

UMA ESTRUTURA GERAL DE DESDOBRAMENTO DE CUSTOS PARA O CÁLCULO DO CUSTO DE VIDA ÚTIL DE SISTEMAS.

Eduardo Siqueira Brick (PhD)
Núcleo de Logística Integrada e Sistemas (LOGIS/UFF)

Rogério Corrêa Borges
Departamento de Engenharia de Produção (UFF)

RESUMO

O cálculo do custo do ciclo de vida útil é um processo de análise econômica, implementado com o objetivo de estimar o custo total de aquisição e posse de um sistema. Esta análise é um importante instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisões durante as fases de projeto, desenvolvimento, fabricação e utilização do sistema.

No cômputo dos custos incorridos ao longo do ciclo de vida de um sistema, cada uma das fases de sua vida é subdividida em categorias mais específicas de atividades. A estrutura em árvore, assim obtida, é então denominada de Estrutura de Desdobramento de Custos (CBS – do inglês Cost Breakdown Structure). A Estrutura de Desdobramento de Custos consiste numa espécie de lista, ou plano de contas, geralmente organizada de forma hierárquica, que apresenta todos os itens de custo a serem considerados.

O objetivo do presente trabalho é o desenvolvimento de uma Estrutura de Desdobramento de Custos geral e detalhada, para o cálculo do custo de vida útil de um sistema técnico.

O passo inicial para o desenvolvimento da estrutura proposta foi o estabelecimento dos seus requisitos e a concepção de uma regra de formação genérica para a mencionada estrutura. Os passos seguintes foram a identificação de todos os elementos de custo associados a um dado projeto/sistema e o posicionamento de todos estes elementos de custo dentro da Estrutura de Desdobramento de Custos proposta. Finalmente, é apresentada uma Estrutura de Desdobramento de Custos obtida como resultado da análise descrita.

Palavras-Chave: Estrutura de Desdobramento de Custos, Engenharia de Sistemas, Apoio Logístico, Apoio à Decisão, Custo de Vida Útil.

1. Introdução

Uma grande quantidade de processos produtivos depende de ativos físicos constituídos por componentes que são influenciados, cada vez mais, pelos avanços tecnológicos. São exemplos desses sistemas, as frotas de aeronaves, navios ou viaturas, as fábricas, as indústrias extrativas ou de produção de matérias-primas básicas, entre outras. Denominaremos de sistemas técnicos a estes conjuntos de ativos.

Dentro do contexto atual, de elevada escassez de recursos e acirrada competição empresarial, a busca por sistemas técnicos confiáveis, de fácil manutenção, econômicos e de desempenho satisfatório é uma questão de sobrevivência organizacional. A decisão pela seleção e implementação destes sistemas não pode ser influenciada unicamente pelo custo inicial de sua aquisição, devendo-se também considerar os custos de manutenção, atualização e operação, observados durante toda a sua vida útil. Este custo total, relacionado à posse de um sistema técnico por uma organização que denominaremos genericamente como custo de vida útil (CVU), pode receber diversas outras denominações, com significados mais precisos e ligeiramente diferentes, conforme será definido posteriormente no texto. As outras denominações mais comuns são Custo de Ciclo de Vida (CCV), Custo Total de Posse (CTP) e Custo Total de Ciclo de Vida (CTCV).

Gupta (1983) afirma que em torno de 75% do custo de vida útil dos sistemas de armas típicos estão relacionados à sua operação e apoio. Situações semelhantes são também verificadas em sistemas técnicos utilizados em aplicações civis. Desta forma, o grande desafio para fabricantes e usuários passa a ser o desenvolvimento e a obtenção de sistemas técnicos de elevada disponibilidade, eficiência e eficácia. Nesta linha, considera-se que o processo de otimização dos custos incorridos durante a vida de um sistema deva ser originado tão logo tenha sido iniciada a sua concepção. Logicamente, ao longo das demais fases da vida, com base na disponibilidade de dados mais detalhados do sistema, o referido processo poderá ser refinado. Na realidade, as decisões tomadas durante a concepção, o projeto e a fabricação afetam o desempenho, a confiabilidade, a manutenibilidade e a suportabilidade do sistema, determinando, assim, o custo total de sua vida.

Dowlatshahi (1992) apresenta que, nas fases iniciais da vida de um sistema, são definidos entre 70 e 85% do seu custo de posse. Desta forma, projetistas e desenvolvedores de sistemas e produtos ocupam uma posição privilegiada na questão da redução do custo de vida útil, devendo levar em consideração os impactos causados por suas decisões de projeto no referido custo.

O cálculo do custo de vida útil é um processo de análise econômica e financeira, implementado com o objetivo de estimar o custo total de aquisição e posse de um sistema, bem como a incidência destes custos ao longo do tempo. Esta análise é um importante instrumento de auxílio ao processo de tomada de decisões durante as fases de projeto, desenvolvimento, fabricação e utilização do sistema. A partir da sua execução, é possível avaliar as várias configurações alternativas e as diferentes estratégias de operação e manutenção do sistema, bem como realizar análises de sensibilidade e “trade-offs”, entre outras.

