

4º PRÊMIO TECNOLOGIA E DESENVOLVIMENTO METROFERROVIÁRIOS

CATEGORIA 3

METODOLOGIAS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS EM PROJETOS

METROFERROVIÁRIOS COMPLEXOS: REDUZINDO PLEITOS E AUMENTANDO A
QUALIDADE DO PRODUTO, SIMULTANEAMENTE

INTRODUÇÃO

Projetos de sistemas metroferroviários são caros e complexos, e as dificuldades técnicas para lidar com as suas complexidades (a distribuição geográfica, grande quantidade de interfaces, a multidisciplinaridade e tantas outras) são imensas. Muitos destes sistemas são vitais e exigem processos específicos para que a segurança operacional (ou o *safety*¹) do sistema seja atingida, comprovada e mantida.

1 Safety é um termo que representa o nível de segurança dos usuários, operadores e mantenedores de um sistema enquanto ele estiver em operação. De um modo geral, quanto maior o safety, menor a probabilidade de uma falha de um sistema em operação causar dano à via humana, ao meio ambiente ou ao patrimônio.

Um projeto pode ser considerado de sucesso quando todos os seus objetivos são atingidos. Apesar de os projetos tipicamente obterem sucesso em atingir alguns de seus objetivos, muitos projetos falham em atingir objetivos estratégicos de longo prazo, falhas tais que só podem ser observadas ao longo do período de operação e manutenção. Erros de projeto, funcionalidades inadequadas, funções faltantes, dificuldade em realizar a manutenção, alto custo de peças de reposição, falta de padronização nos equipamentos e redução de disponibilidade são algumas das falhas que muitas vezes são detectadas somente no período de operação e manutenção, mas poderiam ter sido evitadas na fase de projeto.

De acordo com a *PMI's Pulse of the Profession (2014)*, dentre os projetos que falham, 47% o fazem devido a um **mau gerenciamento de requisitos**, sendo esta a causa primordial de falha em projetos. Alguém pode ser capaz de concluir erroneamente que as partes interessadas deveriam ser capazes de estabelecer uma lista de requisitos completa para o projeto², de forma que a equipe do projeto possa trabalhar focada em prevenir as causas das falhas supracitadas, e que assim o sistema será construído de forma a desempenhar suas funções corretamente e operar dentro dos parâmetros de RAMS³ e custo operacional, para a aplicação a qual ele foi projetado.

2 Levando em consideração que, de acordo com o PMI, os requisitos do projeto e do produto se originam das partes interessadas.

3 RAMS é o acrônimo em inglês para Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Safety os quatro parâmetros que influenciam o desempenho funcional de um sistema a longo prazo. Enquanto a confiabilidade e a disponibilidade estão relacionadas com a taxa de falha de uma função de um sistema, a manutenibilidade está relacionada com a facilidade e o custo de se realizar a manutenção no sistema.

Essa interpretação é tremendamente falaciosa, porque basicamente atribui toda (ou quase toda) a responsabilidade das falhas do projeto às partes interessadas ou à incapacidade da equipe do projeto em seguir o processo de gerenciamento de requisitos, quando na verdade, deve ser questionado também **o método utilizado para transformar requisitos em produtos** e a capacidade técnica da equipe que está fazendo essa transformação, tipicamente chamada de equipe de design de sistemas.

A necessidade de repensar os métodos de gerenciamento de projetos e de design é urgente e inadiável. De acordo com Flyvbjerg (2003), projetos de sistemas metroferroviários possuem custos finais médios 45% maiores que os custos estimados no início do projeto. Em uma abordagem pragmática, a quantia gasta com dois projetos de sistemas metroviários seria capaz de financiar três projetos de mesmo porte. Os recursos economizados com a melhor administração de projetos poderiam ser revertidos em novos investimentos e vantagens para as empresas e a sociedade, como serviços de transporte mais baratos e de melhor qualidade.

Manter os custos do projeto sob controle não é suficiente. É necessário **baixar os custos**, melhorando a qualidade da instalação, o nível de segurança, o escopo, as funcionalidades, o desempenho do produto e o RAMS **ao mesmo tempo**.

A busca por uma abordagem para ajudar a resolver esse desafio nos leva ao escritório de controladoria de projetos da NASA. De acordo com Gruhl (1992), a **engenharia de sistemas é o fator determinante** para elevar a qualidade e manter ou reduzir o custo e o tempo de projetos altamente complexos. Em seu relatório que apresentava o resultado dos estudos da controladoria da NASA, baseado no resultado de 32 grandes projetos, ele apresenta uma

3

relação entre o percentual do orçamento do projeto investido em engenharia de sistemas, em especial, no design e definição de sistemas (no eixo horizontal) e o percentual de sobre custo (em relação ao orçamento original) ao fim do projeto (no eixo vertical). O gráfico pode ser observado na figura 1. Gruhl também traçou uma linha de tendência, cujo formato o fez concluir que, idealmente, em projetos complexos, deve ser empenhado cerca de 15% do valor total do orçamento do projeto em esforços de design e definições técnicas, processos baseados em engenharia de sistemas.

