

**PESQUISA OPERACIONAL EM APOIO A SISTEMAS DE
INTELIGÊNCIA, RECONHECIMENTO, VIGILÂNCIA E
AQUISIÇÃO DE ALVOS (SIRVAA) E SUA
INSTITUCIONALIZAÇÃO NO ÂMBITO DA DEFESA**

FLÁVIO CÉSAR DE SIQUEIRA MARQUES¹ (Escola de Comando e Estado-Maior do
Exército, Rio de Janeiro, Brasil)

¹ O autor é major do Exército Brasileiro, aluno do Curso de Comando e Estado-Maior do Exército e doutorando pelo Instituto Meira Matos, da Escola de Comando e Estado-Maior do Exército.

RESUMO

O presente artigo sugere aplicações de Pesquisa Operacional (PO), voltadas ao planejamento, implantação e operação de Sistemas de Inteligência, Reconhecimento, Vigilância e Aquisição de Alvos (SIRVAA), bem como verificar o estágio da institucionalização dessa disciplina no âmbito da Defesa. Com base em pesquisa bibliográfica e documental, este artigo teve como objetivos propostos verificar a aplicabilidade das ferramentas de PO nos SIRVAA e identificar o estágio atual de sua institucionalização. A base de pesquisa foi constituída de bibliografia especializada sobre as disciplinas formais envolvidas, além de documentos publicados dos governos brasileiro e norte-americano. A conclusão do trabalho aponta para oportunidades de melhoria na institucionalização, que poderia resultar em maior efetividade na aplicação de recursos em Defesa.

Palavras-chave: Pesquisa Operacional, Fusão de Dados, Institucionalização, Inteligência, Reconhecimento, Vigilância e Aquisição de Alvos

ABSTRACT

This paper suggests applications of Operations Research (OR), focused on the planning, implementation and operation of Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance (ISTAR) Systems, as well as check the status of the institutionalization of this discipline within Brazilian Defense. Based on bibliographic and documental research, this paper aimed to verify the applicability of the proposed OR tools in ISTAR Systems and identify the current stage of its institutionalization. The research base was composed of specialized bibliography on the formal disciplines involved, and published documents of the governments of Brazil and the United States. The conclusion of the study points to improvement opportunities in institutionalization, which could result in greater effectiveness in the use of resources in defense.

Keywords: Operations Research, Data fusion, Institutionalization, Intelligence, Surveillance, Target Acquisition and Reconnaissance

1. RELEVÂNCIA

As bases matemáticas e científicas dos modelos lineares surgiram nos séculos XVII e XVIII, mas foi no século XX que os conceitos necessários foram agrupados, para lidar com a crescente expansão fabril e com a ampliação da modelagem econômica do início desse século, em meio ao fordismo e outras nuances da industrialização.

Para fazer frente à imensa demanda por planejamentos militares, a partir do período entreguerras e da 2ª Guerra Mundial, parte dessa base científica foi incorporada às pesquisas nas forças armadas sob a disciplina Pesquisa Operacional (PO). Os problemas militares eram diversos, passando da localização e concentração de meios e equipamentos militares, como radares, navios, submarinos, até os problemas logísticos decorrentes.

Segundo COLIN[2], no ano de 1947, foi dado um grande salto na teoria da Pesquisa Operacional, com a criação do Algoritmo Simplex, por George B. Danzig. O autor ressalta que o grande destaque desse advento vem de sua simplicidade, rapidez e precisão, de tal forma que a próxima grande inovação paradigmática na PO veio a ocorrer apenas em 1979, com o desenvolvimento dos Algoritmos de Tempo Polinomial, aprimorando os resultados do Simplex.

No decorrer dos anos subsequentes, a limitação computacional, um dos principais problemas dos tempos iniciais das pesquisas, deixou de ser limitador. Como afirmou GASS[3], *o computador digital, criado em 1946, foi fundamental para a expansão da*

pesquisa operacional nas décadas de 1940 e 1950.

Atualmente, a PO é ferramenta importante para resolver problemas de programação linear e conduzir tomadas de decisão sobre diversos assuntos, incluindo compras, estratégia, finanças, logística, marketing e outros [2].

Desafios como o dimensionamento de investimentos em Sistemas de Inteligência, Reconhecimento, Vigilância e Aquisição de Alvos (SIRVAA) podem ser abordados por mecanismos dessa disciplina, contribuindo para reduzir os riscos desde os processos de aquisição até o final da vida útil dos equipamentos.

