



ANÁLISE DE SISTEMAS DE ARMAS: EVOLUÇÃO HISTÓRICA DA CONFIABILIDADE E DA EFICÁCIA

Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga

Trabalho extraído de tese de mestrado apresentada pelo autor no Instituto Militar de Engenharia (IME)¹

INTRODUÇÃO

O Exército Brasileiro vem despertando para a necessidade de avaliar, de forma mais científica e menos empírica, os sistemas de armas que adquire e aqueles de cuja concepção e desenvolvimento participa. Diversas medidas vêm sendo tomadas nesse sentido nos últimos anos, conforme será apresentado mais à frente.

Enquanto o País se constituía apenas em importador de

sistemas de armas, a qualidade já vinha embutida nas 'caixas pretas' e podia ser apenas sentida nas observações do desempenho daqueles sistemas. Não se tinha como questionado a forma como havia sido neles internada, nem mesmo compreender como isso havia sido feito.

Nas três últimas décadas, o parque industrial brasileiro desenvolveu-se muito e sofisticou-se. Nos últimos quinze anos, a indústria bélica do País deixou de engatinhar e cresceu ao pon-

to de torná-lo um dos dez² principais exportadores internacionais de armamento, com vendas anuais acima de um bilhão de dólares. Assiste-se dia a dia a uma crescente sofisticação dos sistemas de armas, cada vez mais complexos. Todos esses fatos vêm obrigando nossas indústrias de armamento, e o próprio Exército Brasileiro, como consumidor interessado e atuante no fomento desse ramo industrial, a desenvolver, entre outras tecnologias, aquelas envolvidas nos processos e equipamentos de avaliação de sistemas de armas.

As avaliações de um sistema de armas ao longo de seu ciclo de vida possuem dois aspectos distintos. Quando o sistema se encontra nas fases iniciais de formulação conceitual e de pesquisa e desenvolvimento, é feita uma *predição* de sua eficácia e de seu custo. Durante as fases de produção e utilização, é feita uma *medição* desses mesmos parâmetros.^{3,4}

As avaliações de um sistema de armas dependem fundamentalmente de modelos, tanto de eficácia quanto de custo, e de dados relativos a sistemas já em uso. Existe nesse aspecto um círculo vicioso no Exército Brasileiro: "Não se pode prever a eficácia e o custo de sistemas pela inexistência de dados previamente armazenados, e não se os armazena pela inexistência

de modelos de eficácia e custo que defina que dados devam ser coletados."³ A falta de um modelo de eficácia adotado pelo Exército Brasileiro impede, também, que seja feita sua medição em bases científicas para os sistemas de armas em utilização. Isso dificulta a coleta de dados que poderiam ser empregados na predição de eficácia de novos sistemas.

Em sistemas complexos, tanto de emprego civil quanto militar, o conceito de *Eficácia* é baseado em outro conceito de elevada importância, a *confiabilidade*. O estudo da eficácia em sistemas de mísseis, que podem ser considerados como um subconjunto dos sistemas complexos, é baseado ainda em outro importante conceito, a *dormência*.

RETROSPECTIVA HISTÓRICA

"Os setores aeroespacial, nuclear e militar são, em termos internacionais, os pioneiros no trato da tecnologia de confiabilidade",³ de fundamental importância para a avaliação da eficácia de sistemas.

No que diz respeito ao campo militar, a Segunda Guerra Mundial constituiu-se em destacado fator acelerador dos estudos nesse campo, que já existiam, mas de forma ainda muito incipiente. A conseqüente pro-

dução, em larga escala, de armas e munições, fez com que muito esforço fosse então dedicado à pesquisa e ao desenvolvimento, no intuito de se encontrarem novos princípios e explorá-los na produção de novos e melhores sistemas de armas.

