



# GERENCIAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE AÇÕES DE CÔMBATE:

Um enfoque atual

Marco Cesar Goldberg

---

*Com o extraordinário desenvolvimento dos meios de combate, dos elementos de detecção/comunicações e da microinformática, a Engenharia de Sistemas está pronta a contribuir substancialmente para o gerenciamento e otimização de ações de combate. O suporte concedido pelos procedimentos de otimização, por sua real impotência, assumirão rapidamente a função de "Arma de Combate", tornando-se indispensáveis no contexto da guerra moderna.*

*O artigo discute a formulação de um sistema de gerenciamento, bem como a possibilidade de utilização de princípios de Otimização Combinatória (O.C.) em apoio à Tática, Estratégia e Logística. Diversas aplicações são citadas.*

---

## INTRODUÇÃO

**P**or muito tempo, o bom senso, a experiência adquirida e a criatividade, características notáveis do homem, foram capazes de atender às necessidades de gerencia-

mento de ações de combate. Apoiado na doutrina de emprego tático/estratégico e em atributos pessoais de seu Estado-Maior, o Comandante desenvolveu satisfatoriamente o controle e a distribuição dos meios disponíveis, mormente pelo fato de estes se-

rem bastante limitados. Hoje, contudo, apesar de absolutamente indispensáveis, as características anteriormente descritas não permitem mais atender a todas as facetas dos problemas envolvidos.

Desde a 2ª Guerra Mundial, a necessidade de estudos profundos para alocação Arma x Alvo que objetivem o emprego eficiente de novos equipamentos, vem se tornando continuamente mais impositiva.

Inicialmente, os trabalhos mais consistentes de otimização foram incluídos no que se convencionou denominar Pesquisa Operacional (P.O.). Com o surgimento da Teoria dos Sistemas, novas abordagens e técnicas desenvolveram-se, ampliando o escopo básico proposto.

O presente trabalho descreve aplicações viáveis para a integração entre os novos meios de combate e a Engenharia de Sistemas, visando à otimização de Sistemas de Combate no seu conceito mais amplo.

## **A IMPORTÂNCIA DA INTEGRAÇÃO E OTIMIZAÇÃO DE AÇÕES**

Apesar de bastante óbvios, os conceitos de integração e otimização só recentemente foram assimilados dentro da administração. No passado se advogou que o progresso científico e tec-

nológico seria mais facilmente alcançado através da "divisão de esforços", ou seja, pela especificação profunda em cada etapa de um processo. Essa idéia, baseada nos princípios de Taylor, conduzia à "divisão racional do trabalho". Basicamente admitia-se que, ao obterem-se resultados positivos em cada unidade de uma organização, os resultados positivos de toda a organização seriam atingidos automaticamente.

É inegável que estes conceitos contribuíram para o avanço tecnológico observado nas últimas décadas. Entretanto, já há alguns anos, a "divisão de esforços" vem provocando dificuldades em várias atividades. A sofisticação generalizada dos processos, a multidisciplinaridade dos problemas e as novas exigências de desempenho não permitem mais duplicação de atividades, visão estreita dos objetivos da organização e a compartimentação de esforços, conseqüências dificilmente evitáveis no Princípio da Divisão.

A Teoria dos Sistemas introduzida entre 1950 e 1968 adiciona aos antigos conceitos de progresso um princípio complementar: o da Integração de Esforços.

Na administração industrial é simples verificar que, em certos casos, procedimentos bastante favorável a uma filial ou setor podem acabar altamente incon-

venientes ou mesmo letais à empresa como um todo.

No aspecto militar dá-se o mesmo. O procedimento ideal para um pelotão ou companhia poderá ser danoso à operação de uma companhia ou batalhão, respectivamente. Em várias ocasiões, elementos do sistema de combate deverão operar sob condições adversas ou propositalmente impróprias, para que o todo possa obter parâmetros ideais de desempenho.

A sistematização das ações dirige o enfoque gerencial para a globalização do empreendimento humano, ressaltando fundamentalmente fatores de coordenação e cooperação. A especialização a cada etapa e a divisão racional do trabalho passam a ser simples elementos de um corpo maior, subordinados a uma análise integrada e, em consequência, mais real apesar de mais complexa.