Como foi constatado pela comissão norte-americana que elaborou relatório[4] sobre a utilização da PO no Departamento de Defesa dos EUA, fica claro que o alto custo dos SIRVAA e sua longa vida útil exigem um planejamento detalhado de seu uso, contemplando ameaças de amplo espectro ou possíveis empregos futuros, minimizando riscos e aumentando o retorno do investimento.

O relatório[4] levantou outro importante aspecto da complexidade da operacionalização de um SIRVAA, que é o não-raro caráter interagência. Essa modalidade agrega o fator político ao emprego do sistema, muitas vezes em detrimento de decisões técnicas. Uma dosagem entre esses fatores garantirá a obtenção de resultados que sejam úteis aos diversos atores, e essa variável pode também receber contribuições da PO.

Por fim, esse documento[4] descreveu a dificuldade em medir de forma objetiva o valor das informações produzidas por um SIRVAA. Geralmente, usa-se a satisfação do usuário como variável, mas a inserção de fatores culturais e organizacionais pode contribuir para estender o problema de modelagem a níveis de difícil solução.

Pelo exposto, pode-se verificar que o tema da Pesquisa Operacional continua atual e sua utilização nos SIRVAA pode conferir melhores resultados finais, especialmente em ambientes de crescente dinâmica. O presente artigo discorrerá sobre aplicações de PO, voltadas aos SIRVAA, investigando a adequabilidade desta disciplina no planejamento, implantação e operação desses sistemas.

2. APLICAÇÕES DE PESQUISA OPERACIONAL EM SISTEMAS DE INTELIGÊNCIA, RECONHECIMENTO, VIGILÂNCIA E AQUISIÇÃO DE ALVOS (IRVAA)

A incorporação da Pesquisa Operacional (PO) nos projetos militares teve como objetivo introduzir os conceitos matemáticos de programação linear, inteira, dinâmica e outros desenvolvimentos na arte da guerra. O principal objetivo era o auxílio na tomada de decisão, cujo processo pode ser dividido entre a formulação dos objetivos, avaliação da limitação do ambiente e das linhas de ação até a escolha daquela que produzirá um resultado otimizado, segundo SHAH[8].

Nesse contexto, aumentou a importância do estabelecimento de critérios para a correta modelagem dos problemas, com vistas a aplicar corretamente a teoria da PO. A construção desse modelo, segundo MURTHY[7], deve ser flexível, com apenas os parâmetros necessários e incluir seus limites marginais.

No campo dos SIRVAA, a modelagem empregando técnicas de PO consolidou-se como meio de apoio às aquisições e outras áreas do planejamento e operação dos sistemas, reduzindo as incertezas em projetos com investimentos elevados e duvidosa eficácia operacional. Segundo JONES et al[5] a abordagem preditiva foi extensamente explorada por sistemas de modelagem e simulação, que podem antever problemas, propor soluções e

otimizações de sensores, processadores e atuadores.

A seguir, serão analisadas algumas aplicações de pesquisa operacional, segundo as propostas de COLIN[2], que possam apoiar as diversas atividades que envolvem o ciclo de vida de um SIRVAA. O objetivo desta seção será descrever o problema e ligá-lo com conceito apropriado de PO, sem a preocupação da sua completa formulação matemática.

2.1. ALGORITMO SIMPLEX

Esse algoritmo foi criado por Danzig, com o objetivo de resolver, manualmente, problemas de Programação Linear, numa época na qual não eram empregados recursos computacionais.

Segundo COLIN[2], a resolução desses problemas, atualmente, é implementada em softwares matemáticos com o uso de matrizes e vetores, que otimiza o poder de processamento computacional. O autor chama a atenção para a existência de outras abordagens mais eficientes computacionalmente, para problemas específicos, como fluxos em redes, transporte, etc.

A grande vantagem do algoritmo, que justifica sua utilização até os dias atuais, é a simplicidade e a conveniência de alcançar a otimização dos resultados com um número reduzido de iterações, mesmo em problemas complexos com numerosas possibilidades de soluções.

2.2. AQUISIÇÕES

Os processos governamentais brasileiros para a aquisição de equipamentos de tecnologia da informação, conforme a INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 04/2010[1], envolvem o Planejamento da Contratação, a Seleção do Fornecedor e o Gerenciamento do Contrato.