No cômputo dos custos incorridos ao longo do ciclo de vida de um sistema, cada uma das fases de sua vida é subdividida em categorias mais específicas de atividades, sendo estas fases consideradas candidatas naturais à agregação dos elementos de custo. A estrutura em árvore, assim obtida, é então denominada de Estrutura de Desdobramento de Custos (CBS – do inglês Cost Breakdown Structure). Na realidade, os nós e ramos da estrutura desempenham a função de posicionadores dos elementos de custos e ganhos de capital das respectivas categorias (DAVIS, 2003). O custo de vida útil do sistema pode, então, ser obtido a partir do somatório dos valores definidos nos respectivos ramos, utilizando a adequada correção do valor monetário na base temporal, quando necessário.

Existem muitas maneiras de se construir uma Estrutura de Desdobramento de Custos, com muitas leis de formação possíveis, dependendo do tipo de cenário, do tipo de objetivo que se pretende alcançar com a análise e do tipo de sistema sendo considerado ou, até mesmo, das preferências pessoais do analista.

Esta multiplicidade de abordagem apresenta inúmeras desvantagens, tais como:

- a) dificuldade para comparações entre análises feitas para sistemas diferentes;
- b) dificuldade para criação de bases de dados para serem usados nas análises;
- c) dificuldade para criação de ferramentas computacionais para agilizar as análises;
- d) dificuldade para integração com outras bases de dados e ferramentas; e
- e) dificuldade para formação de analistas.

Tendo em vista estes problemas, o objetivo principal deste trabalho é o estabelecimento de uma regra geral de formação para uma Estrutura de Desdobramento de Custos.

A perspectiva adotada é a de um tomador de decisão envolvido na comparação de alternativas de componentes tecnológicos, utilizados para conceber e desenvolver um sistema técnico. É, pois, a perspectiva de uma pessoa envolvida com Engenharia de Sistemas ou Engenharia Concorrente de Sistemas.

Um dos produtos da análise é o desenvolvimento de uma Estrutura de Desdobramento de Custos geral e detalhada, que permita uma padronização das categorias de custo que podem ser consideradas no cálculo do custo de vida útil de um sistema técnico. Esta estrutura deve ser considerada como uma ferramenta que permitirá ao analista definir e contabilizar os elementos do custo de vida útil do sistema, auxiliando-o nos processos de tomada de decisões que determinarão o custo total. Constatou-se, assim, a necessidade e a importância do estudo dos aspectos envolvidos em sua implementação.

2. Conceituação de Sistemas Técnicos

Um sistema técnico é um tipo de sistema teleológico.

Sistema teleológico é um conjunto de entidades materiais, imateriais e biológicas unidas por relações de interdependência, que interagem entre si e com um ambiente externo, compondo um todo organizado e que tem finalidades específicas (BRICK, 1994).

Sistema técnico também pode ser definido como um conjunto de partes que interagem, segundo um plano ou princípio, para atingir um determinado fim. Um sistema técnico é, então, um sistema teleológico que é construído com componentes tecnológicos, materiais (equipamentos) e imateriais (softwares).

Dentro da perspectiva adotada neste trabalho, torna-se necessária a diferenciação entre sistemas idealizados (ou virtuais) e sistemas reais. Um sistema real é um ativo usado diretamente no alcance das finalidades de uma organização. Já um sistema idealizado, é um projeto do sistema, representado por protótipos, modelos, planos e formas, característicos de um determinado tipo de ativo. Um sistema real pode ser multiplicado para compor um ativo físico, citando-se, como exemplo, uma frota de aeronaves, viaturas ou embarcações, e sua quantidade afetará o custo de vida útil. O sistema virtual, por outro lado, embora tenha um custo, é único. Conseqüentemente, a contabilização do custo de vida útil de um sistema deverá levar em consideração as diferenças existentes entre os custos de sistemas reais e sistemas idealizados.

Ainda dentro do contexto deste trabalho, um produto é um sistema técnico completo ou um item material ou imaterial usado na sua fabricação, ou mesmo um recurso material usado na sua manutenção ou operação. São exemplos de produtos: sistemas, equipamentos, partes, softwares, instalações, documentos e ferramentas. Utilizando-se da conceituação básica da Unified Modelling Language (UML), Pilla (2003) definiu as seguintes subclasses para a classe produto (**Figura 1**):

- Sistema.
- Hardware.
- Software.
- Documentos.
- Instalações.
- Itens de consumo.
- Embalagens.

3. Engenharia Concorrente e Ciclo de Vida de Sistemas

A compreensão das fases do ciclo de vida do sistema é fundamental para a correspondente análise do seu custo total. O ciclo de vida de um sistema técnico é iniciado com a identificação da necessidade e prolonga-se pelas fases de projeto conceitual e preliminar, projeto detalhado e desenvolvimento, produção e/ou construção, utilização do sistema, descomissionamento e descarte. A **Figura 2** ilustra as fases do ciclo de vida, conforme acima mencionadas, em modelo idealizado por Blanchard (1998).

Igualmente essencial para a análise do custo do ciclo de vida é a identificação das atividades executadas em cada uma das fases, bem como do seu impacto no desempenho do sistema. Igualmente essencial para a análise do custo do ciclo de vida é a identificação das atividades executadas em cada uma das fases, bem como do seu impacto no desempenho do sistema, confiabilidade, manutenibilidade e outras características, e nos custos resultantes. Na realidade, cada uma das fases do ciclo contém um determinado número de atividades que contribui para o custo da respectiva fase. A **Figura 3** ilustra as fases do ciclo de vida de um sistema e respectivas atividades, de acordo com modelo apresentado pela IEC 300-3-3 (IEC, 1996).

