p. 249-266, 2003.
- [11] Pentico, David W. Assignment problems: A golden anniversary survey. *European Journal of Operational Research*, v. 176, n. 2, p. 774-793, 2007.
- [12] Savelsbergh, Martin. A branch-and-price algorithm for the generalized assignment problem. *Operations research*, v. 45, n. 6, p. 831-841, 1997.
- [13] Tapkan, Pınar; Özbakir, Lale; Baykasoğlu, Adil. Solving fuzzy multiple objective generalized assignment problems directly via bees algorithm and fuzzy ranking. *Expert systems with applications*, v. 40, n. 3, p. 892-898, 2013.
- [14] Tkatek, Said; Abdoun, Otman; Abouchabaka, Jaafar; Rafalia, Najat. An optimizing approach for multi constraints reassignment problem of human resources. *International Journal of Electrical and Computer Engineering (IJECE)*, v. 6, n. 4, p. 1907-1919, 2016.
- [15] Tkatek, Saiid; Abdoun, Otman; Abouchabaka, Jaafar; Rafalia, Najat. A hybrid genetic algorithms and sequential simulated annealing for a constrained personal reassignment problem to preferred posts. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, v. 9, n. 1, p. 454-464, 2020.
- [16] Wan, Xiaoqiong; Zhang, Huizhen; Zhao, Yuping. Lagrangian bat algorithm for solving generalized assignment problems. *Journal of University of Shanghai for Science and Technology*, v. 41, p. 167-173, 2019.
- [17] Wang, Peng; Li, Kenli; Xiao, Bin; Li, Keqin. Multi-objective optimization for joint task offloading, power assignment, and resource allocation in mobile edge computing. *IEEE Internet of Things Journal*, 2021.
- [18] Yagiura, Mutsunori; Ibaraki, Toshihide; Glover, Fred. An ejection chain approach for the generalized assignment problem. *Journal on computing*, v. 16, n. 2, p. 133-151, 2004.
- [19] Zhang, Yu; He, Qing; Yang, Liu; Liu, Chenghan; An Improved Tunicate Swarm Algorithm for Solving the MultiObjective Optimisation Problem of Airport Gate Assignments. *Applied Sciences*, v. 12, n. 16, p. 8203, 2022.