É na fase de planejamento que o Projeto Básico do objeto da aquisição, por exemplo um SIRVAA, é elaborado, com o objetivo de delimitar e especificar o objeto do contrato a ser gerido.

A seguir, serão expostas algumas possíveis contribuições da PO para o processo de aquisição desses sistemas.

2.2.1. Programação de Metas

Durante a aquisição de um SIRVAA, vários objetivos e metas são estabelecidos, muitas vezes conflitantes entre si. Por exemplo: Como projetar um sistema para que seja empregado o menor valor custeio possível (manutenção preventiva, corretiva, funcionamento, etc) e, ao mesmo tempo, que produza a maior quantidade de informações sobre os possíveis oponentes.

Como esse problema não pode ser modelado por uma única função-objetivo², a abordagem a esse problema deve obter a solução que menos diverge de todas elas.

² Segundo COLIN (2007), função-objetivo é uma função matemática que representa o principal objetivo do tomador de decisão, podendo ser de minimização ou de maximização.

Para aprimorar o modelo, a inclusão de prioridades para as metas a serem atingidas (*preemptive goal programming*³) garante melhores resultados. Assim, o processo iterativo de obtenção de todas as soluções segue a lista de prioridades, garantindo um resultado ponderado.

2.2.2. Dosagem de atuadores

Levando-se em conta que um SIRVAA busca minimizar os investimentos em custeio, com o mínimo reflexo para a operacionalidade, a dosagem de atuadores pode ser elemento chave na consecução dessa meta.

Com uma função-objetivo de minimizar os investimentos em custeio, considerando uma determinada área de eficácia de um atuador e uma restrição temporal na qual o atuador deve fazer frente a uma ameaça detectada, como um compromisso de qualidade frente à ameaça.

A solução desse problema pode ser atingida pelo emprego de função-objetivo com restrição não-linear⁴, resultando no menor número possível de atuadores para atender a área do SIRVAA com um nível de qualidade especificado.

2.3. ESTRATÉGIA

A estratégia é campo de estudo que possui as mais fortes características de apoio à tomada de decisão. Segundo COLIN[2], nessa disciplina várias aplicações de decisão podem ser enquadradas, como a decisão de comprar ou produzir componentes em uma fábrica ou a localização de um novo armazém de uma empresa⁵.

O caso dos SIRVAA, as estratégias para a tomada de decisão poderão ser avaliadas, conforme os exemplos a seguir.

2.3.1. Decisão sobre adestramento de operadores de SIRVAA (Problema da Mochila)

Dada a relativa rotatividade do pessoal empregado na operação de um SIRVAA, a atividade de preparo dos talentos humanos é de vital importância para a manutenção do nível de operacionalidade do sistema. Todavia, os recursos financeiros disponíveis são finitos e, normalmente, inferiores à necessidade de treinamento de todo o pessoal envolvido.

Essa situação pode ser modelada pelo problema clássico da mochila 0-1 multidimensional, no qual um viajante deve decidir sobre os itens a serem carregados, dada uma capacidade de peso determinada. O autor chama a atenção de que o termo multidimensional refere-se à possibilidade de ocorrência de várias restrições.

Esse problema típico pode ser empregado em diversas outras situações, envolvendo necessidades superiores à disponibilidade de recursos.

³ Segundo COLIN (2007), consiste em atender à meta de maior prioridade, sempre que possível, de depois atender àquelas de menor prioridade, na sequência decrescente do nível de prioridade.

⁴ COLIN (2007) afirma que uma restrição não-linear é aquela que pode ser modelada por uma função, cuja solução é atingida com o emprego de cálculo diferencial ou integral. Ou seja, basta uma multiplicação entre duas variáveis quaisquer para ser constatada a não-linearidade.

⁵ Ver COLIN (2007), capítulos 14 e 16.

2.3.2. Decisão sobre a expansão da Rede de Sensores

É bastante plausível a suposição de que um dado SIRVAA não tenha a capacidade de garantir o mesmo nível de vigilância em toda a sua área de atuação. Assim, no decorrer do período operacional do sistema, é comum a ampliação da rede de sensores, quer pela ocorrência de novas necessidades, quer pelo avanço tecnológico.

Essa expansão pode ser quantificada, por meio da escolha de várias posições para a implantação dos sensores, descrevendo os respectivos custos de construção e logística decorrentes.

O problema pode ser modelado com base no Problema de Cobertura (ou de Localização da Fábrica), no qual os locais potenciais para a construção de uma nova planta são avaliados e orçados com vistas a executar o projeto que atenda os *clientes* a um custo mínimo.