Da forma como apresentado anteriormente, considera-se que, do ponto de vista da otimização dos custos do sistema, a análise do ciclo de vida deverá ser iniciada com a concepção do sistema, levando-se em consideração todas as suas fases e atividades.

Para Asiedu (1998), quando da fase da concepção, projeto e desenvolvimento do sistema, um dos principais aspectos a ser abordado é a análise do seu custo de vida útil. Nesta linha, apresenta que a análise deve ir além do produto/sistema em si, considerando simultaneamente o seu processo de manufatura e apoio logístico. Sugere assim a existência de três ciclos de vida coordenados e paralelos, iniciados a partir do momento em que ocorre a identificação da necessidade, conforme indicado na **Figura 4**. Um quarto ciclo poderia ser acrescentado, tratando do projeto do sistema de descomissionamento/descarte.

4. Recursos

Uma forma bem genérica de se estimar o custo de vida útil é contabilizar os recursos despendidos em todas as atividades de projeto, fabricação, operação, manutenção, atualização e descarte deste produto ou sistema. De maneira geral, um recurso representa uma disponibilidade financeira, material, humana ou imaterial consumida ou utilizada na execução de atividades. São exemplos de tipos de recursos: numerário, mão-de-obra, equipamentos de teste, sobressalentes, instalações, documentos técnicos, instrumentos, ferramentas, softwares de teste e apoio, consumíveis, energia, embalagens e

serviços. Pilla (2003), em seu modelo conceitual, definiu as seguintes subclasses para a classe recursos (**Figura 5**):

- Numerário.
- Mão-de-obra.
- Produto.
- Serviços.

Verifica-se pelas subclasses, referentes tanto à classe produtos como à classe recursos, anteriormente apresentadas, que a fronteira entre os conceitos de produtos e recursos é bastante tênue. Constata-se, inclusive, que alguns tipos de itens podem ser enquadrados tanto como produtos quanto como recursos. O RTO-TR-058 (OTAN, 2003) apresenta uma discussão sobre a diferenciação entre produtos e recursos. Na realidade, pode-se concluir que um produto é um tipo especial de recurso capaz de representar dois papéis quando associado a uma atividade:

- Pode representar um item a ser usado/consumido na execução da atividade; ou
- Pode representar o objeto ao qual a atividade está relacionada.

5. Conceituação de Custos

Martins (1990) conceitua custo como um sacrifício financeiro relativo a um bem ou serviço utilizado na produção de outros bens ou serviços. No contexto deste trabalho, custo pode ter um significado mais amplo, englobando dispêndios. Avaliar o custo de vida útil de um produto, ou sistema, implica na determinação de todos os custos associados às atividades relacionadas ao projeto, fabricação, operação, manutenção, atualização e descarte deste produto ou sistema. As mais importantes classificações de custos são as de custos diretos e indiretos e a de custos fixos e variáveis.

5.1 Custos diretos e indiretos

São considerados como custos diretos, todos os custos mensuráveis em quantidade e valor ao portador final de custos.

Hornngren (2000) define custos diretos como os que estão relacionados a um determinado objeto de custo e que podem ser identificados com este de maneira economicamente viável. Nestes casos, não se utiliza o critério de rateio ou apropriação, já que não oferecem dúvidas quanto à sua classificação. São exemplos de custos diretos: matéria-prima, mão-de-obra direta, energia, etc... Na perspectiva adotada neste trabalho, são os custos diretamente relacionados ao sistema técnico em consideração, ou a algum de seus componentes.

Quando se faz necessária a utilização de taxas de rateio, ou critérios de alocação, para se identificar ao portador final de custos, denominamos de custos indiretos. Hornngren (2000) define custos indiretos como os que estão relacionados a um determinado objeto de custo, mas não podem ser identificados com este de maneira economicamente viável. Também são considerados como custos indiretos, por razões meramente econômicas, os custos diretos de valores irrelevantes. O grande desafio é encontrar a melhor forma de ratear os custos indiretos. São exemplos de custos indiretos: mão-de-obra indireta, serviços de manutenção e seguros, quando não alocados diretamente, ou por impossibilidade real ou por não ser econômico, aluguel, etc...

A maneira mais comum de se estabelecer o rateio dos custos indiretos é fazê-lo proporcionalmente aos custos diretos. No entanto, com o uso intensivo cada vez maior de novas

tecnologias de produção, na busca da qualidade e de menores custos, a relação custos diretos versus custos indiretos é cada vez menor. A participação da mão-de-obra na composição do custo do produto, e até mesmo dos materiais diretos, tem sido reduzida, enquanto os custos indiretos vêm apresentando participação crescente na composição do custo.

5.2 Custos variáveis e fixos

A Contabilidade como um sistema gerencial de informações acumula os custos na proporção das necessidades de seus gestores, com o objetivo de acompanhar seu comportamento e de otimizar os recursos consumidos. Dentre as maneiras de acumular custos, temos: custos variáveis e custos fixos, que dizem respeito ao volume de produção ou nível de atividade. Os custos variáveis são aqueles que se alteram de conformidade com o nível de atividade, sendo compostos de todos os custos diretos e alguns custos indiretos. Já os custos fixos independem do nível de atividade, ou seja, apresentam sempre os mesmos valores totais num período específico. No contexto deste trabalho custos variáveis também são aqueles que dependem da quantidade de sistemas técnicos no ativo ou da quantidade de seus componentes.

