



# ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAS NO CONTEXTO DA ENGENHARIA DE SISTEMAS

Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga

---

*Trabalho extraído da tese de mestrado apresentada pelo autor no Instituto Militar de Engenharia.*

---

## INTRODUÇÃO

A análise de sistemas de armas está contida no campo da análise de sistemas, que por sua vez faz parte da Engenharia de Sistemas. Por essa razão, percorreremos neste artigo o caminho do geral para o particular, a partir do conceito de sistema, no intuito de buscar a compreensão do contexto que envolve a análise de sistemas de armas.

## SISTEMA

Sistema é um conjunto de componentes inter-relacionados operando como um todo, com o fim de atingir um ou mais objetivos definidos.

Segundo Blanchard e Fabrycky,<sup>3</sup> os sistemas são compostos por componentes, atributos e relações.

"Componentes são as partes operantes de um sistema, consistindo em entrada, processo e

saída. Cada componente do sistema pode assumir uma variedade de valores para descrever os estados do sistema, comandados por uma ação de controle e uma ou mais restrições."

"Atributos são as propriedades ou manifestações discerníveis dos componentes e caracterizam os parâmetros do mesmo."

"Relações são as ligações entre os componentes e os atributos."

O conjunto de componentes de um sistema possui as seguintes propriedades:<sup>3</sup>

- "as propriedades e o comportamento de cada componente do conjunto produzem efeito nas propriedades e no comportamento do conjunto como um todo;

- "as propriedades e o comportamento de cada componente do conjunto dependem das propriedades e do comportamento de, pelo menos, um outro componente do conjunto;

- "cada subconjunto possível de componentes apresenta as duas propriedades acima, e os componentes não podem ser subdivididos em subconjuntos independentes."

As propriedades acima asseguram que o conjunto de componentes de um sistema possui algum comportamento ou característica que não pode ser

exibido por nenhum de seus subconjuntos. Além disso, um sistema é mais que a soma de suas partes componentes, fenômeno esse denominado Sinergia.

Os componentes de um sistema podem, por sua vez, ser sistemas de nível hierárquico inferior, enquanto que todo sistema pode ser parte de um sistema maior, em nível hierárquico superior.<sup>3</sup>

Na análise de sistemas em geral e, particularmente, nas avaliações de eficácia, confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade, é usual hierarquizar o sistema e suas subdivisões nos seguintes níveis funcionais:<sup>4,5</sup> Sistema; Subsistema; Equipamento; Grupo; Unidade; Conjunto; Subconjunto; Estágio e Parte.

## ENGENHARIA DE SISTEMAS

Engenharia de Sistemas é o processo empregado na evolução dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida, envolvendo a "aplicação de esforços científicos, de engenharia e de administração"<sup>4</sup> em uma "série de etapas realizadas de forma lógica e direcionada para a obtenção de um sistema eficaz e eficiente".<sup>3</sup>

Na engenharia de sistemas, a aplicação dos esforços científicos, de engenharia e de admi-

nistração acima citados é necessária para:

- transformar uma necessidade operacional em descrição de parâmetros de desempenho do sistema e em sua configuração preferida, por meio de um processo interativo de análise funcional, síntese, otimização, definição, projeto, teste e avaliação;
- integrar parâmetros técnicos inter-relacionados e assegurar a compatibilidade de todas as interfaces físicas e funcionais, de maneira a otimizar a definição e o projeto do sistema como um todo;
- integrar os fatores de desempenho, produtividade, confiabilidade, manutenibilidade, eficácia, apoio logístico e outros, no esforço total de engenharia.<sup>3</sup>

Embora a engenharia de sistemas, por si mesma, não seja considerada uma especialidade distinta, dentre as várias da engenharia, sua necessidade surgiu porque os engenheiros das áreas convencionais (mecânica, elétrica, eletrônica, química, aeronáutica, controle, informática etc.) não têm experiência, na profundidade necessária, para assegurar que todos os elementos do sistema sejam considerados de uma maneira adequada e no devido tempo.

Blanchard e Fabrycky afirmam que a engenharia de sistemas deve levar em conta uma

combinação adequada dos seguintes fatores:

- desempenho e parâmetros físicos dos sistemas, tais como capacidade, alcance, consumo de energia, precisão, velocidade, volume, peso, forma, e assim por diante.
- fatores operacionais e logísticos do sistema, como eficácia, disponibilidade, prestação operacional, confiabilidade, manutenibilidade, apoio logístico, transportabilidade etc;
- fatores econômicos do sistema, por exemplo, custo inicial, de operação, de apoio e de manutenção, custo do ciclo de vida e outros.

Um bom projeto de sistema é fruto de um balanço otimizado do *desempenho, apoio e fatores econômicos*, alcançados por meio de intercompensações e análises realizadas nos estágios iniciais do desenvolvimento do sistema. Uma pequena atenção dada a esses fatores nas fases iniciais do ciclo de vida pode evitar graves problemas futuros, enquanto que seu desprezo ou esquecimento pode conduzir a gastos excessivos e desnecessários.