2.4. LOGÍSTICA

As aplicações de logística são as tradicionais, no campo da Pesquisa Operacional (PO). Esse emprego sugere a imediata ideia de maximização do apoio e minimização dos custos, com o objetivo de busca constante da otimização no processo.

A logística de um SIRVAA pode encarecer sobremaneira o custeio do sistema e, muitas vezes, comprometer sua operacionalidade. Além disso, o desperdício de recursos escassos pode reduzir ainda mais a eficácia do sistema.

A seguir, serão mostradas exemplos de aplicações logísticas que podem ser equacionadas por meio do emprego da PO como ferramenta de otimização de resultados.

2.4.1. Rota com mínima distância

Esse é outro problema típico, tanto do ponto de vista matemático, quanto da vida real das pessoas. Em um SIRVAA, sua formulação pode ser empregada para um atuador se contrapor a uma ameaça, para o planejamento de rota de um veículo aéreo não-tripulado, para a execução da logística, entre outros. Qualquer que seja a utilização, a mínima distância será sempre uma informação de grande valia no planejamento das ações de IRVAA.

A abordagem mais aceita para esse problema é a utilização de modelos de rede. Esses modelos são de fácil modelagem computacional e propiciam soluções a diversos problemas reais, segundo COLIN[2].

Nessa esteira, o autor generaliza várias aplicações para o fluxo em rede com custo mínimo, nas quais as restrições serão estabelecidas, conforme a natureza do problema específico de rede, adequando os conceitos do mundo real para a PO.

2.4.2. Interligação de sensores, processadores e atuadores

A base de um SIRVAA é uma rede de comunicações ágil e segura, sobre a qual possam ser transportadas as inúmeras informações que circulam entre sensores, processadores e atuadores. Do ponto de vista de economia de recursos, sempre será interesse interligar um número fixo de pontos com custo mínimo.

O autor indica que o algoritmo de Árvores Geradoras Mínimas (AGM) pode ser utilizado nesse tipo de problema com sucesso. Esse algoritmo utiliza a distância como fator de custo, mas o quesito pode até mesmo ser alterado para um dado mais preciso de custo,

envolvendo taxa de ocupação do canal, compartilhamento, etc.

O caráter iterativo do algoritmo permite sua modelagem computacional e sua utilização pode ser efetuada também em uma futura expansão da rede de comunicações.

2.4.3. Definição da rotina de manutenção

Sempre que há um conjunto de tarefas a serem executadas em locais espalhados por uma área, existe a necessidade de encadear um roteiro de visitas para o cumprimento de todo o trabalho. Com igual importância, cada tarefa a ser executada pode exigir um profissional com diferentes habilidade e formação profissional.

Nos SIRVAA, essa realidade é comum na manutenção dos diversos equipamentos que integram os sensores, os processadores e apóiam os atuadores.

A definição dessa atividade de manutenção é bem modelada pelo problema de atribuição com variáveis inteiras, no qual as pessoas da equipe de manutenção são distribuídas pelas diversas tarefas preventivas ou corretivas, de modo a cumprir todas as tarefas com custo mínimo.

Para responder aos aspectos da especialização do pessoal, restrições podem ser implementadas ao modelo, garantindo o profissional correto na tarefa necessária.

2.5. FUSÃO DE DADOS

A disciplina de fusão de dados, apesar de ser estudada há um bom tempo, carece de pesquisa em diversas etapas do processo. Nessas últimas duas décadas, empresas, acadêmicos e governos uniram-se em um debate que, originalmente centrado em autores americanos, ganham novas vozes em outros continentes.

Apesar da alegada (*con*)*fusão de terminologia*, descrita por LIGGINS[6], a teoria sobre fusão de dados está sendo construída e aceita por cada vez mais pesquisadores, como é o caso do modelo JDL (*Joint Directors of Laboratories*), apresentado pelo autor. Esse modelo divide a disciplina em diversos níveis de fusão, desde a obtenção dos dados, até a disponibilização para o usuário final.

Em cada um desses níveis, a Pesquisa Operacional (PO) pode ser empregada para o tratamento dos dados do estágio inferior e subsequente disponibilização do resultado ao subsequente. A seguir, algumas aplicações de PO para fusão de dados serão descritas.