A despeito de serem facilmente visíveis as vantagens de se conduzirem ações altamente integradas, e ainda da clara multiplicação da capacidade de combate das forças envolvidas, justificam-se algumas indagações: até que ponto a coordenação e a integração poderão ser efetuadas nas dinâmicas situações do combate? Poderá o Comando obter, processar, analisar, decidir e transmitir a tempo as informações necessárias a essa coordenação? Até que nível

o enfoque sistêmico poderia ser viável dentro de organizações alta e tradicionalmente especializadas (sete armas mais serviços)? Na prática, a adoção de uma visão mais globalizadora não centralizaria demasiadamente o processo decisório emperrando todo o conjunto? Não seriam esses princípios mais aplicáveis ao mundo industrial que ao 'nebuloso' campo de batalha?

A resposta a essas indagações é central e pode ser resumida em uma questão apenas: ações de combate podem ser abordadas como um problema de otimização?

## **AÇÕES DE COMBATE: UM PROBLEMA DE OTIMIZAÇÃO**

Antes da 2ª Guerra Mundial, os combates eram conduzidos em ambientes gerenciais bastante simplificados e estáticos (eventualmente possuíam grande porte, mas eram administrados com simplicidade). As condições tecnológicas vigentes conduziam naturalmente a isso. Para o combate, adotou-se um conceito de controle grandemente 'nebuloso' e descentralizado. Por essa maneira de interpretar a realidade, as ações operacionais eram difusas, agitadas e desorganizadas por essência.<sup>1</sup> Garantir padrões de desempenho ou níveis de coordenação era uma tarefa

muito difícil ou mesmo impossível na maioria das situações. Caberia a cada unidade e, finalmente, a cada homem, cumprir da melhor forma possível seu papel definido na missão, reagindo em face das várias alterações de combate. A reserva, presente em todos os níveis, representava um papel absolutamente fundamental por permitir enfrentar condições não previstas, protegendo o dispositivo e buscando uma dinamização nas ações. Na verdade, sua principal função era de providenciar segurança contra situações não previstas.

Hoje, contudo, novos patamares tecnológicos foram galgados, e a realidade geradora da idéia do campo de batalha 'nebuloso' já se vai perdida no tempo. Os dispositivos de detecção e comunicações atuais oferecem uma visão tão ampla e atualizada dos passos de uma operação, que é perfeitamente coerente admitir que um comando possa exercer um forte controle dos meios empenhados, movimentando, alocando e distribuindo as forças de uma forma altamente integrada.

Com o escopo do enfoque sistêmico não é o de simplesmente operar e sim o de operar da melhor forma possível, seu objetivo é o de permitir um melhor uso dos meios existentes estabelecendo limites de confiabilidade e padrões de desempe-

nho seguros. Tais técnicas exigem e conduzem a um ambiente de operação muito mais claro e definido que o clássico campo 'nebuloso'.

A moderna realidade de combate vem viabilizando, cada dia mais, o emprego de sofisticadas técnicas de análise da decisão, compatibilizando meios, riscos e custos com o ferramental de gerenciamento e controle já disponível.

No início da década de 80, uma revolução tecnológica criou novas perspectivas para o Problema de Otimização. Com o surgimento dos microcomputadores, o processamento automático de dados – antes um privilégio restrito a determinadas operações – vem sendo paulatinamente estendido a todos os níveis do processo decisório. Os modernos micros, na verdade, podem realizar literalmente as mesmas tarefas que os grandes computadores da década de 60/70 realizavam, com as seguintes vantagens: possuem tamanho e rusticidade compatível com as operações de combate de pequeno e médio porte; seu custo de aquisição é bastante reduzido; são fáceis de operar; possuem manutenção preventiva simples; podem ser interligados a sistemas mestres de grande porte, usufruindo, a partir daí, de todos os recursos do sistema principal.

Por outro lado, não é possível admitir que seja implemen-

tado um programa do tipo "Guerra nas Estrelas" (Sistema Integrado de Defesa Continental), onde milhares de alvos serão identificados e alocados dinamicamente, sem a intensa utilização de técnicas de O.C., de modo a permitir uma segura análise de desempenho.<sup>2</sup> Um descontrole a nível de coordenação ou erros de avaliação são completamente inadmissíveis nesses casos. Tais possibilidades devem ser minimizadas sob pena de danos incriveis, o que inviabilizaria a própria concepção do sistema.