No início da década de 50, a confiabilidade ganhou ainda mais proeminência no campo militar. Tal fato deveu-se ao grande esforço empreendido no projeto e desenvolvimento de mísseis e, em especial, à necessidade de analisar e melhorar a confiabilidade da parte eletrônica contida no subsistema de guiamento e na cabeça de guerra. Com esse objetivo, o Exército dos EUA constituiu o Guided Missile Reliability Committee (Comitê para Confiabilidade de Mísseis Guiados). Tentava-se, assim, implementar aperfeiçoamentos no que se considerava então com fraca confiabilidade. Essa iniciativa de tentar melhorar a confiabilidade de um item ou sistema complexo por meio de medidas corretivas conduziu ao desenvolvimento de um novo campo de grande interesse na engenharia de sistemas: o *crescimento de confiabilidade*.⁵ "A partir de, então, o termo *confiabilidade* transformou-se em uma palavra mágica, espalhando-se em profusão para todos os itens de emprego militar e exigindo o melhor em desempenho."⁵

Em setembro de 1963, a For-

ça Aérea dos Estados Unidos reuniu um comitê especial para estudar uma forma de atender à "necessidade de uma metodologia integrada de administração de programas de sistemas, empregando as informações e técnicas disponíveis para... proporcionar uma estimativa numérica precisa da eficácia de sistemas durante todas as fases do programa de armas".⁵ esse comitê foi denominado Weapon Systems Effectiveness Industry Advisory Committee - WSEIAC (Comitê Consultivo para as Indústrias sobre Eficácia de Sistemas de Armas), tendo publicado seu relatório final em 1965. Desse trabalho surgiu o *Modelo WSEIAC de Eficácia*, de emprego muito freqüente para sistemas de armas de alta complexibilidade.^{3,5}

Em 1964, foi realizado um estudo de Análise de Sistemas pela Arinc Research Corporation, no intuito de obter métodos quantitativos para estimar e otimizar a eficácia de um sistema.³ Resultou desse estudo o *Modelo Arinc de Eficácia*.

A partir da década de 60, a análise de sistemas desenvolveu-se e difundiu-se muito. Seu uso passou a ser intenso com o emprego de *Diagramas de Blocos de Confiabilidade*, auxiliando no atingimento de metas de confiabilidade.³

Nos sistemas de armas do tipo míssil, entra em cena um conceito de fundamental im-

portância – a *dormência*. Levando-se em conta o conceito restrito de operação para esses sistemas como sendo o tempo de vôo entre o disparo e o atingimento do alvo, tal tempo é extremamente curto em relação àquele que o sistema vive na fase dormente, ou seja, não operativa. A predição de confiabilidade desses sistemas no modo dormente prescindia, até 1967, de modelos que só então vieram a ser formulados. A atualização desses modelos foi feita em 1973. Os modelos iniciais eram voltados para a parte eletrônica dos sistemas. Havia uma carência generalizada de informações documentadas sobre taxas de falha na dormência para componentes não eletrônicos. Em 1981, o trabalho de Trapp, Farmer, Graber e Luhks,⁶ da BDM Corporation, a pedido da Força Aérea dos EUA, incluiu nos modelos de confiabilidade as taxas de falha na dormência dos componentes não eletrônicos. A partir de então, os modelos de confiabilidade puderam ser aplicados com maior precisão aos sistemas de mísseis como um todo de seu ciclo de vida.

EVOLUÇÃO E SITUAÇÃO ATUAL DO ASSUNTO NO EXÉRCITO BRASILEIRO

Segundo Luz,³ no campo militar brasileiro o surgimento re-

cente do interesse no desenvolvimento da tecnologia de confiabilidade está ligado a três fatores principais, aos quais se deve acrescentar um quarto.