2.5.1. Correlação de dados

Segundo LIGGINS et al[6], a correlação de dados (*data correlation*) é uma das partes integrantes de um nó, inserido em uma árvore de fusão de dados. O objetivo final da correlação de dados é associar os dados aos objetos, provendo informações fusionadas ao usuário ou a outro nó de fusão de nível superior.

A Figura 1 apresenta uma visão esquemática das atividades que ocorrem em um nó, destacando as atividades de correlação de dados ligadas à geração, avaliação e seleção de hipóteses.

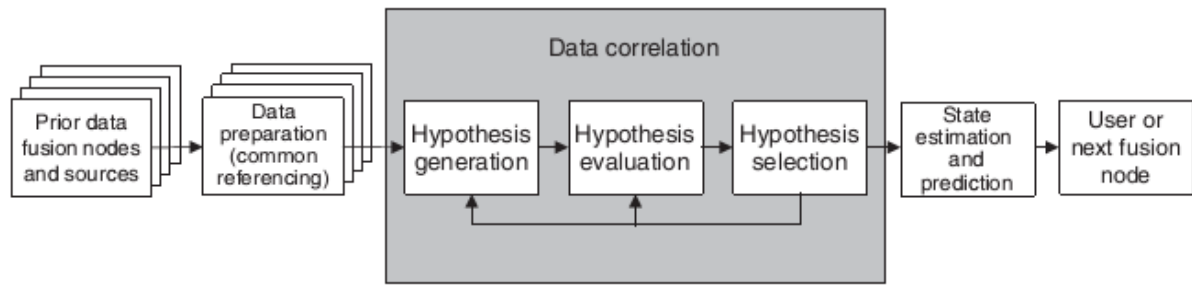


Figura 1 - Nó de uma árvore de fusão de dados

Fonte: LIGGINS et al[6]

No último estágio da correlação ocorre a seleção das hipóteses levantadas com base nos dados recebidos. Os autores indicam que essa tarefa utiliza comumente algoritmos de Pesquisa Operacional (PO), para obter uma alocação ótima de observações das hipóteses, para a decisão por uma delas.

A ressalva feita pelos autores sobre a abordagem da programação linear (PL) dá conta que, no caso de problemas muito complexos ou com dados muito volumosos, os algoritmos de PL podem não atender aos requisitos de cálculo computacional. Nesses casos, as abordagens heurísticas podem abordar o problema com resultados práticos dentro dos padrões de desempenho demandados.

2.5.2. Medida de efetividade

LIGGINS et al[6] abordam a necessidade militar de medição da efetividade dos dados obtidos de um processo de fusão de dados, afinal os erros eventualmente intrínsecos ao processo podem comprometer o resultado final da intenção operacional.

Nesse contexto, a *Military Operations Research Society*, associação norte-americana que estuda o emprego da PO em sistemas militares, elencou 4 (quatro) categorias para as medidas de mérito, conforme descritas na Tabela 1.

Tabela 1

Fonte: LIGGINS et al[6]

Four Categories of Measures of Merit		
Measure	Definition	Typical Examples
Measures of force effectiveness (MOFEs)	Measure of how a C3 system and the force (sensors, weapons, C3 system) of which it is a part perform military missions	Outcome of battle; cost of system; survivability; attrition rate; exchange ratio; weapons on targets
Measures of effectiveness (MOEs)	Measure of how a C3 system performs its functions within an operational environment	Target nomination rate; timeliness of information; accuracy of information; warning time; target leakage; countermeasure immunity; communications survivability
Measures of performance (MOPs)	Measures closely related to dimensional parameters (both physical and structural) but measure attributes of behavior	Detection probability; false alarm rate; location estimate accuracy; identification probability; identification range; time from detect to transmission; communication time delay; sensor spatial coverage; target classification accuracy
Dimensional parameters	The properties or characteristics inherent in the physical entities whose values determine system behavior and the structure under question, even when not operating	Signal-to-noise ratio; operations per second; aperture dimensions; bit-error rates; resolution; sample rates; antijamming margins; cost

Source: Sweet, R., Command and control evaluation workshop, MORS C² MOE Workshop, Military Operations Research Society, January 1985.

Essa separação em camadas permite avaliar detalhadamente um sistema militar, de forma a garantir o mínimo de erros nos processos envolvendo o processamento de dados ou informações.

