

Contribuição do Apoio Logístico Integrado para o Desempenho e Disponibilidade de Sistemas Complexos

Marcus Sá da Cunha, M.Eng.
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica
marcussa@usp.br

Marcelo Ramos Martins, PhD
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica
mrmartin@usp.br

Moyses Szajnbok, PhD
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Departamento de Engenharia Naval e Oceânica
lumaamin@usp.br

Resumo

A construção de sistemas complexos tem riscos inerentes aos projetos de grande envergadura; quanto maior a complexidade, maiores são os riscos. Além dos altos custos envolvidos há incertezas em relação ao desempenho técnico requerido. Em geral, procura-se estimar o custo para construção de um novo sistema sem preocupar-se com os relacionados à sua operação e manutenção, entretanto, na perspectiva do ciclo de vida, estes últimos podem representar parcela maior do empreendimento. Em certos casos, os custos incorridos no descomissionamento ao fim do ciclo vida podem ser bastante vultosos. Considerando que o desempenho operacional de um sistema depende da qualidade do apoio logístico e dos serviços de manutenção providos pela organização, torna-se oportuno e conveniente considerar as questões pertinentes a suportabilidade do projeto de desenvolvimento. O Apoio Logístico Integrado (ALI) é uma ferramenta de projeto que visa promover a coordenação e a integração das atividades típicas do projeto com as atividades de desenvolvimento da infra-estrutura do apoio logístico. Com a aplicação sistemática do ALI é possível obter sistemas perfeitamente suportáveis, que apresentem desempenho técnico superior, com altas taxas de disponibilidade operacional ao menor custo do ciclo de vida.

1 Introdução

Este artigo apresenta o Apoio Logístico Integrado (ALI) como ferramenta de projeto de desenvolvimento de sistemas complexos, sendo enquadrados nessa categoria os sistemas que apresentam certas características descritas na seção 3.3, como por exemplo, os submarinos nucleares e as plataformas *offshore*.

O objetivo é apresentar a base conceitual do ALI e demonstrar como a sua aplicação em projetos de sistemas proporciona oportunidade para se garantir um nível superior de desempenho e disponibilidade, com o menor custo de ciclo de vida possível.

A decisão de investimento em um novo sistema é o resultado do reconhecimento de uma necessidade estratégica e da disposição de se empregar volumes significativos de recursos na solução de problemas sociais e econômicos em um cenário de riscos e incertezas. Entretanto, ao ser observado o montante de recursos financeiros a ser empregado durante o ciclo de vida de um sistema, a questão da sua efetividade em cumprir a missão principal é fator crítico na decisão de construir um empreendimento.

O uso de novas tecnologias e o aumento dos requisitos de qualidade, confiabilidade e segurança têm aumentado a complexidade dos sistemas utilizados pelas organizações, tornando as despesas de operação, suporte e manutenção bastante significativas. No entanto, há evidências que em sistemas de alta complexidade uma parcela significativa dos elevados custos de operação e suporte pode ser atribuída às decisões gerenciais e de engenharia nos primeiros estágios do projeto.

É evidente a conveniência de se considerar as questões essenciais da infraestrutura de logística, suporte e manutenção no projeto de um sistema. Deste modo, pode-se garantir que o mesmo poderá ser suportado e mantido efetiva e economicamente. Por isso, as questões sobre logística e manutenção devem estar sempre em consideração desde a fase de concepção, prosseguindo pelo ciclo operacional e de manutenção, até o seu descomissionamento e descarte, ou a reciclagem de seus componentes. Para tal, apresenta-se a abordagem provida

pelo conceito *Integrated Logistic Support (ILS)*, vertido para o português como Apoio Logístico Integrado (ALI).

Seguindo esta introdução, são feitas algumas considerações iniciais, com o propósito de definir claramente alguns termos empregado no desenvolvimento da base conceitual do artigo. A seguir, as características de um sistema complexo são apresentadas na seção 3, e na seção 4, os fatores que afetam o seu desempenho operacional e a sua disponibilidade. Na seção 5 são apresentados os elementos do ALI e na seção 6 é abordada a sua aplicação em projeto de sistemas. Por último, na seção 7 apresentam-se as conclusões.

2 Considerações Iniciais

Quando uma organização decide investir na construção de um novo sistema, espera-se que o mesmo desempenhe durante certo período uma função a um custo aceitável. Para fazer uma avaliação objetiva de um sistema é necessário realizar a medição da eficácia no desempenho da sua função e da sua eficiência na economia dos recursos demandados pelo seu funcionamento e manutenção.

Um sistema pode ser eficaz e eficiente, entretanto, pode não estar disponível para desempenhar as sua função no instante requerido, comprometendo a missão da organização. Por isso, a disponibilidade é parâmetro crítico para a efetividade do sistema.

A disponibilidade de um sistema depende da capacidade da organização no provimento do apoio logístico e dos serviços de manutenção necessários à sua operação. O apoio logístico disponibiliza os suprimentos e as instalações, e os serviços de manutenção promovem atividades eficientes e eficazes para manter elevada a confiabilidade técnica ou recuperar a condição operacional se uma falha ocorrer.

Nesse trabalho os termos “apoio logístico” e “suporte logístico” serão empregados de forma intercambiáveis. Adotou-se no emprego em língua portuguesa a definição do termo “suportabilidade” como a capacidade de se prover apoio

logístico à operação de um sistema, pois não existe nos dicionários o termo “apoiabilidade” usado algumas vezes.