1. A denúncia pelo Brasil, em 1977, do Acordo Militar Brasil-Estados Unidos. Foi assim interrompido o fluxo que normalmente nos abastecia com sistemas de armas recuperados e normalmente obsoletos, nos quais já vinha embutida, mas não inteligível, a tecnologia de confiabilidade.
2. O progresso tecnológico da indústria brasileira nas três últimas décadas e, em particular, da indústria bélica nacional nos últimos quinze anos. Tanto uma quanto a outra evoluíram substancialmente como resposta ao desafio da exportação.
3. A vigência no Exército Brasileiro, a partir de 1981, das IG 10-36. Essas instruções gerais foram aperfeiçoadas e substituídas, em 1986, pelas IG 20-12 – “Instruções Gerais para o Modelo Administrativo do Ciclo de Vida dos Materiais de Emprego Militar”.⁴ Elas “têm por finalidade ordenar e descrever as principais atividades e eventos que ocorrem durante o ciclo de vida de um material de emprego militar, sob a responsabilidade do Exército, fixando a ordem e os órgãos

responsáveis pela sua execução".⁴ As atividades que ocorrem durante o ciclo de vida do material foram divididas pelas IG 20-12 nas fases e subfases seguintes:⁴

– Formulação Conceitual: a) Levantamento das Necessidades; b) Planejamento e Programação.

– Pesquisa e Desenvolvimento: a) Pesquisa e Desenvolvimento do Protótipo; b) Avaliação do Protótipo; c) Produção do Lote Piloto; d) Avaliação do Lote Piloto.

– Produção ou Aquisição

– Utilização

– Alienação

4. A necessidade de se suprir internamente os meios de defesa. Poucos anos atrás, a Guerra das Malvinas mostrou-nos o risco que corre uma nação durante conflitos externos quando é dependente do suprimento de sistemas de armas vindos do exterior.

A eficácia e a confiabilidade foram abordadas pela primeira vez no Exército em 1979. Quando o Departamento de Material Bélico, por meio de sua Diretoria de Recuperação, começou a estudar a manutenibilidade, naturalmente surgiram em decorrência esses dois parâmetros de desempenho de sistemas.

"Desde 1981, a 3ª Subchefia do Estado-Maior do Exército (EME) – Doutrina, Ciência e Tec-

nologia,... em conjunto com o Centro Tecnológico do Exército (CTEx), vem realizando estudos na busca da melhor forma para que se estabeleçam", na área de material, os Requisitos Operacionais Básicos (ROB) e os Requisitos Técnicos Básicos (RTB).⁷ Os ROB são documentos que contêm informações fundamentais para a avaliação da eficácia de sistemas de armas.

É muito importante, na avaliação da eficácia e da confiabilidade de sistemas, que se disponha de dados confiáveis e organizados que possam alimentar os respectivos modelos. É bem sabida nossa carência no campo dos dados. Por esse motivo, em novembro de 1983, o Ministério do Exército submeteu "a apreciação do Conselho Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial (CONMETRO) uma proposta sugerindo o início de estudos para a criação de um Banco de Dados de Confiabilidade, em âmbito nacional, bem como para a elaboração de normas técnicas específicas para tal área".⁸

É interessante observar que, recentemente, começou a surgir a indicação, em diretrizes do EME, da necessidade de se trabalhar em termos de eficácia e confiabilidade. Exemplo disso, é o item 3, da letra "d", do número 5, das "Diretrizes para a Elaboração dos Requisitos Operacio-

nais Básicos"⁹, que é transcrito a seguir: "Na confecção dos ROB devem ser levadas em consideração as características de disponibilidade, confiabilidade e manutenibilidade dos sistemas e materiais." Outro exemplo é a alínea "b", do item 2, da letra "b", do número 5, da "Diretriz para a Realização das Avaliações Operacionais na Área de Material".¹⁰ Ali se define como atribuição dos Departamentos Provedores "orientar suas diretorias para que, na fase de utilização dos materiais, efetuem o levantamento, periódico e sistemático, de dados de confiabilidade e manutenibilidade, permitindo a busca e possível detecção de deficiência que implique em realimentação dos órgãos responsáveis pela pesquisa e desenvolvimento". Ainda nesse último documento, na alínea "a", do item 2, da letra "c", do número 5, é preconizado como atribuição das Diretorias Gestoras "centralizar e conduzir a avaliação, realizada durante a fase de utilização do material, visando ao levantamento de dados de confiabilidade e manutenibilidade dos materiais".