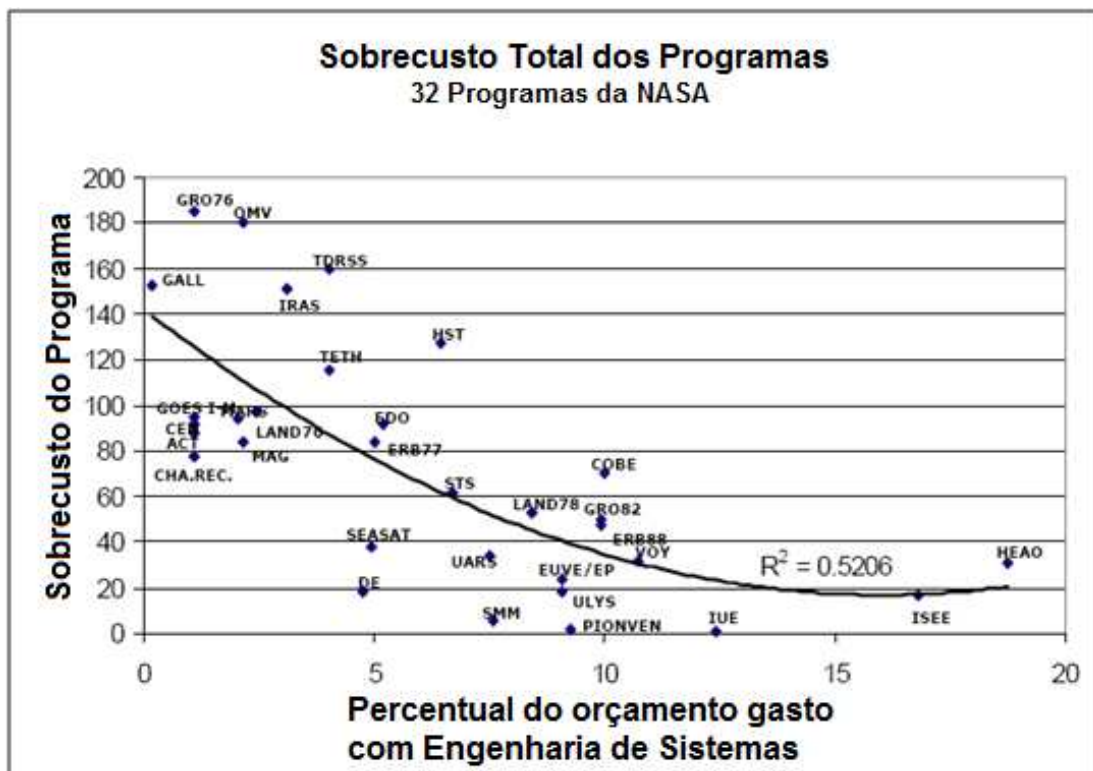


Figura 1: Impacto do custo investido em engenharia de sistemas (em especial, no design e definição de sistemas) no sobrecusto de grandes projetos (estouro no orçamento). (adaptado de Gruhl, 1992)

Gruhl não deixou dúvidas que a engenharia de sistemas é o elemento determinante para o sucesso de projetos de sistemas complexos. Mas o que exatamente é engenharia de sistemas e como aplicá-la? A engenharia de sistemas é definida pelo SEBOK como “uma abordagem e meios para possibilitar a realização de sistemas com sucesso, que focam na descoberta e entendimento de necessidades dos *stakeholders*, em explorar oportunidades, documentar requisitos, na síntese, verificação e validação, e em desenvolver soluções considerando o problema como um todo, desde o conceito do sistema até seu descarte”.

Sendo uma abordagem, ela pode estar presente em diversas metodologias como base filosófica. Em algumas literaturas, podemos encontrar esta abordagem, com um nome um pouco diferente, "**engenharia de requisitos**".

Trata-se do **gerenciamento da parte técnica do projeto**.

As principais referências que citam de alguma forma um processo de gerenciamento de requisitos ou que remetem à abordagem de engenharia de sistemas (PMBOK, SEBOK, NBR ISO/IEC 15288, CENELEC EN-50126, FURPS, NASA) concordam que o **gerenciamento de requisitos** é um fator fundamental para o sucesso de projetos complexos (talvez o mais importante), **mas divergem em detalhes cruciais** no momento da execução dos processos de gerenciamento dos requisitos, já que cada metodologia, padrão e norma foi elaborada para ser efetiva (ou seja, trazer o efetivo sucesso do projeto) em um determinado tipo de projeto, em um determinado ambiente. A aplicação de processos de uma metodologia específica para a aplicação, consolidada no mercado mundial e compatível com os problemas os quais se pretende resolver pode trazer imensos benefícios aos projetos, como economia de tempo de engenharia, melhor controle dos riscos técnicos, melhor

5

atendimento às expectativas de *stakeholders*, maior capacidade de tornar o sistema seguro e de provar, com evidências documentais e processos compatíveis, um nível de segurança ou disponibilidade. Por outro lado, as consequências de se utilizar uma metodologia inadequada são observadas somente em estágios avançados do projeto (Hooks, 2001), resultando em atrasos e aumento de custos.

Existe então o problema de, ao planejar uma área para conduzir projetos de engenharia metroferroviária, selecionar dentre as diversas metodologias, padrões e normas, quais delas são aplicáveis e úteis para o tipo de sistema e projetos que se pretende gerenciar. Ou seja, que comprovadamente ou por experiência contribuem para melhor atender às expectativas dos stakeholders, **eleva a qualidade do sistema** e do serviço por ele prestado, melhorar os parâmetros de RAMS do sistema e **manter os custos sob controle, talvez até reduzindo-os**. O estudo que baseou esse artigo investigou diversas metodologias de gerenciamento de projetos e gerenciamento de requisitos para identificar qual seria a mais adequada para a realidade dos projetos de sistemas metroferroviários complexos.