O termo “efetividade¹” se refere à capacidade de um sistema em atender os seus objetivos funcionais (ou cumprir a sua missão), dependente da sua capacidade técnica e da sua disponibilidade, não devendo ser confundido com a suportabilidade.

Capacidade técnica equivale a “*capability*”, empregado na literatura estrangeira com o sentido de habilidade, aptidão. Ela avalia o quanto um sistema é capaz de realizar as suas tarefas e pode ser associado a uma variável de estado: se um sistema não consegue alcançar um padrão de desempenho mínimo então a sua capacidade técnica é nula. Por exemplo, se o mínimo esperado para uma dada plataforma *offshore* é extrair 100.000 barris de petróleo por dia, e se ela está produzindo 60.000, diz-se que o sistema falhou comprometendo a sua capacidade técnica.

Para uma avaliação da efetividade de um sistema é importante que a organização usuária defina certos parâmetros estabelecendo claramente, para determinadas condições de uso ou emprego, o limite entre o estado de capacidade técnica e o estado de falha.

O componente “custo” do termo “custo-efetividade”, empregado adiante na seção 6.1, refere-se ao termo “custo do ciclo de vida²” no qual estão inclusos as parcelas relativas ao desenvolvimento (ou compra), às de propriedade e operação, às de manutenção e às de desativação e descarte.

3 Características de um Sistema Complexo

3.1 Complexidade

Complexidade é a qualidade do que é “complexo” (HOLANDA, 2004). “Qualidade” significa propriedade, atributo, ou condição das coisas (ou das pessoas) capaz de

¹ *Effectiveness* é o termo empregado na literatura estrangeira (PECHT, 2009; BLANCHARD; FABRYCKY, 2006; BLANCHARD, 2004).

² *Life-Cycle Cost (LCC)* é o termo empregado na literatura estrangeira (PECHT, 2009; BLANCHARD; FABRYCKY, 2006; BLANCHARD, 2004).

distingui-las das outras e lhes determinar a natureza (HOLANDA, 2004). O termo “complexo”, como adjetivo tem os seguintes significados: (1) que abrange ou encerra muitos elementos ou partes; (2) observável sob diferentes aspectos; e (3) confuso, complicado, intricado (HOLANDA, 2004). Sua etimologia é proveniente do latim *complexus, a, um*; participio passado do verbo *complecti* : cercar, abarcar, compreender (HOUAISS, 2009).

3.2 Sistemas

A IEC 60300 (IEC, 2003) apresenta uma definição sintética para “sistema”: conjunto de elementos inter-relacionados e iterativos. A referida norma observa que a estrutura de um sistema pode ser hierarquizada e deve ter: (1) um propósito definido, descrito em termos de funções a serem desempenhadas; (2) as condições de operação e uso expressamente estabelecidas; e (3) os limites bem definidos.

Blanchard e Fabrycky (2006) destacam os três elementos básicos de um sistema: componentes; atributos; e relacionamentos. Nesta visão, sistema é um conjunto de componentes inter-relacionados que atuam em conjunto em prol de um objetivo comum. Este conjunto de componentes deve ter as seguintes características: (1) as propriedades e o comportamento de cada componente têm influência nas propriedades e comportamento do conjunto como um todo; (2) As propriedades e o comportamento de cada componente dependem das propriedades e do comportamento de pelo menos de um dos outros componentes do conjunto; e (3) cada possível subconjunto de componentes deve ter as duas propriedades anteriores, significando que os componentes não podem ser subdivididos em unidades independentes.

3.3 Sistema Complexo

Um sistema é complexo se é constituído por duas ou mais partes, ou por componentes distintos, que devem estar interligados, formando uma estrutura estável (HEYLIGHEN, 1988). Leite et al. (2004) fazem a distinção entre sistemas

“complicados” e sistemas “complexos” com base nas não linearidades internas, incertezas e imprevisibilidades, características deste últimos.

O sistema complexo objeto do presente trabalho é definido como uma organização técnico-social caracterizada pela sua arquitetura complexa e sofisticação tecnológica. São sistemas complexos, por exemplo, sistemas militares, plataformas de petróleo *off-shore*, plantas química, usinas nucleares, sistema de controle de tráfego aéreo, redes de distribuição de energia, etc. Considerando o potencial de acidentes catastrófico inerente a esse tipo de sistema, Bierly et al. (2008) o tratam como “Organização de Alta Confiabilidade”, ou *High-Reliability Organization (HRO)*, de acordo com a literatura estrangeira.

As Organizações de Alta Confiabilidade (OAC) apresentam as seguintes características: (1) potencial de acidentes catastróficos; (2) alto grau de acoplamento entre os subsistemas; (3) iteratividade complexa entre as partes; e (4) alto nível de responsabilidade e tensão de seus operadores. Assim, esses sistemas ao longo do seu ciclo de vida tratam com o conflito entre a eficiência técnica pretendida e os requisitos de confiabilidade e segurança.

Guimarães (1999), referenciando os desafios do projeto de um submarino nuclear, considerado por Bierly et al. (2008) uma OAC, também identifica este importante conflito, ao dizer que as bases normativas para projeto e operação de sistemas militares navais privilegiam como atributo fundamental a disponibilidade, para assegurar o sucesso de sua missão, enquanto que as referentes às plantas nucleares focam a segurança.