Nos últimos seis anos começaram a surgir em revistas militares diversos artigos abordando temas relativos a sistemas de armas, eficácia e confiabilidade. É interessante registrar, a seguir, essa evolução, por se constituir em subsídio para aqueles

que venham a se interessar pelo assunto e para que se possa perceber o esforço que a engenharia militar vem dedicando ao estudo desses temas.

1. "Sistemas de Armas: uma Metodologia para Sistemas de Mísseis", do Ten Cel QEM/Quim QEMA José Carlos Albano do Amarante, publicado em *A Defesa Nacional*, nº 713, mai/jun 1984.¹¹
2. "Apropriação de Ciência e Tecnologia para Problemas Militares no Exército", do Maj QEM/Meta Vicente Luz, publicado na *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, nº 1 (1), out/dez 1984.⁷
3. "Apoio Logístico Integrado: Necessidade de Pós-Graduação", do Maj QEM/Meta Vicente Luz, publicado em *A Defesa Nacional*, nº 717, jan/fev 1985.
4. "Indicadores Zum para Avaliação da Eficácia de Sistemas", do Maj QEM/Meta Vicente Luz, publicado na *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, nº 2 (1), jan/mar 1985.¹²
5. "Apoio Logístico Integrado: Parâmetros Comand", do Maj QEM/Meta Vicente Luz, publicado em *A Defesa Nacional*, nº 721, set/out 1985.⁸
6. "Análise de Sistema de Armas no Contexto da Engenharia de Sistemas", do Maj QEM/Eletr Paulo Sérgio de Carvalho Al-

varenga, publicado em *A Defesa Nacional*, nº 744, jul/ago 1989.

7. "Fundamentos Matemáticos da Confiabilidade de Sistemas", do Maj QEM/Eletr Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga, publicado na *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, nº 6 (3), jul/set 1989.

8. "Taxa de Falha e a Confiabilidade de Sistemas", do Maj QEM/Eletr Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga, publicado na *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*, nº 6 (4), out/dez 1989.

Cinco teses de pós-graduação em nível de mestrado foram apresentadas nos últimos cinco anos por oficiais engenheiros militares do Exército Brasileiro, todas envolvendo os conceitos de eficácia e confiabilidade. Esse fato também demonstra a recente preocupação da pesquisa militar da força terrestre com os temas citados:

1. "Custo e Eficácia em Sistemas de Armas", do Maj QEM/Mec Armt Jorge Alberto Fukuhara de Carvalho, IME, dezembro de 1985. Nessa tese, o Maj Fukuhara "apresenta uma pesquisa sobre Análise de Custo-Eficácia no contexto da Análise de Sistemas de Armas... São estudados os elementos básicos da eficácia (disponibilidade, confiabilidade, e mantenedibilidade-sic) e os custos das diversas fases

do ciclo de vida de um Sistema de Armas.

2. "Metodologia para Completa Utilização de Dados de Confiabilidade e Manutenibilidade na Avaliação de Eficácia e Custo no Ciclo de Vida de Sistemas: uma Aplicação a Carro de Combate",¹³ do Maj QEM/Meta Vicente Luz, UnB, Brasília, março de 1986.

Essa tese apresenta a metodologia e a aplicação de dados de confiabilidade e manutenibilidade "com base no modelo administrativo do ciclo de vida dos sistemas do Exército Brasileiro...". Aborda, ainda, temas como modelo ARINC, Análise Integrada de Criticabilidade e Efeito do Modo de Falha (AICEMF), categorias de tempo, algoritmos para obtenção de conjuntos de corte mínimo, diagramas de blocos, árvores de falta e distribuição exponencial.