DIAGNÓSTICO

Quando se inicia qualquer estudo sobre gerenciamento de projetos, o **guia de conhecimentos sobre gerenciamento de projetos (PMBOK)** deve ser o ponto de partida, justamente por ser reconhecido mundialmente como a mais abrangente fonte de conhecimento de em gerenciamento de projetos. O PMBOK estabelece um padrão de processos para gerenciamento de projetos, que podem ser aplicáveis a qualquer projeto de

qualquer tipo. Ele define 5 grupos de processos: Iniciação, Planejamento, Execução, Monitoramento e Controle e Encerramento. Trata-se de uma abordagem **gerencial** dos projetos, sem foco na parte técnica.

O único processo formalmente identificado pelo PMI (2013) para efetivamente gerenciar requisitos é o de “Coletar requisitos [das partes interessadas]”, que consiste em determinar, documentar e gerenciar as necessidades e requisitos das partes interessadas a fim de atender aos objetivos do projeto. Os requisitos fornecem base para definição e gerenciamento do escopo do projeto, incluindo o escopo do produto (que seria a parte técnica), embora seja dado foco muito grande no escopo do projeto, já que, para o PMI, essencialmente, requisitos se transformam na fundamentação da EAP⁴.

Enquanto descreve o processo de “Coletar requisitos”, o PMI (2013) sugere uma possibilidade de agrupar requisitos em dois grandes grupos: soluções de negócios (se referindo às necessidades das partes interessadas) e técnicas (se referindo a como essas necessidades serão implementadas). No entanto, não indica qualquer diferença de tratativa gerencial para os diferentes grupos de requisito. Para o PMBOK, requisitos de negócio e requisitos técnicos são essencialmente a mesma coisa.

O PMBOK não sugere processos para análise de requisitos.

4 A Estrutura Analítica de Projetos (EAP) é uma ferramenta de gerenciamento de projetos, que consiste na subdivisão do trabalho do projeto em entregas e em componentes menores e mais facilmente gerenciáveis. É estruturada em árvore exaustiva, hierárquica. A EAP é base para a maior parte do planejamento de projeto.

O PMBOK se abstém de fornecer características desejáveis para os requisitos, e não indica exemplos claros do que é permitido ou não em uma lista de requisitos. Fica a cargo do gerente de projetos interpretar a situação e decidir o que cabe e o que não cabe em uma lista de requisitos, tornando a escolha subjetiva.

Imediatamente após a etapa de “Coletar requisitos”, o PMI (2013) indica o próximo passo como “Definir o escopo”, que é o desenvolvimento de uma descrição detalhada do projeto e do produto⁵. O trabalho de detalhamento relacionado a requisitos se encerra quando a especificação de escopo é aprovada.

O problema é que a especificação de escopo de produto é um trabalho extremamente complexo. O PMBOK não dá a dimensão do nível da dificuldade e tampouco dá a devida importância aos processos técnicos de engenharia que são necessários para realizar esse desenvolvimento. Isso não é surpresa e nem inadequado, já que o PMBOK se propõe a ser um guia voltado para gestão, e por isso, **não é uma fonte de conhecimento sobre engenharia de requisitos**⁶. Fornecer método, processos, ferramentas e técnicas para realizar o gerenciamento dos aspectos técnicos dos projetos está fora do seu escopo.

5 Nesta etapa, o PMI (2013) indica a engenharia de sistemas como uma ferramenta aplicável, mas não dá mais detalhes de sua aplicação nem onde buscar mais informações.

6 Por que então o PMBOK possui um processo para coleta de requisitos e o atribui como entrada a diversos outros processos? O PMBOK não cita dados bibliográficos de referência, mas as metodologias de gerenciamento de projetos de software mais famosas na indústria, como o FURPS (Hewlett-Packard), o FURPS+ e o IRUP (IBM) utilizam essa abordagem exatamente como descrita no PMBOK. Não é possível afirmar categoricamente, mas essa é uma boa evidência de que o gerenciamento de requisitos técnicos como indicado no PMBOK foi pensado para atender às demandas de projetos da indústria de TI.

O SEBOK (Systems Engineering Body of Knowledge)

Já o guia de conhecimentos em engenharia de sistemas (SEBOK) provê um conjunto de conhecimentos amplamente aceitos do conhecimento sobre **engenharia de sistemas**. Ao contrário do PMBOK, o SEBOK possui foco no gerenciamento da engenharia técnica. Outra diferença importante é que o SEBOK não se pretende a estabelecer um padrão de gerenciamento técnico dos sistemas, mas sim, oferece uma gama de metodologias e padrões, indicando também as vantagens e desvantagens de cada método, mas sempre baseado em uma abordagem comum: O pleno entendimento das necessidades dos *stakeholders*, a decomposição estruturada, o design técnico, a grafia rigorosa de requisitos, a verificação e a validação. Estes processos podem ocorrer diversas vezes, em diversos níveis hierárquicos, para cada sistema (ou seja, em diversas iterações).

Todos os processos do SEBOK estão relacionados ao **gerenciamento de requisitos**.