De forma semelhante, em todos os níveis de combate (principalmente no processo logístico), o gerenciamento e coordenação pode ser realisticamente considerado um Problema de Otimização pois:

- Grande parte dos "Problemas de Combate" podem ser modelados matematicamente;

- Existem meios confiáveis e adequados para a obtenção e atualização dos dados de entrada do problema;

- Existem equipamentos capazes de processar os dados de entrada do problema nas condições reais de emprego;

- Existem meios aptos a permitir ao Comando implementar, em tempo hábil, as decisões tomadas.

É interessante observar que a absorção conceitual de um

campo de batalha inexoravelmente 'nebuloso', bem como da descentralização e compartimentação do processo decisório em escalões, dificultará crescentemente o emprego ótimo dos equipamentos mais sofisticados. As modernas armas, por suas características, são mais sensíveis ao uso integrado, beneficiando-se extremamente de um ambiente de ação bem definido. A adoção pura e simples da "conduta de combate" como procedimento padrão de otimização poderá conduzir a situações altamente desfavoráveis, apesar de agilizar o processo de decisão, por desprezar o efeito que as decisões independentes podem produzir sobre o conjunto. Como um exemplo do anteriormente exposto, pode-se citar o Sistema Britânico de Defesa de Costa. Totalmente baseado em sofisticada rede de detecção, é conjugado às unidades aéreas, navais e de mísseis, sendo capaz de detectar, perseguir e coordenar ataques a mais de 200 alvos distintos.<sup>3</sup>

Se, por um lado, a melhor definição e controle das situações de combate gera um natural acréscimo nas tarefas de análise e decisão, por outro, os novos equipamentos e técnicos mostram-se capazes de absorver a demanda.

Colocado dessa forma, o gerenciamento de ações de combate pode ser realisticamente con-

siderado um típico Problema de Otimização Multiobjetivo.

## OTIMIZAÇÃO DE OPERAÇÕES DEFENSIVAS

Apesar da aparente complexidade de um combate, fundamentalmente o que se pretende é, com os meios disponíveis, atingir um objetivo ao "menor custo possível", sejam quais forem os fatores componentes desse "custo".

Em muitas ocasiões não será possível ao Comando contar com superioridade numérica ou qualitativa, restando como única forma de garantir o sucesso a utilização conveniente dos recursos existentes, do terreno e, principalmente, da inteligência.<sup>4</sup> Posições defensivas bem preparadas podem multiplicar diversas vezes a eficácia do sistema. Posições de disparo desenfadas ou a vantagem do primeiro tiro podem representar um grande aumento da probabilidade de danos da força atacante.

A coordenação de ações assume um valor fundamental no sentido de otimizar a capacidade de fogo e movimento, conjugando as possibilidades em alcance e pontaria com o terreno e a ameaça do inimigo. O maior poder de destruição do equipamento, bem como seu emprego otimizado, poderá corresponder a uma modificação na proporção necessária entre atacantes e de-

fensores, melhorando o desempenho do esquema defensivo.

Sob o aspecto da economia de meios, seria de todo interessante que o Comando de uma força fosse capaz de determinar os pontos onde a ação inimiga vai ocorrer, de modo a concentrar ali seus esforços. Não é necessário estar "em toda a parte" e sim "somente onde for necessário".

Considerando o movimento, seria desejável que o Comando pudesse deslocar convenientemente seus meios, especialmente forças de cobertura, adequando itinerário e alternativas de alocação aos meios e restrições locais.

Na ótica do equipamento e material, deveria ocorrer uma total compatibilização entre a disponibilidade e a missão atribuída, quantitativa e qualitativamente falando.

Sobre o aspecto da oportunidade, o Comando deveria ser capaz de realizar todos os movimentos na ocasião devida, não antes, não depois. Tal procedimento permite dificultar ao máximo a análise, preparação e mesmo antecipação inimiga, expondo ao mínimo a tropa e buscando a surpresa.

As técnicas de O.C. poderão propiciar uma contribuição significativa nos aspectos abordados, por permitirem o tratamento de grande massa de informações e a análise rápida e precisa de um

número substancial de alternativas de deslocamento e alocação arma x alvo, face às restrições de tempo, meios, pessoal, terreno, nível de desempenho, confiabilidade etc.

De posse de informações sobre a posição e o efetivo inimigo, um modelo implementado poderá apresentar sugestões sobre:

- Pontos mais vulneráveis no Sistema de Defesa;
- Melhores itinerários de deslocamento;
- Critérios e seqüência de retraimento ou avanço;
- Escolha de posição de tiro de forma a otimizar raio de alcance, características de emprego, concentração de fogo etc;
- Emprego da Reserva;
- Designação Arma x Alvo, número de tiro por peça, regime de tiro, tipo de munição etc.