3. "Análise Integrada de Confiabilidade e Manutenibilidade em Sistemas Complexos: uma aplicação a Sistemas de Armas",³ do Ten Cel QEM/Meta Vicente Luz, IME, fevereiro de 1987.

A tese acima "apresenta duas abordagens metodológicas para a execução de Análise Integrada de Confiabilidade e Manutenibilidade (C & M)": os modelos ARINC e WSEIAC para a eficácia de sistemas. Apresenta conceitos como

diagramas de blocos de confiabilidade, árvore de falta, processo de Markov, método Delph, quatro indicadores de eficácia e aproximação por conjuntos de corte mínimo. É feita uma aplicação simplificada a sistema de armas, no caso, o hipotético carro de combate CC XLV.

4. "Procedimentos para Avaliação de Helicópteros para Emprego Militar", do Maj QEM/Const Wanderlan de Castro, IME, fevereiro de 1987. A tese citada desenvolve "um procedimento para avaliação de helicópteros de manobra que atendam às necessidades do Exército, levando em consideração o binômio custo/eficácia das aeronaves", a fim de facilitar o processo de tomada de decisão. Para a determinação da eficácia é empregado o modelo ARINC com seus componentes: presteza operacional, confiabilidade na missão e adequação do projeto. O procedimento é aplicado como exemplo na avaliação de sete alternativas de helicópteros de manobra.
5. "Modelo de Eficácia para Mísseis: uma Aplicação ao Míssil Tático Solo-Ar Portátil"¹, do Maj QEM/Eletr Paulo Sérgio de Carvalho Alvarenga, IME, dezembro de 1987.

A tese apresenta um modelo para a avaliação de

eficácia de mísseis, cujo emprego é exemplificado para um míssil solo-ar portátil. É empregado o modelo ARINC de eficácia com seus três componentes: presteza operacional, confiabilidade na missão e adequação do projeto. É apresentado um levantamento do estado da arte para dormência de mísseis e confiabilidade.

CONCLUSÕES

1. A confiabilidade e a eficácia constituem-se em temas com estudo muito aprofundado desde várias décadas no exterior, onde suas aplicações vêm sendo intensas em sistemas complexos.
2. No Brasil, a engenharia militar só começou a abordar esses assuntos a partir de 1979, no Departamento de Material Bélico. Logo depois, o Estado-Maior do Exército passou a introduzir a confiabilidade em suas diretrizes a respeito de sistemas de armas.
3. O círculo vicioso da avaliação de sistemas de armas, comentado no início deste trabalho, já começou a ser rompido pelo lado do modelo. Das cinco teses citadas, três abordaram o estudo de modelos de eficácia: duas para carros de combate e uma para mísseis. O próximo passo seria o Exército adotar esses modelos e determinar seu detalhamento para cada sistema

de armas específico. Sabedor, então, dos dados necessários à alimentação dos modelos, bastaria tomar as medidas que possibilitassem sua coleta sistemática. Infelizmente, inexistente ainda um banco de dados de confiabilidade, premissa fundamental para a análise de sistemas de armas.

4. Iniciativas louváveis já foram tomadas no sentido de tornar mais próximo o objetivo de analisar cientificamente os sistemas de armas. Uma delas se constitui nos estudos feitos para a criação do Centro de Avaliações do Exército (CAEx), subordinado à Secretaria de Ciência e Tecnologia (SCT). Outra foi a criação da linha de pesquisa de Avaliação de Sistemas: Confiabilidade & Manutenibilidade dentro da área de Pesquisa Operacional da Seção de Engenharia de Sistemas (SE/9) do Instituto Militar de Engenharia (IME). Com essas duas medidas, passou o Exército a contar com um centro gerador e irradiador de competência nessa área, o IME, e com um órgão voltado para a execução da avaliação de sistemas de armas, o CAEx.