Assim, o compromisso entre capacidade técnica e segurança, inerentes aos sistemas complexos, apresenta um difícil desafio aos projetistas no emprego de técnicas de otimização e de simulação para buscar soluções que atendam aos requisitos previamente estabelecidos para o sistema.

De uma forma geral o termo “sistema”, empregado a seguir, se refere a uma organização, projetada para desempenhar um serviço requerido, na qual é reunida uma gama de recursos de natureza diversa que devem interagir entre si de forma eficiente, eficaz e segura. Nesse sentido, por exemplo, uma plataforma de exploração e produção de petróleo no mar deve ser vista como uma

combinação complexa de pessoas, materiais, equipamentos, instalações, tecnologia, softwares, dados, normas administrativas e legais, procedimentos técnicos, etc. Assim, deve ser esperado que o sistema exemplificado seja capaz de extrair, armazenar e fornecer óleo cru de forma produtiva, econômica e segura ao longo de vida útil.

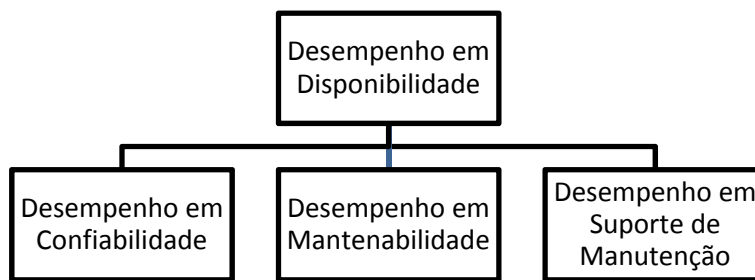
4 Desempenho Operacional e Disponibilidade

Um sistema pode estar em dois estados: pronto para desempenhar as suas funções ou impossibilitado de operar. Quando se encontra no estado operacional, é esperado que ele desempenhe as suas funções de acordo com certos parâmetros nas condições operacionais desejadas. A excelência de um sistema está na sua capacidade técnica em desempenhar as suas funções quando requerido.

O desempenho operacional e a disponibilidade de um sistema são dependentes da qualidade dos serviços de manutenção e do apoio logístico prestados pela organização que o opera. Assim, nesta seção será demonstrada a conveniência imperiosa de trazer para o contexto do projeto de desenvolvimento o projeto da infra-estrutura de apoio logístico e manutenção.

4.1 Dependabilidade

As questões relacionadas ao desempenho operacional e disponibilidade de sistemas serão analisadas pela ótica da “dependabilidade” de acordo com o definido pela norma IEC60300-1 (IEC, 2003). Dependabilidade é um termo coletivo utilizado para descrever o desempenho em disponibilidade de um sistema. O desempenho em disponibilidade é influenciado pela “confiabilidade” e pela “mantenabilidade”, características inerentes ao projeto do sistema, e influenciada pelo desempenho da organização no provimento do suporte de manutenção. A Figura 1 representa o relacionamento entre os elementos constituintes da dependabilidade.



Fonte: IEC 60300-1 (IEC, 2003)

Figura 1. Elementos da dependabilidade

A norma IEC 60300-1 (IEC, 2003) apresenta as seguintes definições:

- (1) Disponibilidade: é a habilidade de um item estar em condições de desempenhar uma função requerida sob certas condições em um dado instante ou ao longo de um dado intervalo de tempo, assumindo que os suprimentos externos necessários sejam providos;
- (2) Confiabilidade: é a habilidade de um item desempenhar uma função requerida sob dada condição em um determinado intervalo de tempo;
- (3) Mantenabilidade: é a habilidade de um item, sob certa condição de uso, ser mantido ou recolocado em condições de desempenhar uma função requerida, quando a sua manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos; e
- (4) Suporte de manutenção: é a habilidade de uma “organização de manutenção” prover, sob demanda, os recursos necessários para manter um item em uma condição requerida e de acordo com uma dada política de manutenção.

4.2 Disponibilidade

A dependabilidade é uma descrição genérica do desempenho em disponibilidade de um sistema sem uma preocupação em quantificá-la. Entretanto, os seus elementos podem ser avaliados de forma quantitativa com base na teoria das probabilidades (O’CONNOR, 2002). Assim, a confiabilidade está relacionada com a probabilidade de não ocorrência de falhas durante certo intervalo de tempo,

respeitadas as condições operacionais estabelecidas. Já a manutenibilidade se relaciona com a probabilidade de um serviço de manutenção a ser realizado em dado intervalo de tempo, em que estejam assegurados todos os recursos externos necessários à execução do serviço e seguidos os procedimentos estabelecidos. Também a disponibilidade é uma variável probabilística. No regime estacionário com taxas de falha e de reparos constantes pode ser estimada pela equação:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

A – disponibilidade;

MTBF – tempo médio entre falhas, isto é, a esperança matemática do tempo entre falhas de um item; e

MTTR – tempo médio de restabelecimento das condições operacionais após a ocorrência de uma falha, isto é a esperança matemática do tempo para o restabelecimento.

O desempenho do suporte de manutenção provido ao sistema também influencia a disponibilidade, podendo ser avaliado pelo tratamento estatístico das probabilidades de ocorrências de atrasos nas atividades logísticas e administrativas.