## ANÁLISE DE SISTEMAS

*Análise de Sistemas* é um "estudo ordenado de um sistema organizacional ou operacional que emprega as técnicas da análise administrativa, pesquisa

operacional, engenharia industrial ou outros métodos, para avaliar a eficácia com que as missões serão desempenhadas e recomendar aperfeiçoamento".<sup>2</sup>

Os elementos constitutivos<sup>2</sup> de uma análise de sistemas são similares aos de um estudo de assessoria para decisão em alto nível na hierarquia de uma organização, quais sejam: Objetivo; Alternativas; Custos; Critérios (ou medidas) de eficácia; Modelos; Resultados e Recomendações.

É recomendável que se dê importância, na análise de sistema, às duas considerações seguintes:

- A função da análise de sistemas é suprir de informações adequadas os responsáveis pela decisão. Essas informações os auxiliarão na seleção das alternativas que melhor atenderem aos objetivos desejados".<sup>5</sup> O propósito da análise de sistemas é, portanto, o de assistir aos responsáveis pela tomada de decisão, em qualquer fase do ciclo de vida do sistema, proporcionando uma estrutura lógica, objetiva e sistemática, definindo e avaliando todos os fatores que influenciarem cada linha-de-ação.

A aceitação da premissa de que o sistema em análise é, na verdade, um subsistema de outro que o contém, pode facilitar

o estudo daquele primeiro sistema.<sup>5</sup>

Os estudos de análise de sistemas devem envolver, portanto, investigações sobre a viabilidade técnica do sistema, seu projeto, as abordagens alternativas possíveis, o estabelecimento de critérios para a eficácia, a obtenção de dados e informações, a aplicação e metodologia nos estudos de intercompensação (*trade off*), a obtenção de parâmetros e, se possível, a apresentação de uma solução única, preferencialmente em bases econômicas.

A análise de sistemas pode, também, ser dirigida à busca de melhorias no desenvolvimento, seleção, modificação ou uso dos sistemas existentes.

Em suma, "o processo de análise de sistemas determina e quantifica comparativamente desempenhos, eficácia e considerações de custo para cada alternativa, empregando métodos científicos de investigação exaustiva".<sup>2</sup>

## ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAS

"Desde a Segunda Guerra Mundial as maiores potências do planeta têm desenvolvido, em curtos períodos, gerações de sistemas de armas cada vez mais complexos. Cada nova geração depende de tecnologias mais sofisticadas que a prece-

dente e cada uma envolve maior emprego de tempo e de recursos que a anterior.”<sup>2</sup> Como consequência, tomada a decisão de se desenvolver um sistema de armas, é muito oneroso voltar atrás depois de decorridos três a cinco anos. Se a decisão de escolha foi errada, passados oito a dez anos o preço tático, estratégico ou financeiro a ser pago é substancialmente elevado.

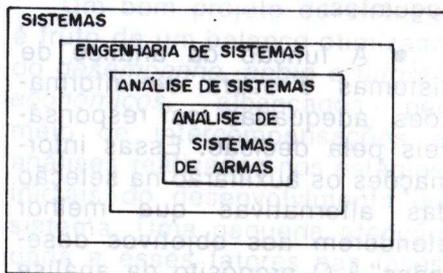
A análise de sistemas de armas busca proporcionar assistência aos responsáveis pela decisão de escolha, no julgamento militar das alternativas propostas, identificando aqueles sistemas de armas que mais poderiam contribuir para a eficácia militar, por unidade de custo total. Ela é voltada normalmente para um dos seguintes objetivos:<sup>2</sup>

- determinação dos objetivos de um programa de desenvolvimento de sistemas de armas;
- estabelecimento dos requisitos operacionais a serem satisfeitos pelo sistema de armas;
- avaliação de alternativas de sistemas de armas, englobando características de desempenho, eficácia e custo de sistemas candidatos à escolha ou de sistemas já em uso;
- identificação de influências críticas, como resultados de análises de sensibilidade e intercompensação.

Qualquer análise eficaz de um sistema de armas exige uma combinação de *teoria, métodos, e dados suficientes*. No que diz respeito à eficácia, confiabilidade, disponibilidade e manutenibilidade, é ponto pacífico hoje que nenhuma análise séria de sistemas de armas pode prescindir de seus estudos.

## CONCLUSÃO

A figura abaixo apresenta esquematicamente o espaço ocupado pela análise de sistemas de armas no contexto da engenharia de sistemas.