O SEBOK propõe uma iniciação da parte técnica, chamada "**Definição conceitual**" onde se analisa o problema a ser resolvido e o transforma em uma lista de requisitos. É um processo que pode se iniciar de maneira informal, com desenhos e estudos conceituais, mas sua saída é a **lista formal de requisitos de sistema** de alto nível, ou seja, a materialização textual formal do que os *stakeholders* e o negócio esperam do sistema a ser construído, em seu ambiente de operação.

O formato dos requisitos de sistema deve seguir um rigoroso padrão de grafia, conforme proposto por Hooks (1994). A figura 2 ilustra brevemente o processo de definição conceitual.



Figura 2: O processo de definição conceitual, onde ocorre a análise do problema o qual o sistema irá resolver, quando em operação.

A lista de requisitos de sistema representa o problema a ser resolvido. A partir da consolidação dessa lista, os engenheiros de design podem começar a utilizar ferramentas para análise, como os diagramas de contexto, a análise dos objetivos da missão, as análises de sintaxe e as análises de qualidade dos requisitos. Todas essas ferramentas de análise do problema estão bem documentadas no SEBOK.

Quando o problema estiver plenamente compreendido, a engenharia de design e a engenharia técnica se reúnem para iniciar o estudo da solução. Esses estudos da solução técnica podem envolver:

- Benchmarking com sistemas similares existentes;
- Análise de opções no mercado (coletando informações de fornecedores em potencial) e da literatura técnica;
- Testes conceituais no laboratório, modelagem matemática e simulações;
- Maquetes.

A equipe técnica define a solução, e registra sob a forma de **decomposição hierárquica do sistema** (sob a forma de estrutura analítica), definindo quais são os elementos físicos do sistema que o irão compor. Esta decomposição é chamada de **solução física** (ou arquitetura física).

Quando o sistema executa funções, deverá ser elaborada também a **solução funcional** (ou arquitetura lógica), que consiste em um fluxograma de funções que o sistema deverá executar, de forma que cada função seja alocada a um elemento do sistema.

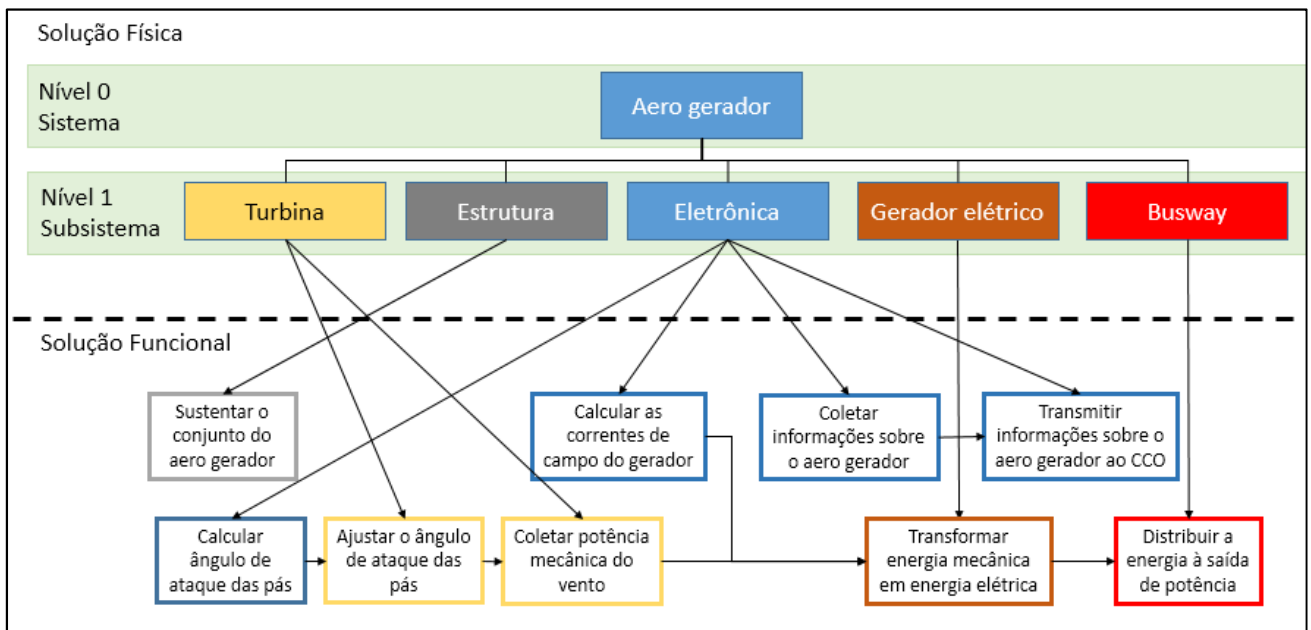


Figura 3: Um exemplo do resultado da decomposição física e funcional de acordo com o padrão de engenharia de sistemas universalmente aceito e documentado no SEBOK. O elemento de nível zero possui a lista de requisitos de alto nível, acordada com os *stakeholders*. O nível 1 já é a decomposição do sistema, com seus elementos (ou subsistemas). Cada subsistema possui sua própria lista de requisitos, que são redigidos em linguagem altamente técnica. Isso dificulta a validação desta lista com os *stakeholders*, caso estes não possuam conhecimento técnico, mas facilita muito a comunicação com os fornecedores dos subsistemas.