4.3 Desempenho operacional

Zio (2009), em sua abordagem de sistemas complexos por meio da perspectiva sistêmica, reconhece que o desempenho operacional de um sistema é o resultado das iterações entre os seus elementos físicos (hardware) com os elementos humanos. Estão incluídas nessa dinâmica as iterações com os sistemas de informação, de supervisão e controle (*software*), e os elementos da estrutura organizacional (infra-estrutura) que opera, apóia e mantém o sistema. Para exemplificar o conceito descrito, a Figura 2 representa a descrição sistêmica de um submarino nuclear de ataque, como uma organização adequada à análise da dependabilidade.

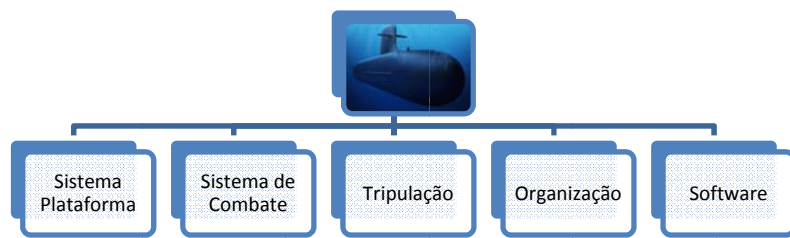


Figura 2 – Representação Sistêmica de um Submarino Nuclear de Ataque

Nessa visão, o desempenho de um sistema emerge das iterações entre seus elementos constitutivos. Em um dado instante, cada parte do sistema pode estar em determinado nível de desempenho, constituído um sistema de múltiplos estados (ZIO, 2009). O estado global do sistema depende das múltiplas combinações dos estados de cada um de seus componentes. Considerando que o estado de desempenho de um elemento particular é um evento probabilístico, resultante das condições de operação e das ações de manutenção, a probabilidade de o sistema atingir um determinado nível de desempenho e segurança dependerá da probabilidade de ocorrer uma dada combinação de estados de desempenho de todos os seus elementos.

A abordagem com uma perspectiva organizacional de sistema é fator crítico no seu projeto. Isso significa trazer para o contexto do projeto de engenharia o projeto da infra-estrutura de apoio logístico e de manutenção. Também é importante considerar, desde as fases preliminares, a estrutura organizacional necessária para prover os recursos necessários para uma operação segura e eficiente do sistema.

5 Apoio Logístico Integrado (ALI)

5.1 Logística

Logística é o processo de planejamento, implementação e controle de procedimentos para o transporte e armazenamento eficiente e eficaz de mercadorias, incluindo serviços e informações relacionadas, do ponto de origem

até o ponto de consumo com o propósito de conformidade com os requisitos do cliente (VITASEK, 2010).

Nesse sentido, **logística** se refere às atividades desempenhadas por funções empresariais responsáveis pelo esforço organizacional para entregar bens e serviços ao cliente no prazo desejável a um custo aceitável. Estas atividades em geral são de interesse da área de *Supply Chain Management (SCM)*. Entretanto, os assuntos relacionados com as atividades de projeto, operação, manutenção e suporte costumam ser tratados fora do escopo da logística.

5.2 Apoio Logístico

No setor de defesa é atribuída uma abordagem mais abrangente da logística uma vez que o foco de interesse é o sistema. Neste caso, são incluídos no problema logístico as questões relacionadas com o projeto e desenvolvimento do sistema e os meios necessários para o seu suporte, operação e manutenção. Assim, o projeto de um sistema deve considerar questões relacionadas com o suporte da manutenção, a manutenibilidade e a disponibilidade, de forma que ao final do processo de desenvolvimento possa ser disponibilizado ao usuário um sistema para ser operado e mantido de forma efetiva, eficiente e segura ao longo do seu ciclo de vida. Tal abordagem é conhecida como “logística orientada para o ciclo de vida” (BLANCHARD, 2004).

Assim, são apresentados dois termos fundamentais para o entendimento da logística no contexto de sistemas: “ciclo de vida” e “suportabilidade”. O ciclo de vida corresponde à representação no tempo de todas as fases de um sistema desde a sua concepção e introdução no meio ambiente até a sua desativação, conforme representado na Figura 3. Embora possa haver alguma diferenciação deste conceito quando vistos da perspectiva do fabricante ou do usuário final do sistema, o ciclo de vida não deve ser confundido com o ciclo operacional do sistema, já que o último integra o primeiro. A suportabilidade trata de uma qualidade inerente ao sistema, relacionada com a facilidade de se prover o apoio logístico e manutenção necessária para a sua operação eficiente e eficaz.