5. É importante salientar que o Exército, em particular a engenharia militar, deve envidar esforços no sentido de dar continuidade à pesquisa e iniciar os trabalhos nos campos da eficácia e da confiabilidade. Isso para que não continue a prescindir, no

futuro próximo, de uma ferramenta poderosa de auxílio à decisão de escolher entre diversas alternativas de complexos sistemas de armas, de custos elevados. Erros em decisões desse tipo envolvem vultosos gastos desnecessários.

CONCEITUAÇÃO

Adequação do Projeto – Probabilidade de que o sistema complete com sucesso sua missão, dado que esteja operando dentro das especificações de projeto.^{12,13,14}

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 aperfeiçoamentos.”⁵

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.^{3,4,6}

Confiabilidade – Probabilidade de que um item ou sistema irá desempenhar satisfatoriamente a função para a qual foi destinado, durante um intervalo de tempo de-

terminado, sob condições especificadas.^{3,5,15,16}

Confiabilidade na Missão – Probabilidade de que um sistema desempenhe satisfatoriamente as funções que lhe foram destinadas, durante determinado perfil de missão, sob certas condições para as quais foi concebido.^{3,14,16}

Crescimento de Confiabilidade – Aumento da confiabilidade de um sistema com o tempo durante as fases de Pesquisa e Desenvolvimento, Produção e Utilização de seu ciclo de vida, por meio da correção das deficiências de projeto e de fabricação.^{5,17}

Disponibilidade – “Medida do grau com que um item se encontra em um estado operável ou passível de operações no início de uma missão, quando a solicitação da missão é aleatória no tempo.”¹⁶

Dormência – “Estado em que o sistema se encontra operacionalmente pronto e desenergizado.”¹⁸

Dormência – “Estado em que o sistema não está operando ou é mantido em armazenamento pronto operacionalmente, incluindo toda a manutenção no equipamento montado, inspeções e BIT (*built-in-test*) necessários para que o sistema permaneça no *status* desejado.”⁶

Eficácia do Sistema – “Probabilidade de que o sistema possa atender com sucesso uma demanda operacional, dentro de um dado período, quando operado sob condições especificadas.”^{3,19}

Eficácia do Sistema – (Para sistemas do tipo um só disparo). “Probabilidade de que o sistema opere com sucesso quando solicitado a fazê-lo, sob condições especificadas.”^{3,19}

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 a obtenção de um sistema eficaz e eficiente”.¹⁵

Manutenibilidade – Probabilidade de que um item ou sistema será 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 procedimento e recursos previstos.^{3,5,7,8,12}

Medição de Eficácia – Trabalhos realizados com o fim de se obter o valor da eficácia de um protótipo ou de um sistema em utilização, com ba-

se em dados obtidos desse sistema ou protótipo.

Míssil – “Engenho espacial autopropulsionado portador de carga militar e cuja trajetória, após o lançamento, é total ou parcialmente controlada.”²⁰

Predição de Eficácia – Trabalhos realizados com o fim de se obter, para um sistema na fase de formulação conceitual ou de pesquisa e desenvolvimento, o valor da eficácia que se espera obter no futuro, com base em dados obtidos em testes e experiências passadas com subsistemas iguais ou similares aos do sistema avaliado.³

Presteza Operacional – Probabilidade de que, em um instante qualquer, o sistema estará operando satisfatoriamente ou pronto para ser colocado em operação quando solicitado, desde que usado sob determinadas condições.^{3,14}

Sistema – Conjunto de componentes inter-relacionados operando como um todo, com o fim de atingir um ou mais objetivos específicos.⁵

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

Sistema de Mísseis – “Um conjunto completo de mísseis, equipamentos operacionais, equipamentos de apoio e homens, organizado de modo a formar um todo coerente, destinado a realizar uma missão militar.”¹¹