A figura 3 ilustra o resultado de um processo de decomposição, descendo um nível. Cada elemento do sistema irá possuir sua própria lista de requisitos, para que o sistema integrado funcione conforme descrito nos requisitos dos *stakeholders*. Os requisitos dos elementos do sistema podem conter características físicas (oriundas da solução física), funcionais (oriundas da solução funcional), de interface e outras. A partir desse momento, a engenharia de design passa a ser *stakeholder* do elemento do sistema, enquanto o fornecedor do elemento do sistema deve trabalhar para atendê-la.

Esse processo pode ser repetido em iterações, até que a equipe técnica do projeto esteja confortável para iniciar o design final técnico do sistema (projeto executivo), ou até que a equipe técnica esteja confortável para contratar um ou mais elementos de sistema e atribuir uma lista de requisitos a este contrato.

A decomposição proposta pela engenharia de sistemas pode ser realizada até o nível que se desejar, sabendo que ao final do processo, resultará em uma lista de requisitos para um ou mais elementos de sistema em um ou mais contratos. Quanto maior a decomposição, maior a carga de trabalho e necessidade de especialização técnica no assunto. Para decidir até que ponto ir, a engenharia de design deve se fazer a seguinte pergunta:

- *Quem é capaz de dar a melhor solução técnica (física e funcional) para este problema? Nós ou um fornecedor a ser contratado?*

Se a resposta for "nós", a engenharia de design deve decompor o elemento de sistema em mais um nível e gerar uma lista de requisitos para cada elemento de sistema. Esse é o dilema do "domínio de conhecimento".

Somente após o término da decomposição do sistema e da elaboração da lista de requisitos de todos os elementos de sistema é que será possível entender qual é o escopo do projeto e então poderá ser construída a EAP⁷.

As técnicas de engenharia de sistemas permitem um melhor entendimento dos detalhes técnicos dos projetos. Quanto maior esse entendimento, menor é o risco de não qualidade e o risco de gaps de escopo. Isso traz uma estabilidade de escopo e de especificação ao projeto, que revela, durante as etapas de cotação e negociação, um conforto dos fornecedores em dar melhores preços, visto o menor risco. No entanto, quanto maior o nível de detalhamento, maior é a capacidade técnica requerida da equipe de design do sistema. Estas relações estão demonstradas na figura 4.

⁷ Ivy Hooks defende que, para alguns projetos, pode ser interessante realizar os dois trabalhos ao mesmo tempo, desde que a responsabilidade esteja bem delimitada. Enquanto a engenharia de design e a engenharia técnica fazem a decomposição, a redação dos requisitos e estabelecem as soluções técnicas, os gerentes de projeto já podem ir detalhando o escopo do projeto, criando a EAP, estimando custos e estimando o cronograma do projeto.

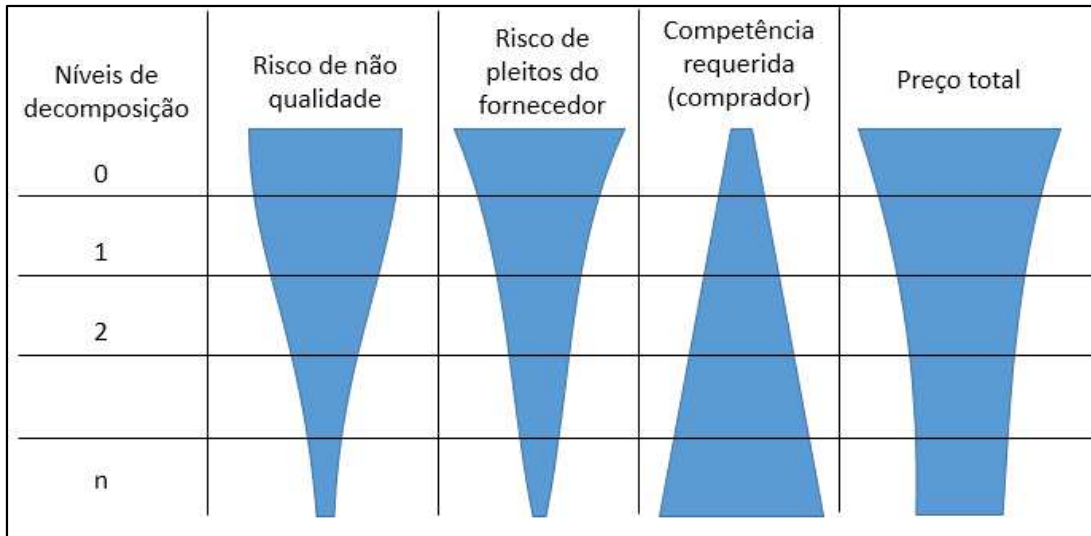


Figura 4: Relações dos níveis de decomposição de um sistema durante um projeto e outros parâmetros do projeto. A decomposição reduz o preço e o risco de não qualidade, mas exige mão de obra especializada pelo comprador. É mais fácil realizar esse processo em ferrovias existentes com uma engenharia forte, mas é muito difícil realizar esse processo para ferrovias novas, caso a equipe de design não possua experiência nos sistemas a serem implantados.