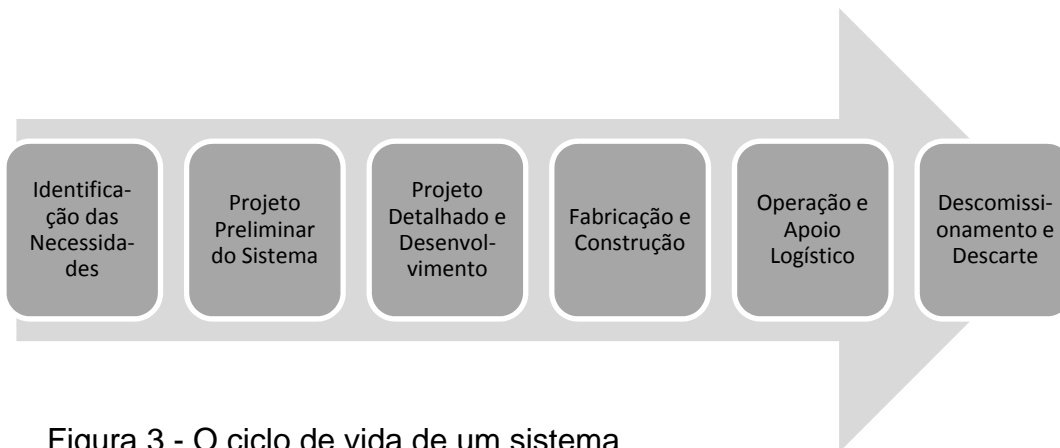


Figura 3 - O ciclo de vida de um sistema

Para uma abordagem mais abrangente da logística, o *Defense Systems Management College (DSMC)* aplica o conceito “*Integrated Logistic Support (ILS)*”. O *ILS* é uma abordagem disciplinada, unificada e iterativa das atividades gerenciais e técnicas necessárias para: (1) integrar as considerações de suporte (ou de apoio logístico) no projeto de sistemas e equipamentos; (2) desenvolver requisitos de suporte de forma coerente com os objetivos do projeto; (3) obter o suporte requerido; (4) e prover o suporte requerido durante a fase operacional do sistema ao menor custo possível (HAGAN, 2009; BLANCHARD, 2004).

Com base no *ILS* a Marinha do Brasil (MB) adota o conceito de “Apoio Logístico Integrado (ALI)”, cujo propósito é garantir o máximo de disponibilidade de um meio ou sistema a ser incorporado, durante a vida operativa prevista (EMA, 2003). A Marinha caracteriza o ALI por meio de três atributos básicos: (1) oportunidade - as questões do apoio logístico devem ser tratadas desde a fase de concepção do projeto do sistema; (2) amplitude – o planejamento logístico deve ser desenvolvido ao longo do ciclo de vida do sistema, desde a sua concepção até a sua desativação; e (3) integração – deve haver um esforço gerencial para integrar as questões logísticas no processo de tomada de decisão ao longo do projeto e do desenvolvimento do sistema.

O ALI tem como base a relação entre o custo e o benefício no qual o item custo refere-se ao conceito de “custo de posse” que, do ponto de vista do ciclo de vida do sistema, inclui, além da parcela relativa ao processo de aquisição, as parcelas de custo relativas à operação, manutenção e desativação. O item benefício

refere-se a capacidade do sistema cumprir a sua missão, ou seja a sua efetividade. Portanto, o sistema concebido na visão do ALI deve ser capaz de prover um serviço de acordo com os requisitos de desempenho pré-estabelecidos pelo usuário a um custo aceitável.

Jones (2006) argumenta que deve haver um bom equilíbrio entre o desempenho e as características de suportabilidade de um sistema, sustentado por investimentos razoáveis no projeto do sistema e no desenvolvimento de uma infraestrutura de suporte e manutenção, sendo o ALI a melhor ferramenta para alcançar tal equilíbrio. Assim, na perspectiva de quem adquire o sistema, as metas do ALI devem ser: (1) fazer com que as considerações de apoio logístico influenciem o projeto do sistema; (2) identificar e desenvolver requisitos de apoio que sejam relacionados à disponibilidade desejada do sistema; (3) adquirir o apoio logístico necessário; e (4) prover o apoio logístico desejado a um custo mínimo.

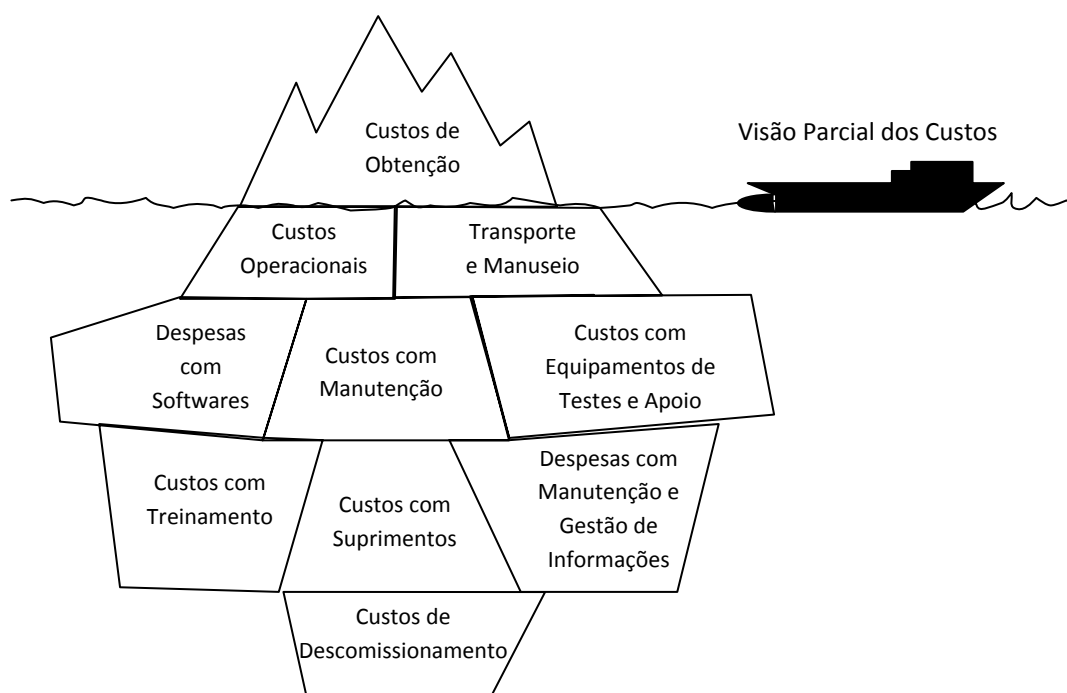
6 O ALI e os Desempenho Operacional e Disponibilidade