BIBLIOGRAFIA

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. BRIGAGÃO, Clóvis E. e PROENÇA JR, Domício, “A Hora da Grande Estratégia”, *Jornal do Brasil*, Caderno B/Especial. Rio, 26 jul 1987.
3. 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.
4. “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, 1983, pp. 189.
5. “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.
6. TRAPP, Richard D.; GRABER, Robert R.; FARMER, William D. e LUHKS, Ronald A. “An Approach for Assessing Missile System Dormant Reliability”. The BDM Corporation. Albuquerque, New Mexico, USA, 1981, pp. 145.
7. LUZ, Vicente, “Aproximação de Ciência e Tecnologia para Problemas no Exército”, *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*. Ministério do Exército, out/dez 1984, Rio, pp. 20-34.
8. LUZ, Vicente, “Apoio Logístico Integrado, Parâmetros COMAND”, *A De-*

- fesa Nacional*. Ministério do Exército nº 721, set/out 1985, Rio, pp. 86-99.
9. "Diretrizes para a Elaboração dos Requisitos Operacionais Básicos", *Noticiário do Exército*, nº 7128, 28 out 1986. Ministério do Exército, Estado-Maior do Exército, Brasília, DF, p. 2.
 10. "Diretrizes para a Realização das Avaliações Operacionais na Área de Material", *Boletim do Exército*, nº 52, 30 dez 82. Ministério do Exército, Estado-Maior do Exército, pp. 51-63.
 11. AMARANTE, José Carlos Albano do. "Sistema de Armas: uma Metodologia de Sistemas de Mísseis", *A Defesa Nacional*. Ministério do Exército, mai/jun 1984, Rio, pp. 101-123.
 12. LUZ, Vicente. "Indicadores Zum para Avaliação da Eficácia de Sistemas", *Revista Militar de Ciência e Tecnologia*. Ministério do Exército, jan/mar 1985, Rio, pp. 61-69.
 13. LUZ, Vicente. "Metodologia para Completa Utilização de Dados de Confiabilidade e Manutenibilidade na Avaliação de Eficácia e Custo no Ciclo de Vida de Sistemas: uma Aplicação a Carro de Combate". Universidade de Brasília, Tese de Mestrado, Brasília, DF, 1986, pp. xviii-185.
 14. KASOUF, George. "LCC (Life-Cycle Cost) Versus Confidence Testing During Long-Term Storage", 1981 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, New York, USA, pp. 101-107.
 15. BLANCHARD, Benjamin S. e FABRYCKY, Walter J. *Systems Engineering and Analysis*, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, USA, 1981, pp. xii-703.
 16. MIL-STD-721 C. "Definitions of Terms for Reliability and Maintainability". Military Standard, Washington, DC, Department of Defense, June 1981, pp. iv-13.
 17. MARTINS, Carlos de Mathias e VON ELLENRIEDER, Alberto Ricardo. "Confiabilidade, Manutenibilidade e Segurança do Produto-Teoria". Associação Brasileira de Controle de Qualidade, São Bernardo do Campo, SP, 1986, pp. 49.
 18. KASOUF, George e McGOYE, David. "R/M Design for Long Term Dormant Storage", 1984 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, IEEE, New York, USA, pp. 168-175.
 19. WELKER, Everet L. "Systems Effectiveness", Reliability Handbook, organizado por IRESON, W. Grant, McGraw-Hill Book Company, New York, 1966, pp. 1-1 a 1-22.
 20. "Diretrizes para Mísseis e Foguetes de Interesse do Exército Brasileiro". Ministério do Exército, Estado-Maior do Exército, EGCF, Brasília, DF, 1983, pp. 9.



O Ten Cel 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 Básicos, Mestre de Saltos e Estágios Básicos e Avançado de Salto Livre da Brigada Pára-Quedista. Atualmente é professor da Seção de Engenharia Elétrica do IME.