5.3 Custos vinculados e não-vinculados

Adicionalmente às duas classificações anteriormente vistas, o RTO-TR-058 (OTAN, 2003) apresenta a classificação de custos vinculados e não-vinculados. Os custos vinculados referem-se às atividades e recursos que podem ser associados à aquisição, fabricação, operação, apoio e descarte do sistema. São exemplos de custos vinculados: os custos de operação, treinamento para a operação, etc... Já os custos não-vinculados são os que não podem ser facilmente associados ao sistema. São exemplos de custos não-vinculados: moradia, assistência médica e odontológica, lazer, recrutamento, etc...

6. Conceituação de Custo de Vida Útil

Para Atling (1993), os custos de vida útil de um produto, ou sistema, podem ser analisados sob o ponto de vista dos custos para o produtor, para o usuário e para a sociedade, sendo estes últimos relacionados essencialmente às questões ambientais e aos danos à saúde. Desta forma, o conceito de custo de vida útil depende da perspectiva da organização que faz a análise, podendo ocorrer três situações típicas:

- Produtor – usuário; a organização é responsável pela concepção, desenvolvimento, projeto e construção do sistema e pretende utilizá-lo até a sua desativação final;
- Comprador – usuário; a organização adquire um sistema já pronto e pretende utilizá-lo até a sua desativação final; e
- Produtor – apoiador; a organização é responsável pela concepção, projeto e construção do produto, mas não é o seu usuário final e tem responsabilidades com a sua distribuição e com o apoio continuado aos clientes.

Conforme o RTO-TR-058 (OTAN, 2003) a quantidade de conceitos e definições para custo de vida útil de um sistema é muito grande. No entanto, não são raros os casos em que terminologias diferenciadas são utilizadas para representar as mesmas coisas. Neste sentido, com base nas

classificações de custos e tipos de análises anteriormente discutidas, apresentam os seguintes conceitos e definições, representadas na **Figura 6**;

a) Custo de Ciclo de Vida (CCV): engloba o somatório de todos os custos diretos e custos indiretos variáveis, associados às atividades de aquisição, operação, apoio e desativação do sistema. Todos os custos indiretos relacionados às atividades e recursos que não são afetados pela introdução do sistema em operação, não fazem parte do CCV. De uma forma geral, o CCV é utilizado na comparação entre alternativas de estruturas de sistemas técnicos e em análises econômicas.

b) Custo Total de Posse (CTP): consiste de todos os elementos do CCV mais os custos indiretos - fixos - vinculados. Estes últimos poderão incluir itens como equipamentos de apoio e instalações comuns a outros sistemas, administração, supervisão, planejamento e controle, etc... O CTP representa todos os custos associados ao proprietário do sistema e relacionados à sua posse. O CTP tem o seu enfoque voltado para a elaboração de orçamentos pluri-anuais e otimização de custos, sendo utilizado em análises financeiras.

c) Custo Total de Ciclo de Vida (CTCV): consiste de todos os elementos do CTP mais os custos indiretos - fixos - não-vinculados. Nestes últimos, incluem-se os custos de moradia, serviços médicos e assistenciais, treinamento básico não associados ao sistema, recrutamento, etc... No CTCV todos os custos ou despesas da organização são associados ao sistema, possibilitando a visualização completa da alocação de recursos. O CTCV é utilizado em estudos estratégicos e de alto nível.

6.1 Cálculo do Custo de Vida Útil

De uma forma geral, dentro de uma visão compatível com o sistema atual de custeio ABC, o cálculo do custo de vida útil de um sistema pode ser entendido como o somatório dos valores dos recursos consumidos pela execução de atividades relacionadas a produtos, ou ainda pelas conseqüências advindas da indisponibilidade, ou perda de capacidade produtiva, do sistema. Os valores destes recursos são determinados a partir da utilização de técnicas de estimativa, definidas de acordo com a natureza do problema em questão e com as necessidades e objetivos da análise.

Para Pilla (2003) os custos relativos à execução das atividades ao longo do ciclo de vida de um sistema são estimados por meio da utilização dos “modelos de custo de atividades”, entendendo-se modelo como uma representação simplificada do mundo real. Na realidade, os “modelos de custo de atividades” podem interagir entre si e são de três tipos principais:

- Modelos de geração de eventos: utilizados na previsão dos instantes de tempo de ocorrência dos diversos eventos relacionados a uma atividade ou, de uma forma mais agregada, da quantidade de eventos a serem executados num determinado intervalo de tempo.
- Modelos de consumo de recursos: utilizados na previsão da quantidade total a ser consumida de um determinado recurso na execução de uma atividade iniciada por um evento.
- Modelos de custo de recurso: utilizados na previsão dos valores financeiros relativos ao consumo de um recurso na execução de uma atividade.

Com vistas ao cálculo do custo de vida útil deverá também ser adotado um conjunto de suposições gerais, correspondentes ao cenário de análise. Dentro do contexto do cenário serão definidos, entre outros:

- os parâmetros gerais que deverão ser considerados (tempo de ciclo de vida do projeto, data de início do projeto, taxa de inflação, taxa de desconto, etc...);
- os órgãos que poderão demandar e executar atividades;
- a cadeia de apoio entre os órgãos (estrutura de apoio/manutenção);
- a quantidade e o perfil de funcionamento dos produtos nos órgãos operativos; e

- o calendário do ciclo de vida do produto em cada órgão operativo dentro do cenário (entrada em operação, atualizações, retirada de operação, etc...).