As necessidades operacionais do sistema devem ser analisadas de forma global e abrangente ao longo do ciclo de vida para assegurar que as funções esperadas sejam desempenhadas de forma efetiva, eficiente e eficaz. A infra-estrutura necessária para apoio logístico e manutenção precisa ser considerada como um dos elementos relevantes. Desde as fases iniciais do projeto é necessário conceber uma infra-estrutura adequada e confiável, disponível para prover suporte aos elementos do sistema relacionados com a sua missão primária.

6.1 Custo do Ciclo de Vida

O conceito de custo do ciclo de vida está associado às ações necessárias para garantir a efetividade do sistema. Concomitantemente ao esforço de engenharia no projeto e planejamento do sistema, é necessário um esforço para predizer a totalidade dos custos que serão incorridos, não restritos aos processos de obtenção do sistema. Também todos os custos relativos ao apoio logístico e à manutenção do sistema, bem como o custo de descomissionamento precisam ser considerados, já que em alguns casos eles podem ser bastantes elevados, como ocorre no caso da desativação de uma usina nuclear.

Na análise da relação “custo–efetividade” no projeto de um sistema há o risco de subestimação de avaliação do custo do ciclo de vida total, conforme ilustrado na Figura 4 pelo “iceberg”. Uma avaliação malfeita do custo do ciclo de vida pode implicar problemas de custos elevados no ciclo operacional e de manutenção do sistema, comprometendo a relação custo-efetividade. Para muitos sistemas os custos associados com o projeto e desenvolvimento, com a fabricação e construção, com a instalações de equipamentos e com o provisionamento inicial de recursos são relativamente bem conhecidos. Entretanto, os custos de longo prazo, relacionados com a operação, o suprimento, a manutenção do sistema, e o descomissionamento (que formam a base do “iceberg”) não são tão evidentes. Em geral os projetistas e gestores fazem boas estimativas dos custos relacionados ao processo de obtenção dos sistemas e nem sempre conseguem responder adequadamente as demandas de longo prazo (BLANCHARD, 2004).



Fonte: adaptada de Blanchard (2004)
Figura 4 – Custo do Ciclo de Vida Total

Tradicionalmente, a logística para apoiar e manter um sistema é pensada nas fases mais tardias do seu ciclo de vida. A infra-estrutura de apoio logístico começa a ser desenhada e implementada à medida que o início do ciclo

operacional se aproxima. Esta situação pode representar riscos gerenciais elevados por falta de uma análise integrada e abrangente do sistema.

Ainda nessa abordagem, Blanchard (2004) afirma que, na maioria dos casos, uma parcela muito significativa do custo do ciclo de vida de um sistema está relacionada com as atividades de operação e manutenção, podendo em certas situações alcançar a proporção de 75%. Em um processo de análise das relações de causas e efeitos, uma parte significativa destes custos é consequência das decisões tomadas ainda nas fases primordiais de planejamento e concepção do projeto (BLANCHARD; FABRYCKY, 2006). Nas fases iniciais do projeto de desenvolvimento de um novo sistema, os projetistas lidam com um conjunto de alternativas, em geral conflitantes entre si, e devem tomar uma série de decisões. Entre essas, estão as relativas à seleção de tecnologias e materiais, ao processo de fabricação e construção, às especificações de equipamentos e acessórios, aos requisitos e níveis de automação, ao projeto da infra-estrutura de apoio logístico e manutenção e outros itens. Tais decisões certamente terão grande influência nos custos na cadeia de atividades ao longo do ciclo de vida, como também influenciaram a efetividade do sistema em cumprir a sua missão.

Assim, fazer considerações sobre apoio logístico e manutenção nas fases iniciais do projeto de um sistema é um fator crítico para o sucesso da sua efetividade operacional. Embora as melhorias para redução de custos possam ser iniciadas em qualquer fase do ciclo de vida de um sistema, Blanchard (2004) demonstra que as melhores oportunidades para uma redução efetiva de custos encontram-se nas fases iniciais do projeto, como, por exemplo, na fase de concepção. Resumindo: as preocupações sobre logística e suportabilidade devem estar presentes desde o início do projeto para se garantir o nível de desempenho custo-efetividade almejado.