A partir da decomposição de nível 1, é possível atribuir subsistemas a mais de uma empresa fornecedora. Isso é particularmente interessante porque cada empresa pode fornecer uma proposta somente para os escopos sobre os quais tem domínio técnico. Dessa forma, ela reduz muito o risco do seu contrato, não precisa contratar especialistas em sistemas que não domina, nem subcontratar outras empresas para executar os escopos fora do seu portfólio de serviços. Isso acaba reduzindo o preço dos contratos, mas traz um risco de interfaces, já que os objetos dos contratos irão se integrar em algum momento, e a contratante fica responsável pela integração. **Esse risco pode ser facilmente combatido** pela atuação de uma engenharia de design forte, participando da integração dos subsistemas (podendo levar esse

risco ao mesmo patamar que seria se houvesse somente um contrato para todo o projeto).

Estas relações estão demonstradas na figura 5.

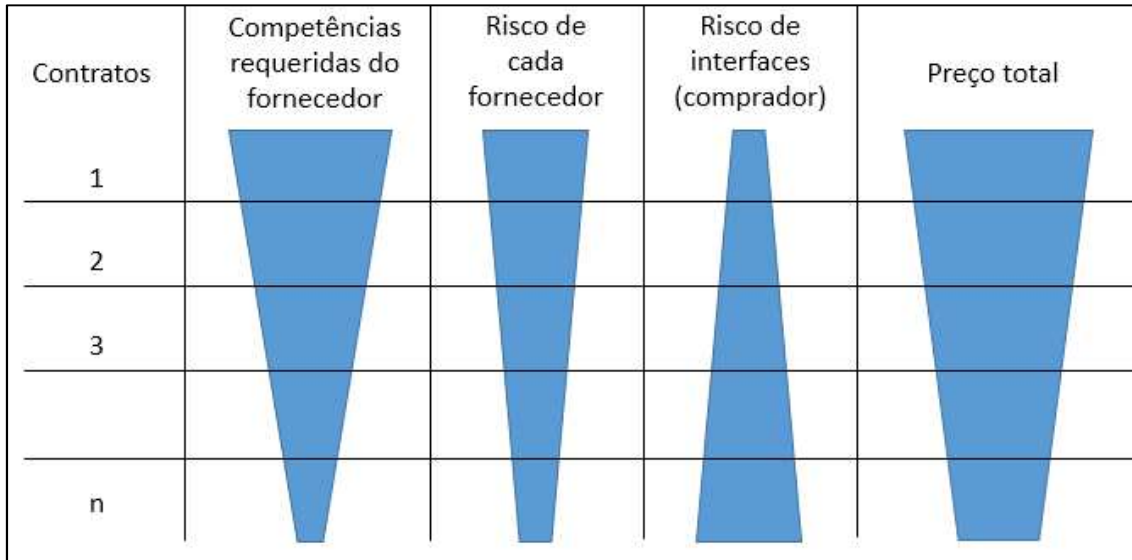


Figura 5: Relações da quantidade de contratos para realizar um sistema durante um projeto e outros parâmetros do projeto. O aumento da quantidade de contratos se beneficia da especialização e da redução do risco de cada fornecedor, mas aumenta o risco de interfaces, absorvido pelo comprador. Um processo bem estruturado de controle de interfaces pode manter o risco sob controle sem prejuízo ao projeto.

Os projetos de sistemas metroferroviários podem se beneficiar muito da aplicação da engenharia de sistemas para se prevenir de pleitos, especificações incompletas e problemas de qualidade do produto final. Dependendo de como for montado o projeto, é possível se beneficiar das reduções de custo mantendo os riscos sob controle.

As relações dos processos técnicos de engenharia de sistemas (descritos no SEBOK) e dos processos gerenciais (descritos no PMBOK) parecem se integrar de alguma forma. É justamente em uma norma NBR ISO/IEC 15288:2009 que encontramos uma boa maneira de realizar essa integração.

NBR ISO/IEC 15288:2009 - Engenharia de Sistemas e Software

A NBR ISO/IEC 15288:2009 estabelece uma estrutura de processos que descreve o ciclo de vida de sistemas (desde sua concepção até a operação e manutenção), sob todos os aspectos. A norma agrupa os processos de ciclo de vida de um sistema em quatro grandes grupos de processo:

- **Processos contratuais:** todos os processos sobre gestão de contratos, que são celebrados entre compradores e fornecedores de sistemas ou de parte de sistemas, no âmbito de projetos, de manutenção ou de fornecimento de peças.
- **Processos de projetos:** todos os processos relacionados ao gerenciamento de recursos e bens com o objetivo de cumprir acordos relacionados a projetos. Relacionam-se especialmente com escopo, tempo, custo, risco e cronograma. A norma ainda propõe uma subdivisão dos processos de projetos em **processos de gestão de projetos** (que envolvem processos de planejamento, controle e avaliação do projeto, tipicamente associados ao conteúdo do PMBOK) e **apoio aos projetos** (que envolvem os processos de tomada de decisão, gestão de risco, gestão de configuração, gestão da informação e medição).
- **Processos organizacionais de apoio ao projeto:** têm a função de garantir que os recursos necessários para viabilizar o projeto a alcançar necessidades e expectativas de *stakeholders*. Processos de gestão de portfólio, gestão de ativos e de infraestrutura, gestão de recursos humanos e outros processos administrativos das organizações estão contidos neste grupo de processos.

- **Processos técnicos:** os processos de gerenciamento de expectativas (ou requisitos), transformação de expectativas em produtos ou sistemas, design, planejamento técnico, comissionamento, planejamento da migração, verificação e validação, além dos processos de operação e manutenção, que tipicamente não fazem parte de projetos. Estes são os processos tipicamente associados ao SEBOK.