6.2 Tipos de Análise

Com base na estimativa dos valores dos custos de vida útil do sistema, o RTO-TR-058 (OTAN, 2003) apresenta dois tipos de análise que poderão ser efetuadas pelo tomador de decisão: análise econômica e análise financeira.

A análise econômica assume, usualmente, a forma de uma análise de custo-benefício ou de custo-eficácia. A análise de custo-benefício consiste, basicamente, na estimativa e quantificação monetária de todos os elementos de custos e ganhos de capital associados a uma atividade. Possibilita a avaliação do problema em estudo e a seleção entre alternativas a partir da comparação dos valores monetários estimados para os custos e benefícios em um determinado instante de tempo, utilizando-se normalmente os seus valores presentes. A análise de custo-eficácia compara os custos associados à alternativa em análise com a sua medida de eficácia no alcance do objetivo da missão proposta. Neste caso, os custos também são considerados em um dado instante de tempo, usualmente o valor presente, permitindo assim, que alternativas mais eficazes e de menores custos possam ser selecionadas.

A análise financeira considera todo o fluxo de caixa a ser observado durante o tempo de vida previsto para o caso em estudo, possibilitando, assim, a identificação do necessário provimento de recursos futuros. Permite, desta forma, o traçado do comportamento temporal dos custos associados ao sistema (do inglês “cost profile”).

Pilla (2003) apresenta que, de forma geral, a análise do custo de vida útil pode ser usada para: avaliação de propostas de fornecedores sob a perspectiva de custos e eficácia, avaliação/comparação entre tecnologias alternativas no desenvolvimento de sistemas, avaliação de viabilidade econômica de projetos/produtos, avaliação de diferentes perfis operacionais de sistemas e cenários de missão, avaliação de conceitos alternativos de manutenção e apoio logístico, avaliação de alternativas de transporte de componentes, materiais e sobressalentes, avaliação/seleção de locais para instalação de unidades de operação e apoio, avaliação das decisões acerca dos níveis ótimos de estoques de sobressalentes e avaliação das decisões acerca da alocação de recursos na estrutura de apoio logístico.

7. Estrutura de Desdobramento de Custos

Como já visto, o desdobramento do custo total em seus elementos de custo constituintes é necessário para a realização do cálculo de vida útil. Os elementos de custo são atividades que consomem recursos e podem ser representadas por um valor financeiro. Estes elementos de custos devem ser identificados individualmente, de forma que possam ser distinguidos e estimados. A IEC 300-3-3 apresenta um método para identificação dos elementos de custos, conforme representado na **Figura 7**. Consiste na representação de uma matriz tridimensional, envolvendo a identificação dos seguintes aspectos:

- A fase do ciclo de vida e a atividade executada
- O produto ao qual a atividade está relacionada
- A categoria de custo dos recursos aplicáveis à atividade executada

Na mesma linha, o RTO-TR-058 (OTAN, 2003) entende que um elemento de custo da estrutura de desdobramento deve ser associado a três itens básicos:

- produto;

- atividade; e
- recurso.

Portanto, para a definição da estrutura acima proposta, seria necessário o desenvolvimento de uma “árvore de produtos” que compõem o sistema, uma “lista de atividades” a serem executadas ao longo do ciclo de vida e uma “lista de recursos” a serem consumidos na execução das atividades. A estrutura seria configurada, então, a partir da combinação destas três listas, conforme ilustrado na **Figura 8**.

A proposta do modelo estrutural para a definição da Estrutura de Desdobramento de Custos apresentada por Pilla (2003) inclui a visão dos órgãos que demandam e executam as atividades. Na realidade, adota-se a suposição de que qualquer atividade relacionada a um produto deve, sempre, ser demandada e executada por órgãos, que não serão necessariamente os mesmos. Em alguns casos, o conceito de órgão que demanda e/ou executa a atividade pode ser indiferente para o analista. Entretanto, com vistas a ampliar as possibilidades da estrutura a ser proposta, considera-se adequada a utilização destes conceitos. Este conceito é útil, por exemplo, quando se deseja fazer uma análise de nível de reparo.

Dentro da Estrutura de Desdobramento de Custos, os elementos de custo serão agregados em categorias afins, na respectiva fase do ciclo de vida. Considera-se, então, que a Estrutura de Desdobramento de Custos, como a apresentada na **Figura 9**, consiste numa espécie de lista, ou plano de contas, geralmente organizada de forma hierárquica, que apresenta todos os itens de custo a serem considerados.

Na perspectiva adotada neste trabalho, com base nos tipos de análise de custo de vida útil apresentados e na discussão anterior a respeito da identificação dos elementos de custo, considera-se que a Estrutura de Desdobramento de Custos deve estar associada aos seguintes aspectos:

- Fase da vida;
- Atividade;
- Produto;
- Recurso;
- Órgão de demanda; e
- Órgão de execução.

O elemento de custo com a configuração proposta, possibilitará a estimativa e contabilização dos seguintes custos:

- custo total associado a um determinado produto do sistema.
- custo associado aos produtos de maior impacto no custo total de posse do sistema (do inglês “high cost contributor”), bem como a identificação dos referidos produtos.
- custo total associado a uma determinada fase da vida de um sistema.
- custos gerados pelo consumo de recursos na execução de atividades ao longo do ciclo de vida.
- custos associados à avaliação/recomendação da política de manutenção para o sistema e seus componentes.
- custos decorrentes das conseqüências de eventos ou da execução de atividades (por exemplo, custos por indisponibilidade).
- custos associados aos riscos envolvidos na utilização do sistema.
- custos comparativos dos diferentes cenários de análise.
- custos associados às avaliações das decisões acerca do projeto e seleção de componentes do sistema.
- custos financeiros de longo prazo.
- custos alocados aos órgãos que demandam e executam atividades (centros de custos).