6.2 O ALI no Projeto de Sistemas

O desenvolvimento de um sistema complexo requer que seja alocado na estrutura gerencial de projeto um programa formal visando o desenvolvimento do apoio logístico para suporte e manutenção do futuro sistema. Esse programa para ser efetivo deve-se fundamentar no par responsabilidade e autoridade, conforme

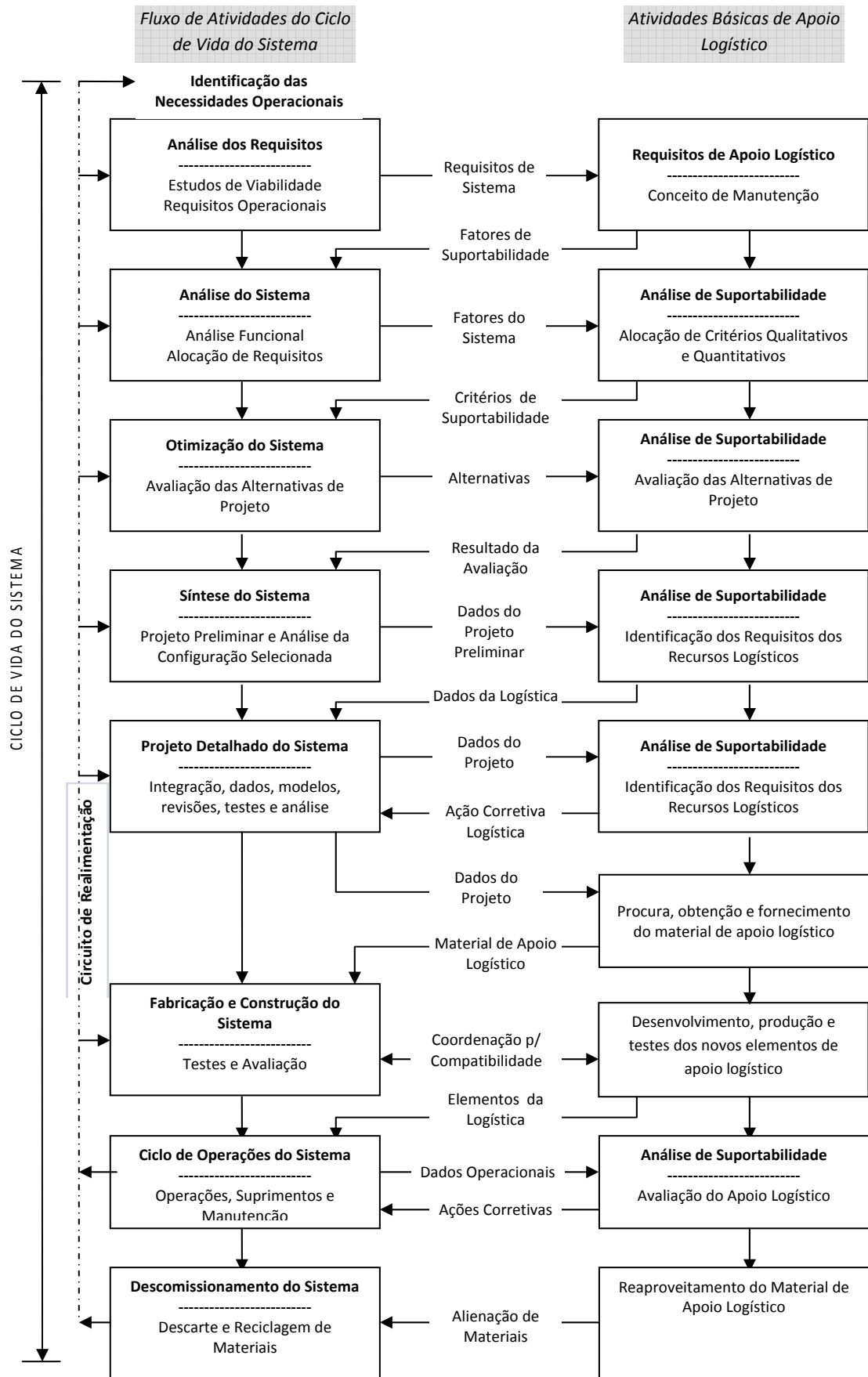
recomendam as melhores práticas de gerenciamento dos projetos. Isso quer dizer que uma vez reconhecida a existência do projeto, a organização deve prover um gerente com orçamento próprio para o desenvolvimento do ALI.

Um programa formal para o desenvolvimento do apoio logístico é um conjunto de regras e diretrizes para o balizamento do processo decisório, que garanta um nível de suportabilidade adequado ao nível de efetividade do futuro sistema. Portanto, o desenvolvimento do Apoio Logístico deve se desdobrar de forma coordenada com as demais atividades típicas de projeto, ao longo do ciclo de vida, conforme representado na Figura 5.

Uma vez reconhecida a necessidade de desenvolvimento de um novo sistema, começa no nível estratégico a definição dos requisitos operacionais desejáveis, de acordo com o perfil de missão, a forma de emprego e a utilização estabelecidos. Durante os estudos de exeqüibilidade são definidos alguns parâmetros de desempenho que repercutirão no desenvolvimento do apoio logístico - confiabilidade, disponibilidade, manutenibilidade e capacidade técnica. A partir dessas informações é possível iniciar o delineamento da infra-estrutura de apoio logístico e manutenção.

Deve ser observado que uma vez estabelecido objetivamente os contornos do projeto por meio dos critérios e das restrições, deve começar um trabalho de análise da suportabilidade à medida que se procede ao seu detalhamento a fim de garantir a efetividade do sistema.

As ações gerenciais do ALI devem garantir o provisionamento inicial dos recursos necessários para dar partida às atividades de comissionamento do sistema, antes de se iniciar o ciclo de operações. Devem estar finalizadas nessa época todos os planos de manutenção, com todo material e equipe bem definidos. Ao início do ciclo operacional devem começar as ações de transferência das atividades rotineiras de apoio logístico e manutenção para as funções técnicas e administrativas da organização, responsáveis pela operação do sistema.