A NBR ISO/IEC 15288:2009 dá definições alinhadas com diversas outras fontes relacionadas a engenharia de sistemas. Suas definições e conceitos trazem os requisitos dos *stakeholders* para o domínio técnico de engenharia de sistemas⁸. Esta abordagem traz uma objetividade bastante benéfica para as tratativas técnicas e de sistema.

A figura 6 ilustra a visão da integração de todos os processos do ciclo de vida do sistema, na visão da NBR ISO/IEC 15288:2009.

⁸ A própria identificação de stakeholders do projeto é tratada pela NBR ISO/IEC 15288:2009 como um processo técnico, uma inovação em relação à tratativa tradicional do PMBOK.

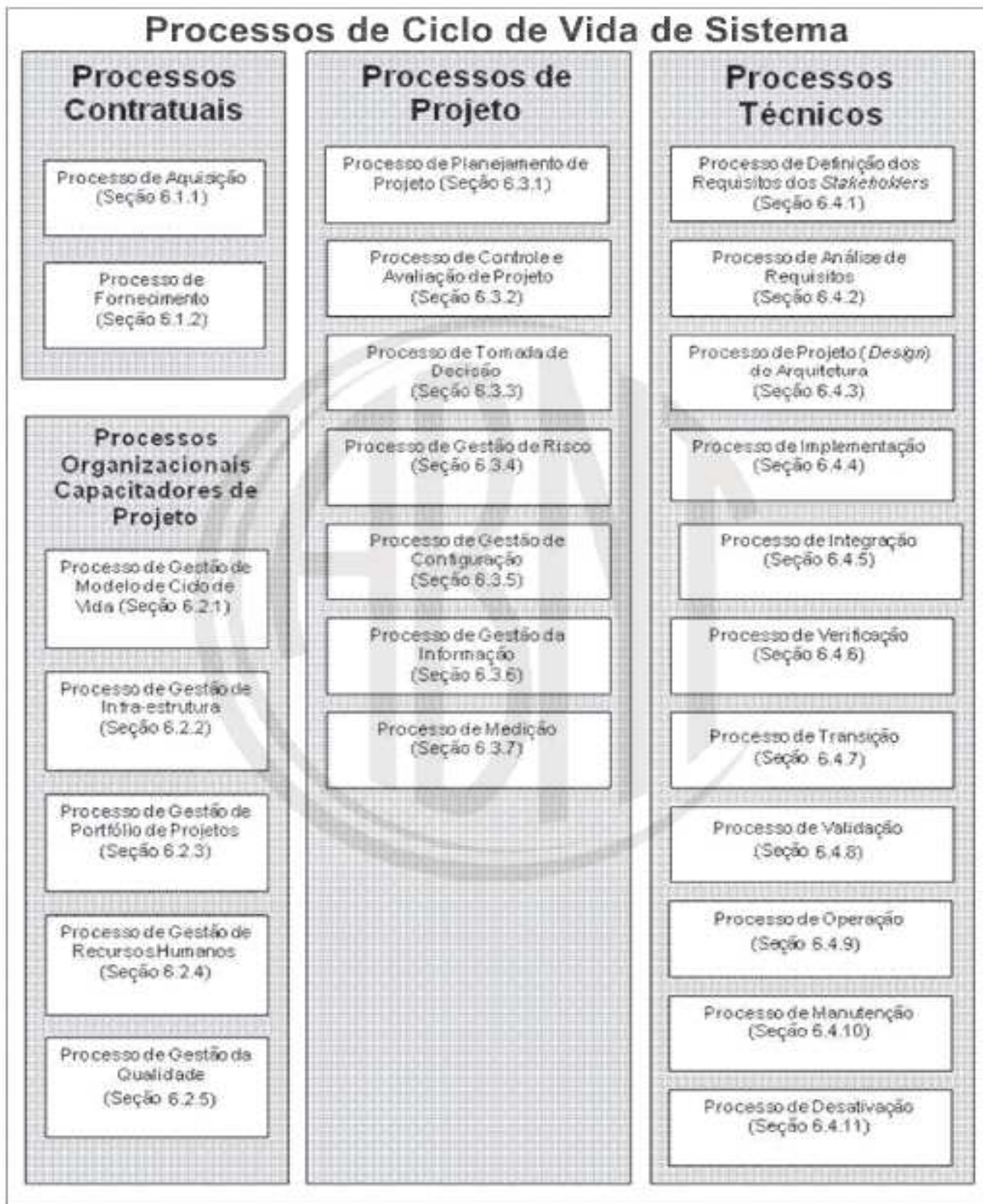


Figura 6: Grupos de processos no ciclo de vida de sistema, de acordo com a norma NBR ISO/IEC 15288:2009

A abordagem da NBR ISO/IEC 15288:2009 NÃO dá suporte à documentação de requisitos que não estão relacionados diretamente ao sistema (como requisitos de cronograma ou de custos), já que **a real vantagem em documentar uma informação sob a forma de requisitos é a de facilitar os processos de verificação e validação**⁹, o que está totalmente alinhado com os preceitos de engenharia de sistemas do SEBOK.