8. Proposta de uma Estrutura de Desdobramento de Custos Geral e Detalhada

O passo inicial para o desenvolvimento da estrutura proposta foi o estabelecimento de requisitos. Para Blanchard (1998) uma Estrutura de Desdobramento de Custos deve ser desenvolvida de modo a apresentar, no mínimo, os seguintes requisitos:

- Todos os elementos de custo do sistema devem ser considerados.
- Cada categoria de custo deve ser relacionada a uma função, um nível de atividade e/ou algum item de hardware/software.
- A estrutura deve ser codificada de maneira hierárquica e as categorias devem ser organizadas de modo a permitir a análise de áreas específicas de interesse.
- A estrutura de custos deve ser compatível com os procedimentos gerenciais e contábeis utilizados na coleta dos dados de custos.

O RTO-TR-058 (OTAN, 2003) apresenta alguns exemplos de estrutura de desdobramento nacionais desenvolvidas e utilizadas por países membros da OTAN. A comparação dessas estruturas comprova a multiplicidade de abordagem existente neste tipo de ferramenta, conforme já anteriormente mencionado. De uma forma geral, foram verificadas as seguintes constatações a partir da análise efetuada, constatações estas a serem utilizadas como subsídios para a elaboração dos requisitos de uma estrutura genérica:

- Os elementos de custo principais, ocupando os níveis de endentação mais elevados dentro da estrutura, são normalmente considerados e contabilizados pela maioria das estruturas.
- Os elementos de custo principais, citados no item anterior, são subdivididos, de uma maneira não uniforme, em elementos de níveis de endentação inferiores. Verifica-se, em alguns casos, que estas subdivisões nem sempre ocupam o mesmo nível de endentação.
- O número de elementos de custos considerados e contabilizados é extremamente variável.
- São utilizadas terminologias diferentes para designar elementos de custos equivalentes.

No contexto deste trabalho, foram definidos os seguintes requisitos, adicionalmente aos anteriormente apresentados:

- A estrutura deve ser de fácil implementação, utilização e atualização pelos analistas.
- Todos os elementos de custo devem ser identificados de maneira uniforme.
- A estrutura deve permitir a comparação e combinação com outras estruturas.
- As definições e conceitos utilizados devem ser claros e abrangentes.
- A estrutura deve considerar as especificidades do produto/sistema em análise.

Os passos seguintes na elaboração da estrutura proposta foram:

- Identificar todos os elementos de custo associados a um dado projeto ou sistema.
- Posicionar todos os elementos de custo identificados dentro da Estrutura de Desdobramento de Custos proposta.

8.1 – Identificação dos Elementos de Custo

A identificação dos elementos de custo partiu do pressuposto, já anteriormente apresentado, de que nos níveis de endentação mais baixos de uma estrutura de desdobramento o custo está associado aos seguintes aspectos básicos: fase da vida, atividade, produto, recurso, órgão de demanda e órgão de execução.

Com o intuito de possibilitar o desenvolvimento da estrutura, foram necessárias uma melhor definição, conceituação e padronização de alguns destes aspectos a serem utilizados na sua elaboração.

8.1.1 – Definição e Conceituação das Fases do Ciclo de Vida a serem utilizadas

O ciclo de vida foi modelado a partir da suposição da existência de cinco fases, conforme abaixo apresentadas:

Concepção e Definição (CD): fase onde são conduzidas as atividades executadas para analisar a exequibilidade do produto/sistema considerado.

Projeto e Desenvolvimento (PD): fase onde são realizadas as atividades para que o produto/sistema considerado seja capaz de cumprir os requisitos das especificações definidas na fase anterior. Realizam-se também os testes para a comprovação da conformidade do produto/sistema aos requisitos definidos. Estas duas fases iniciais lidam com o sistema idealizado, que servirá de base para a construção dos sistemas reais.

Fabricação/Construção (FC): refere-se à fase de produção efetiva do produto/sistema considerado e a sua colocação em serviço. Ao fim desta fase o sistema idealizado se materializa em uma ou mais instâncias de sistemas reais.

Utilização (UT): fase onde é observada a utilização propriamente dita do produto/sistema considerado.

Atualização/Modernização (AM): fase onde são executadas atividades de atualização e modernização de um item, produto ou sistema, ao longo de sua meia vida.

Descomissionamento (DS): fase onde são conduzidas as atividades de retirada de operação do produto/sistema considerado, incluindo sua desmontagem, alienação ou reciclagem.

8.1.2 - Definição e Conceituação das Atividades a serem utilizadas

Quando do estabelecimento do conjunto das atividades a serem incorporadas na estrutura de desdobramento proposta, procurou-se obter uma listagem abrangente e geral, englobando todas as possíveis atividades aplicadas ao produto/sistema. Com base nas terminologias apresentadas e utilizadas nas referências bibliográficas consultadas, conforme indicado na **Tabela 1**, obteve-se o seguinte conjunto de atividades:

Gerenciamento (GER): planejar, dirigir e controlar.

Pesquisa, estudos e análises (PEA): investigações com o intuito de adquirir informação e exames detalhados na tentativa de descobrir e conhecer mais sobre um determinado assunto.