## SISTEMA DE DEFESA INTEGRADA

Quando um sistema de defesa possuir algumas características especiais que garantam a possibilidade de que as restrições em tempo e/ou em movimento possam ser sempre atendidas, fortes simplificações poderão ser desenvolvidas no modelo matemático. Nessas ocasiões, os procedimentos de otimização poderão fornecer uma contribuição muito significativa. Em determinados cenários e ocasiões, a distribuição e alocação de meios e a designação de objetivos poderão ser realizadas, se não totalmente, em grande parte automaticamente pelo modelo. Dessa maneira, meios e armas poderão ser deslocados e engajados em consonância com o melhor emprego do sistema e com um esforço mínimo do Comando. A condução ótima de movimentos e alocação de meios poderá ser assegurada enquanto forem mantidas em nível satisfatório as condições de detecção e comunicações.

Este é o caso de um Sistema de Defesa Integrada de Costa baseado em unidades móveis de mísseis, considerando-se que os meios terrestres possuam capacidade de deslocamento maior que os meios navais inimigos; que exista a possibilidade de detecção da aproximação de uma força inimiga a uma distância adequada do litoral; e que as unidades terrestres poderão transportar um armamento compatível com a missão atribuída (míssil terra/mar).

É viável a implementação de um Sistema de Defesa de Costa baseado em uma alta mobilidade das unidades de fogo. O movimento e a designação das unidades terrestres poderão ser realizados de forma a otimizar uma função objetivo AMEAÇA, representada pelos navios inimigos, sobre uma rede de estradas de

acesso às posições de tiro, rede esta previamente incluída no modelo matemático.

Tal procedimento permitirá à defesa otimizar o emprego dos meios disponíveis; garantir uma resposta efetiva em caso de entrada dos alvos dentro do alcance de utilização das armas de defesa; possibilitar a cobertura de uma frente de litoral muito maior que a convencionalmente atribuída aos meios inicialmente disponíveis, com a manutenção dos mesmos níveis de desempenho; possibilitar a utilização de um menor número de unidades para a cobertura de uma mesma extensão de litoral; e dificultar ao máximo ou mesmo impossibilitar ataques preparatórios face à incerteza no posicionamento das unidades amigas.

O modelo poderá movimentar unidades de fogo dentro da rede de estradas e caminhos existentes no litoral, aproximando-as ou afastando-as de posições de tiro (previamente plotadas), ou deslocando-as ao longo da costa em função do movimento dos navios.

O sistema permitirá a designação e o movimento automático das unidades móveis existentes sobre as ameaças e de modo a sempre selecionar as alternativas de maior ganho.

As posições de tiro, as rotas e os deslocamentos serão escolhidos adequadamente dentre os possíveis, de forma a permitir a

cobertura global dos pontos a defender (ou mesmo todo o litoral), face à ameaça assinalada.

A ocupação das posições de tiro poderá ser concretizada apenas momentos antes da execução do fogo.

Um sistema dessa natureza permite a integração de diversas variáveis intervenientes no problema de uma forma completamente objetiva. Como vantagem adicional pode-se citar a grande flexibilidade permitida pela otimização a cada estágio dos deslocamentos. A interferência do Comando em alguma etapa, preferenciando ou modificando possível soluções, é facilmente absorvível, prosseguindo o modelo a partir dos novos dados introduzidos.

## **ALOCAÇÃO DINÂMICA ARMA x ALVO**

A Artilharia Antiaérea representa um exemplo típico de uma classe de problemas onde são exigidas respostas rápidas e eficazes a uma ameaça, dentro de um tempo de análise extremamente reduzido. Nessa categoria de problemas, o emprego do processamento automático de dados é, mais que uma simples recomendação, uma incontornável imposição.<sup>5</sup> Os procedimentos automáticos permitem a inspeção (implícita ou não) de centenas de combinações de alocações armas x alvo em poucos

segundos, buscando a otimização da probabilidade de destruição dos alvos e/ou da probabilidade de proteção do objetivo e/ou da taxa disparo x impacto no alvo etc.