2.5.3. Extensões na pesquisa de fusão de dados

Segundo LIGGINS et al[6], um novo nível de fusão de dados está sendo discutido, com o objetivo de incluir as percepções do usuário no processo. Um suposto nível de *Refinamento para o usuário* foi proposto por alguns autores, conectando o usuário aos demais resultados do modelo. Esse refinamento inclui abordagens cognitivas e de interface homem-máquina, aprimorando a forma de apresentação de dados aos usuários.

Além da apresentação para o usuário, o autor evidencia que esse nível poderia incluir outras abstrações, como a compartimentação da informação por diversos usuários e a gestão do conhecimento. Face à essa abordagem, especialmente por não mais envolver a área principal da fusão de dados, o autor se posiciona contra.

3. INSTITUCIONALIZAÇÃO DA PESQUISA OPERACIONAL NA DEFESA

A Pesquisa Operacional (PO), bem como as ferramentas matemáticas e estatísticas envolvidas, vem sendo desenvolvidas desde bastante tempo no ensino superior brasileiro. Esses conceitos são amplamente difundidos nas universidades brasileiras, voltadas às aplicações de tomada de decisão, dimensionamento logístico e fabril.

Especificamente nas Forças Armadas, a PO é matéria curricular no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), como a Disciplina MOQ 43 – Pesquisa Operacional. No Exército, o Instituto Militar de Engenharia (IME) não implementa cadeira específica, mas explora as ferramentas necessárias à problematização, por meio da Programação Linear (PL), nos cursos de Computação, de Transportes e de Cartografia.

As escolas de formação e aperfeiçoamento das Forças não implementam nenhuma disciplina formal e nem linhas de pesquisa sobre PO, que poderia unir esforços da comunidade de pesquisa de Engenharia às pesquisas em Ciências Militares.

Apesar do emprego não-institucionalizado da PO nas atividades das Forças Armadas, a utilização de programas de computador de ERP (Enterprise Resource Management), recentemente implantada na Marinha do Brasil, sugere a possibilidade de módulos embutidos.

4. CONCLUSÃO

A pesquisa operacional mostra-se como ferramenta relevante para a aquisição e manutenção de Sistemas de Inteligência, Reconhecimento, Vigilância e Aquisição de Alvos (SIRVAA) pelas forças singulares brasileiras, fato que pode ser evidenciado pela ampla possibilidade de aplicação em diversas linhas de pesquisa.

Com esse panorama, uma melhor institucionalização da disciplina nas Forças Armadas pode ser alcançada, por meio da implantação de linhas de pesquisa nas escolas de ensino militar, possibilitando conexão acadêmica entre as áreas de Engenharia e de Ciências Militares.

Por fim, vê-se que o campo apresenta-se como atual e de utilização intensa nos problemas enfrentados pelos SIRVAA, durante toda a sua vida útil. Assim, a disciplina de PO deve ser amplamente pesquisada, com o objetivo de fortalecer o conhecimento de origem nacional e ampliar a efetividade no emprego de recursos públicos em Defesa.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BRASIL. SLTI/MPOG. INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 04 de 12 de novembro de 2010. Processo de contratação de Soluções de Tecnologia da Informação pelos órgãos integrantes do Sistema de Administração dos Recursos de Informação e Informática (SISP) do Poder Executivo Federal
- [2] COLIN, Emerson Carlos. Pesquisa Operacional: 170 aplicações em estratégia, finanças, logística, produção, marketing e vendas. Rio de Janeiro: LTC, 2007.
- [3] GASS, Saul I. Na annotated timeline of operations research: an informal timeline. New York: Kluwer Academic Publishers, 2005.
- [4] EUA. Departamento de Defesa. Relatório do Grupo de Assessoramento de Ciência de Defesa sobre Inteligência de Defesa. Aplicações de Pesquisa Operacional para Inteligência, Vigilância e Reconhecimento. Washington: DoD, 2009.
- [5] JONES, Elizabeth A; COLEGROVE, Stephen L.; CHANEY, Stephen B. AMSAA Modeling and Simulation of ISR Systems and Processes. EUA: Military Intelligence, 2011. Vol 37 Nr 3.
- [6] LIGGINS, Martin E., HALL, David L., Llinas, James. Handbook of multisensor data fusion : theory and practice 2ª Ed. Boca Raton: Taylor & Francis Group, 2009.
- [7] MURTHY, P. R. Operations Research (Linear Programming). New Delhi: New Age International, 2005.
- [8] SHAH, N. H.; GOR, R. M.; SONI, H. Operations Research. New Delhi: Prentice Hall, 2007. ISBN-978-81-203-3128-0