Simulação (SIM): utilização de modelos para representação simplificada de eventos mais complexos do mundo real.

Engenharia (ENG): utilização de conhecimentos científicos e empíricos para o desenvolvimento e aplicação de tecnologia. Identificada a necessidade dos seguintes complementos para uma melhor definição desta atividade;

- Projeto (PRO); e
- Desenvolvimento (DES).

Aquisição (OBT): aquisição de produtos/sistemas já existentes no mercado.

Fabricação (FAB): fabricação/construção do produto/sistema considerado.

Integração (INT): combinação harmoniosa de elementos diversos em um produto ou sistema.

Testes (TES): verificação do funcionamento correto de um determinado item, produto ou sistema, e do seu grau de eficácia.

Treinamento (TRE): treinar, capacitar e qualificar pessoas. Identificada a necessidade dos seguintes complementos para uma melhor definição desta atividade;

- Operação (OPE); e
- Manutenção (MAN).

Instalação (INS): posicionar um item, produto ou sistema em um determinado local e prepará-lo para a utilização.

Comissionamento (COS): certificação do funcionamento de um item, produto ou sistema logo após a sua instalação.

Operação (OPE): funcionamento de um dado item, produto ou sistema.

Manutenção (MAN): ação de manter ou conservar um item, produto ou sistema em condições de funcionamento. Aditem-se os seguintes complementos para sua melhor identificação.

- Preventiva (PRE);
- Corretiva (COR);
- Sob condição (CON);
- Paradas (PAR); e
- Outras (OUT).

Descomissionamento (RET): retirada de operação.

Desativação (DAS): tornar o sistema inativo.

Descarte (ALI): alienação ou reciclagem do item, produto ou sistema em consideração.

Perda de produção (DIF): parada ou redução de produção causada por eventos.

Pressupondo o caráter abrangente e detalhado da estrutura em desenvolvimento, a listagem acima foi elaborada com a pretensão de ser geral e suficiente para a identificação de todos os elementos de custos possíveis.

	<i>IEC 300-3-3</i>	<i>RTO-TR-058</i>	<i>MIL-STD-1388-2D</i>
Gerenciamento	•	•	
Pesquisa, estudos e análises		•	
Simulação		•	
Engenharia (Projeto)	•	•	
Engenharia (Desenvolvimento)	•	•	
Fabricação	•	•	
Testes	•	•	•
Aquisição de sistemas existentes/itens pré-existentes comercialmente	•	•	
Integração		•	
Instalação	•	•	•
Comissionamento			
Treinamento (Operação)	•	•	
Treinamento (Manutenção)	•	•	
Operação	•	•	•
Manutenção (Preventiva)	•	•	•
Manutenção (Corretiva)	•	•	•
Manutenção (Sob condição)	•	•	•
Manutenção (Paradas)	•	•	•

Manutenção (Outras)	•	•	•
Perda de produção			
Descomissionamento	•		•
Descarte	•	•	•

Tabela 1: Atividades apresentadas nas referências.

8.1.3 - Definição dos Produtos a serem utilizados

Neste caso, um ponto importante a ser destacado é o fato de que os produtos também podem ser classificados como referentes à missão principal, apoio ou produção. Pilla (2003) propõe, inclusive, a classe missão do produto, à qual os diversos itens podem estar relacionados, identificando-os como de “Missão Principal” ou de “Missão de Apoio”. Adicionalmente, o RTO-TR-058 (OTAN, 2003) apresenta a classe “Missão Produção” relacionada aos produtos utilizados na fabricação/produção dos produtos do sistema. A **Tabela 2** apresenta, dentro do contexto do desenvolvimento da estrutura proposta, as classificações dos tipos de produtos anteriormente descritos.

	Missão		
	Principal	Apoio	Produção
Hardware	EQP	EQA	EQM
Documentação	DOP	DOA	DOM
Instalações	EDP	EDA	EDM
Softwares	SOW		

Tabela 2: Classificação dos tipos de produtos.

8.1.4 - Definição dos Recursos a serem utilizados

Com base na conceituação de recursos, anteriormente apresentada, procurou-se elaborar uma listagem de todos os diferentes tipos de recursos possíveis de serem associados às várias atividades. A **Tabela 3** apresenta a referida lista.

RECURSOS	
Numerário (DINH)	Documentação (DOCT)
Mão-de-Obra (MODB)	Embalagem (EMBL)
Hardware	Serviços
Equipamentos (EQIP)	Locação (LOCA)
Partes e sobressalentes (PART)	Seguros (SAFE)
Ferramentas (FERR)	Estadia (ESTA)
Instrumentos (INST)	Transporte (TRNS)
Software (SOFT)	Armazenagem (ARMZ)
Itens de consumo	Terceirização (TERC)
Energia (ENER)	Obtenção (OBTÇ)
Matéria-prima (MPRI)	Consultoria (CNST)
Consumíveis (CONS)	Manuseio (MANU)

Instalações (INST)	
--------------------	--

Tabela 3: Relação de recursos.