Fonte: Blanchard (2004)

Figura 5 - Interfaces e relacionamento entre as atividades básicas de projeto e de logística

O desempenho dos serviços de apoio logístico e de manutenção deve ser acompanhado durante o ciclo operativo do sistema, por meio de análises de suportabilidade, com o intuito de aperfeiçoar o processo de desenvolvimento do apoio logístico.

A estrutura de apoio logístico também deverá atuar ao fim do ciclo de vida do sistema, gerenciando o descomissionamento e assegurando a correta destinação dos recursos desativados de acordo com o planejamento estabelecido.

7 Conclusão

Neste trabalho estabeleceram-se as características que categorizam um sistema como complexo, demonstrando a utilidade de uma abordagem sistêmica na qual se integram os elementos humanos e organizacionais aos seus elementos físicos.

Demonstrou-se que o desempenho funcional de um sistema não depende apenas de sua capacidade técnica, mas fundamentalmente dos serviços de manutenção e da qualidade do apoio logístico e disponibilizada pela organização.

Ao se considerar a efetividade de um sistema complexo, as questões relacionadas à confiabilidade, manutenibilidade, disponibilidade e apoio logístico têm papel fundamental no projeto.

Evidenciou-se que em conjunto com a efetividade do sistema se deve buscar uma visão integrada dos custos, englobando além dos relacionados à obtenção, os custos de operação, manutenção e descomissionamento. Assim, estabeleceu-se o conceito “custo-efetividade” no qual no cumprimento da sua missão, se procura buscar o equilíbrio entre o custo do ciclo de vida e a efetividade do sistema.

É conveniente promover uma abordagem integrada no projeto de um sistema complexo, na qual os elementos do apoio logístico e manutenção passam a ser funcionais. A adoção do ALI como ferramental de projeto é uma forma eficiente de considerar a suportabilidade no projeto de desenvolvimento de sistemas.

O emprego do ALI como ferramenta de projeto de desenvolvimento de sistemas proporciona:

- (1) Identificar de forma integrada e precisa, as necessidades operacionais do operador do futuro sistema, considerando desde a fase conceitual do projeto a logística de apoio e de manutenção, além dos aspectos relacionados com a sua capacidade técnica e efetividade;
- (2) Promover uma abordagem global do sistema por meio de uma perspectiva do ciclo de vida, possibilitando avaliar em profundidade os elementos relacionados com a missão, incluindo os de suporte e de manutenção;
- (3) Organizar de forma adequada e oportuna as atividades relacionadas à logística e integrá-las com as atividades típicas do projeto de engenharia;
- (4) Abordar o projeto de forma disciplinada por meio de ciclos revisionais, com os processos de avaliação e realimentação, assegurando que as questões sobre apoio logístico influenciem o projeto de desenvolvimento, e reciprocamente.

7 Referências

BLANCHARD, B. S. **Logistics Engineering and Management**. 6th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2004.

BLANCHARD, B. S.; FABRYCKY, W. J. **System Engineering and Analysis**. 4th ed. New Jersey: Pearson Prentice Hall, 2006.

BIERLY, III, P. E.; GALLAGHER, S.; SPENDER, J. C. **Innovation in High-Reliability Organizations**: a case study of United States and Russian Nuclear Attack Submarines, 1970 – 2000. IEEE Transactions on Engineering Management, Vol. 55, No. 3, 2008.

PECHT, M. **Product Reliability, Maintainability and Supportability**. 2nd ed. Boca Raton: CRC Press, 2009.

ESTADO MAIOR DA ARMADA. **EMA-400**: Manual de Logística da Marinha. Marinha do Brasil: Brasília, 2003.

JONES, J. V. **Integrated Logistics Support Handbook**. 3rd ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

GUIMARÃES, L. S. **Síntese de Doutrina de Segurança para Projeto e Operação de Submarinos Nucleares**. 1999. 645 p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

HAGAN, G. **Glossary of Defense Acquisition Acronyms and Terms**. 13th ed. Fort Belvoir: Defense Acquisition University Press, 2009.

HEYLIGHEN, F. **Building a Science of Complexity**. Annual Conference of the Cybernetic Society. London, 1988.

HOUAISS Eletrônico versão 2009.3. Rio de Janeiro: Ed. Objetivo, 2009.

HOLANDA, A. B. **Novo Dicionário Aurélio da Língua Portuguesa**. 3.ed. Rio de Janeiro: Ed. Positivo, 2004.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60300-1: Dependability Management – Part 1: Dependability Management Systems**. 2nd ed. Geneva: 2003.

LEITE, M. S. A.; BORNIA, A. C.; COELHO, C. C. S. R. **A Contribuição da Teoria da Complexidade à Modelagem de Sistemas**. XXIV Encontro Nacional de Engenharia de Produção. Florianópolis, 2004.

O'CONNOR, Patrick D. T. **Practical Reliability Engineering**. 4th ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 2002.

VITASEK, K. **Supply Chain Management Terms and Glossary**. 2010
< <http://cscmp.org/digital/glossary/glossary.asp>> . Acessado em 15 JUL 2011.

ZIO, E. **Reliability Engineering**: old and new challenges. Reliability Engineering and System Safety Journal, Vol. 94, 2009.

--- *** ---