Outro benefício próximo para os sistemas antiaéreos será a possibilidade da realização de integrações cada vez mais complexas entre as diversas unidades de fogo, de forma a otimizar a defesa global sobre determinada região.<sup>6</sup>

## ALOCAÇÃO DE UNIDADES LOGÍSTICAS

Levando em conta fatores tais como:

- Nível mínimo de apoio (manutenção, suprimento etc.) necessário;
- Nível desejável de apoio;
- Alcance dos fogos inimigos;
- Perspectivas de flutuações da frente de combate;
- Restrições ao deslocamento e transporte;

recentes formulações matemáticas<sup>5</sup> tornam possível, com o uso de micros, conceder ao Comando de Unidades ou Subunidades Logísticas uma série de alternativas de distribuição no terreno de seus elementos, dada uma determinada missão, objetivando, por exemplo:<sup>6</sup> minimizar a possibilidade de danos causados pelo inimigo; maximizar a

probabilidade de manter o apoio mínimo durante toda a operação;<sup>7</sup> maximizar a probabilidade de manter o apoio desejável durante toda a operação.<sup>7</sup>

## CONCLUSÕES

O avanço da tecnologia vem criando condições para um tratamento cada vez mais integral das ações de combate, absorvendo conceitos da Teoria de Sistemas.

Os recentes progressos na área de microinformática viabilizaram o tratamento de Problemas Combinatórios e de otimização do processo de movimentação e alocação de meios em ações de pequeno e médio porte.<sup>7</sup>

Os Sistemas Integrados de Combate (SIC) representam, na verdade, um segundo passo na interface entre o homem e as armas. Com o auxílio desses dispositivos, o Comando poderá fazer um melhor uso dos meios disponíveis, especialmente diante da possibilidade de considerar e conduzir mais globalmente as operações.

As perspectivas abertas pelas técnicas de O.C. permitirão uma revisão na doutrina de emprego dos meios de ação. Procedimentos relacionados com a proporção entre forças de ataque e defesa, com a ocupação do terreno e com o papel da reserva, dentre muitos, poderão sofrer

significativas alterações nos próximos anos.

Os conceitos de Otimização de Sistemas poderão, em curto espaço de tempo, estar contribuindo fortemente para a condução de ações em todos os escalões, multiplicando o poder dos meios já existentes e permitindo a concepção de uma nova geração de equipamentos adequados para o combate integrado.<sup>8</sup>

## BIBLIOGRAFIA

1. ALVARES, O.L., *Estudos de Estratégia*. Biblioteca do Exército, (1973).
2. SOLAND, R.M., *Minimum Cost Mixtures of Area And Point Defenses Assuming*

- Simultaneous Attack*, Nav. Res. Log., Vol 34, pp. 337-363, (1987).
3. TOTHIL, I. "Misiles y Radares para la defensa de las Costas", in *Tecnologia Militar*, nº 6, pp. 45-51, (1983).
4. NICHOLAS, A. "A Defesa Ativa: Um retrato instantâneo", in *Military Review*, pp. 49-57, jun, (1981).
5. GOLDBARG, M.C. NASCIMENTO, E.M., "O problema de Recobrimento: aplicações estratégicas, táticas e logísticas", in *Rev. Mil. Ciência e Tecnologia*, Vol IV, nº 2, pp. 53-60, (1987).
6. GOLDBARG, M.C., CAMPELLO, R.E. "Uma formulação por Recobrimento para o Problema de Alocação Arma x Alvo no Plano" in *Revista Pesquisa Operacional* (a ser publicado).
7. GOLDBARG, M.C., ABRE, N.M.M. Some Military Applications of the Chinese Postman Problem, Workshop on Practical Combinatorial Optimization Euro/Alto, Rio de Janeiro, agosto 1989.
8. GOLDBARG, M.C., "Otimização de Ações de Combate", Palestra proferida na 3ª Subchefia do EME, abril 1988.



MARCO CESAR GOLDBARG - Maj QEM possui o Curso de Material Bélico da Academia Militar de Agulhas Negras (1975) e os de Engenharia de Fortificação e Construção (1982) e de Mestrado em Engenharia de Sistemas/Pesquisa Operacional (1987) ambos do IME. Professor da Cadeira de Programação Inteira no Curso de Pesquisa Operacional, Mestrado em Engenharia de Sistemas/IME. Atualmente cursa, em regime de tempo integral, o doutorado em Engenharia de Sistemas/Otimização da COPPE-UFRJ.