8.2 – Posicionamento dos Elementos de Custo na Estrutura

Cada um dos elementos de custo, a serem posicionados na estrutura, é na realidade uma composição dos aspectos apresentados no item anterior. Desta forma, a partir do conjunto de fases, atividades, produtos e recursos definidos, bem como suas respectivas terminologias e simbologias, foi sugerida uma metodologia de representação dos elementos de custo. A metodologia consiste na combinação ordenada dos símbolos de cada um dos aspectos fundamentais de um elemento de custo, símbolos estes também apresentados no item anterior. Para fins de exemplificação, apresentamos o seguinte elemento de custo e suas respectivas ordens de combinação e identificação:

UT _ MAN (UNP) _ EQP _ MODB _ ORG1 _ ORG2

UT – Fase de utilização

MAN (UNP) – Manutenção (Não planejada [complemento da atividade])

EQP – Equipamento principal

MODB – Mão-de-obra

ORG1 – Órgão de demanda

ORG2 – Órgão de execução

O elemento acima representa o custo da mão-de-obra, durante a fase de utilização do produto/sistema considerado, na execução de manutenção não-planejada do equipamento principal. A atividade de manutenção não-planejada foi demandada pelo órgão ORG1 e executada pelo órgão ORG2. Verifica-se assim que a descrição do elemento apresenta a fase do ciclo de vida, a atividade executada, o produto ao qual a atividade está relacionada, recurso consumido e os órgãos de demanda e execução.

Procedeu-se, então, a inserção de todos os elementos de custo identificados na estrutura sob o ponto de vista da possibilidade e exequibilidade da ocorrência do elemento em cada uma das fases. A **Tabela 4** apresenta a Estrutura de Desdobramento de Custos obtida como resultado da análise descrita. A estrutura foi idealizada com o intuito também de atender aos requisitos apresentados, tendo sido fundamentada na consideração dos aspectos principais de um elemento de custo.

9. Conclusões

As Estruturas de Desdobramento de Custos revistas durante o estudo apresentam uma multiplicidade de abordagem. Fundamentalmente, inúmeras dificuldades são originadas a partir das diferenças verificadas entre as muitas leis de formação das estruturas existentes. Estas diferenças existentes são consideráveis, justificando assim a necessidade do desenvolvimento de uma estrutura geral e detalhada, de forma padronizada.

Como objetivo principal deste trabalho, com o intuito de contribuir para a eliminação das dificuldades existentes na utilização desta ferramenta, foi estabelecida uma regra geral de formação para uma Estrutura de Desdobramento de Custos genérica. Neste contexto, a identificação dos elementos de custo associada aos aspectos: fase da vida, atividade, produto, recurso, órgão de demanda e órgão de execução, foi considerada adequada ao desenvolvimento da estrutura proposta.

Por sua natureza essencialmente geral e abrangente, a estrutura apresentada na Tabela 4, como resultado da análise efetuada, foi desenvolvida com a intenção de apresentar todos os elementos de

custos possíveis, inserindo-os na referida estrutura. A citada inserção é passível de ser realizada com base na análise da possibilidade e exequibilidade da ocorrência do elemento a ser posicionado em sua respectiva fase. Do ponto de vista das aplicações à situações e estruturas específicas, considera-se que elas serão realizadas a partir da adaptação da estrutura genérica. Desta forma, é esperado que esta adaptação resulte em simplificações e eliminações dos elementos de custo da Tabela 4 não observados nos casos particulares em análise.

9. Referências Bibliográficas

- ASIEDU, Y. & GU, P. Product life cycle cost analysis: state of the art review. *Int. Jnl. Of Production Research*, v. 36, n. 4, p. 883-908, 1998.
- ATLING, L. Life Cycle Design of Products: a New Opportunity for Manufacturing Enterprises. *Concurrent Engineering: Automation, Tools and Techniques*, p. 1-17, 1993.
- BLANCHARD, B. S. *Logistics Engineering and Management*. 5th Edition. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice-Hall, 1998.
- BRICK, E.S. – A Generic Idealized Model for Complex Teleological Systems. Anais da Third International Conference on Systems Integration. IEEE Computer Press. Vol.1, p.515-524, 1994.
- DAVIS, N.; JONES, J. & WARRINGTON, L. A Framework for Documenting and Analyzing Life-Cycle Costs Using a Simple Network Based Representation. Anais do Annual Reliability, Availability and Maintainability Symposium. *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, 2003.
- DEPARTMENT OF DEFENSE. *MIL-STD-1388-2B*: DoD Requirements for a Logistic Support Analysis Record. 1991.
- DOWLATSHAHI, S. Product Design in a Concurrent Engineering: an Optimization Approach. *Journal of Production Research*, v. 30, n. 8, p. 1803-1818, 1992.
- FABRYCKY, W. J. & BLANCHARD, W. J. *Life Cycle Cost and Economic Analysis*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall, 1991.
- GUPTA, Y. P. Life Cycle Cost Models and Associated Uncertainties. *Electronics Systems Effectiveness and Life Cycle Costing*, NATO ASI Series, v. F, p. 535-549, 1983.
- HORNGREN, C. T. FOSTER & G. DATAR, S. M. *Contabilidade de Custos*. Rio de Janeiro: Ed. Livros Técnicos e Científicos, 2000.
- IEC - INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION - IEC300-3-3: Part 3 Application Guide. Section 3: Life Cycle Costing, 1996.
- MARTINS, E. *Contabilidade de Custos*. São Paulo: Ed. Atlas, 1990.
- OTAN - ORGANIZAÇÃO DO TRATADO DO ATLÂNTICO NORTE. *RTO-TR-058*: Cost Structure and Life Cycle Costs for Military Systems. 2003.
- PILLA, L. H. L. *Um modelo conceitual para o processo de Análise do Custo de CVU*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal Fluminense, Niterói. 2003.