A maior vantagem obtida com o emprego da análise de sistemas de armas é que ela proporciona uma base racional para a tomada de decisão, sem contudo se constituir em panacéia para todos os problemas militares. “Muitos deles se encontram além das formulações matemáticas e, nesses, a experiência e o julgamento humano permanecem fundamentais.”<sup>2</sup>

## CONCEITUAÇÕES

**Análise de sistemas** – Estudo ordenado de um sistema organizacional ou operacional que emprega as técnicas da análise administrativa, pesquisa operacional, engenharia industrial ou outros métodos, para avaliar a eficácia com que as missões serão desempenhadas e recomendar aperfeiçoamento.<sup>2</sup>

**Ciclo de vida** – Período de tempo em que um sistema passa pelas fases de Formulação Conceitual, Pesquisa e Desenvolvimento, Produção ou Aquisição, Utilização e Alienação.<sup>4,6,7</sup>

**Componente** – Item, mesmo que complexo, cuja confiabilidade pode ser avaliada diretamente de dados estatísticos experimentais.<sup>8</sup>

**Confiabilidade** – Probabilidade de um item ou sistema desempenhar satisfatoriamente a função para a qual foi destinado, durante um intervalo de tempo determinado, sob condições especificadas.<sup>3,4,9</sup>

**Disponibilidade** – Medida do grau com que um item se encontra em um estado operável ou passível de operação no início de uma missão, quando a solicitação da missão é aleatória no tempo.<sup>9</sup>

**Eficácia do sistema** – Probabilidade de o sistema poder atender, com sucesso, uma demanda operacional, dentro de um dado período, quando operado sob condições especificadas.<sup>4,10</sup>

**Eficácia do sistema** – (Para sistemas do tipo um só disparo). Probabilidade de o sistema operar com sucesso quando solicitado a fazê-lo, sob condições especificadas.<sup>4,10</sup>

**Engenharia de sistemas** – Processo empregado na evolução dos sistemas ao longo de seu ciclo de vida, envolvendo a “aplicação de esforços científicos, de engenharia e de administração”, em uma “série de etapas realizadas de forma lógica e direcionadas para obtenção de um sistema eficaz e eficiente.”<sup>3</sup>

**Item** – Termo não específico usado para referir-se a qualquer produto, incluindo sistemas, materiais, partes subconjuntos, conjuntos, acessórios etc.<sup>4,9</sup>

**Manutenibilidade** – Probabilidade de um item ou sistema ser mantido operando satisfatoriamente ou restaurado às condições especificadas, dentro de certo período de tempo, desde que as ações de manutenção sejam realizadas de

acordo com procedimentos e recursos previstos.<sup>2,4</sup>

**Sistema** – Conjunto de componentes inter-relacionados operando como um todo, com o fim de atingir um ou mais objetivos específicos.<sup>2</sup>

**Sistema de armas** – Um conjunto complexo de equipamentos e homens, organizado de modo a formar um todo coerente, destinado a realizar uma missão militar (Schenderl, Antonio Jorge da Cruz, citado na referência bibliográfica nº 11).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVARENGA, Paulo Sérgio de Carvalho, Modelo de Eficácia para Mísseis: uma Aplicação ao Míssil Tático Solo-Ar Portátil. Instituto Militar de Engenharia, Tese de Mestrado, Rio, RJ, 1987, pp xxi-134.
2. DARCOM-P 706-101, Army Weapon Systems Analysis, Part One-Engineering Design Handbook, Headquarters US Army Materiel Development and Readiness Command, Alexandria, VA, October 1979.
3. BLANCHARD, Benjamin S. e FABRYCY, Walter J., Systems Engineering and Analysis, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1981, pp xii-703.
4. LUZ, Vicente, Análise Integrada de Confiabilidade e Manutenibilidade em Sistemas Complexos: uma Aplicação a Sistemas de Armas, Instituto Militar de Engenharia, tese de Mestrado, Rio, 1987, pp xviii-234.
5. MIL-HDBK-472, Maintainability Prediction, Military Standardization Handbook, Department of Defense, Washington, DC, 1966.
6. IG-20-12, Instruções Gerais para o Modelo Administrativo do Ciclo de Vida dos Materiais de Emprego Militar, Ministério do Exército, Estado-Maior do Exército, Brasília, DF, EGCF, 1986, pp 38.
7. TRAPP, Richard D.; GRABER, Roberto R.; FARMER, William D. e LUHKS, Ronald A., An Approach for Assessing Missile System Dormant Reliability, The BDM Corporation, Albuquerque, New México, USA, 1981, pp 145.
8. AMOIA, Visto; CARRADA, Ernani e SOMMA, Roberto; "Markov Process in Reliability", Rivista Técnica Selenia, Rome, Italy, Vol 4, nº 3, 1977, pp-1-8.
9. MIL-STD-721 C, Definitions of Terms for Reliability and Maintainability, Military Standard, Washington, DC, Department Of Defense, June 1981, pp iv-13.
10. WELKER, Everet L., "Systems Effectiveness", Reliability Handbook, organizado por IRESON, W. Grant, MacGraw-Hill Book Company, New York, 1966, pp 1-1 a 1-22.
11. AMARANTE, José Carlos Albano do, "Sistemas de Armas: uma Metodologia de Sistemas de Mísseis", A Defesa Nacional, Ministério do Exército, Mai/Jun 1984, Rio, pp 101-123.



*Maj. QEM Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga – Possui os cursos de Material Bélico da Academia Militar das Agulhas Negras (AMAN-71), graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Militar de Engenharia (IME-80) e pós-graduação em Engenharia Elétrica/Controle (IME-87). Possui, ainda, os cursos Básico, Mestre de Saltos e Estágios Básico e Avançado de Salto Livre da Brigada Para-Quedista. Atualmente é professor da Seção de Engenharia Elétrica do IME.*