Outro conceito que a NBR ISO/IEC 15288:2009 introduziu foi a de separação dos processos contratuais, indicando que os **contratos são documentos gerenciais e técnicos** ao mesmo tempo. Quando existir o fornecimento de elementos de sistema em um determinado contrato, as características que descrevem tais elementos (requisitos, especificações, etc.) são uma parte do contrato.

Dentre as pesquisadas, **esta é a fonte que possui a visão mais ampla** sobre o contexto geral de processos que suportam projetos de sistemas. Os conceitos apresentados na NBR ISO/IEC 15288:2009 deveriam ser ponto de partida para qualquer um que deseje construir conhecimento acerca de gerenciamento de projetos de sistemas.

Antes de esgotar o assunto, existem quatro outras referências que valem ser citadas: os processos de gerenciamento de projetos da RATP, SNCF, NASA e o padrão europeu de ferrovias descrito na CENELEC EN-50126:1999

⁹ Se uma expectativa não pode ser validada e verificada em testes do sistema, ela deve estar registrada sob outra forma, que não seja a de requisitos de stakeholder. Pode ser uma premissa, uma restrição ou qualquer outra informação registrada nos documentos gerenciais.

Os processos de gerenciamento de projetos na RATP e SNCF

Guy Larraufie (2013) documentou os processos de gerenciamento de projetos de sinalização utilizados na estatal francesa SNCF e na operadora de metrô de Paris RATP. Estes processos, focados em *safety*, objetivam maximizar as chances de detecção de erros de design cometidos na fase anterior.

O processo da SNCF é dividido em quatro grandes fases: os estudos preliminares, o anteprojeto, o projeto e a realização. Larraufie (2013) não forneceu informações sobre os processos de gerenciamento de aquisições ou sobre os processos de gerenciamento de contratos nos projetos da SNCF.

Já o processo da RATP é focado em sinalização de metrô e na produção de documentos técnicos, sendo os principais: o programa de operação, o plano funcional de sinalização, os diagramas de princípios, o plano de migração, os diagramas elétricos e planos de teste.

Uma característica dos processos de gestão de projetos da SNCF e da RATP é a ausência de uma lista formal de requisitos sob a forma textual. Ao contrário, descrevem toda a documentação de expectativas, solução funcional e solução física sob a forma de desenhos, diagramas elétricos, tabelas ou textos explicativos, até o momento no qual é possível realizar o design final do sistema, fugindo à abordagem clássica de engenharia de requisitos, mas ainda focando totalmente no gerenciamento da parte técnica. Esta abordagem possui o mérito de descrever com mais detalhes, mais facilmente e mais eficientemente definições técnicas que podem ser extremamente difíceis de serem documentadas sob a forma de requisitos de sistemas.

Essa solução **só é possível porque a RATP executa todo o design do sistema**, e só contrata empresas especializadas para realizar o projeto executivo¹⁰, elaborar os cadernos de teste, fornecer os equipamentos, instalá-los e comissionar o sistema.

Os contratos de design de sistema são contratos internos, ou seja, não existe a possibilidade de pleitos contratuais durante o design dos sistemas. Isso só pode ser feito se a operadora possuir uma equipe de engenharia de sistemas forte, especializada e experiente.

NASA (National Aeronautics and Space Administration)

A NASA possui seu próprio manual de engenharia de sistemas, o NASA/SP-2007-6105, onde estão contidas todas as informações e metodologias de gerenciamento técnico de requisitos e suas interfaces com o gerenciamento de projetos. Seus projetos são divididos em sete fases, conforme descritas abaixo:

- Pré-fase A - Estudos conceituais: tem como objetivo produzir um amplo espectro de ideias e alternativas para o projeto, além de realizar estudos preliminares de viabilidade;

¹⁰ Mesmo o projeto executivo só é contratado em termos. Larraufie indica que, no momento que o fornecedor começa o trabalho de projeto executivo, a RATP já possui todos os diagramas elétricos desenhados e totalmente detalhados, sobrando para a empresa contratada, apenas realizar o desenho CAD dos diagramas já feitos à mão ou utilizando o vermelho-amarelo.

- Fase A - Conceito e desenvolvimento de tecnologia: tem como objetivo desenvolver o conceito da missão, requisitos de sistema de alto nível, desenvolvimento de tecnologia necessária e alinhamento estratégico com a NASA;
- Fase B – Design preliminar e finalização da tecnologia: objetiva definir o projeto em detalhe suficiente para estabelecer uma linha de base, desenvolver os requisitos da estrutura do sistema do produto final e gerar um design preliminar de cada uma dessas estruturas.
- Fase C – Design final e fabricação: objetiva completar o detalhamento do design final, fabricar o hardware e programar o software.
- Fase D – Montagem, integração e testes do sistema, lançamento: tem como objetivo integrar todos os produtos para criar o sistema completo, testá-lo até desenvolver um grau de confiança na sua performance no ambiente a qual se destina e preparar para lançamento e operação;
- Fase E – Operação e preservação: essencialmente conduzir a missão e manter o suporte técnico necessário durante a operação;
- Fase F – Encerramento: objetiva analisar os dados e amostras que retornaram da missão, além de executar os planos de descomissionamento e descarte.

Para cada fase, existem processos a serem executados na esfera de desenvolvimento técnico (onde estão os processos relacionados a engenharia de sistemas) e de gerenciamento técnico (onde estão os processos relacionados escopo, tempo e custo). Na figura 7 é possível observar uma miniaturização do fluxograma para projetos da NASA.

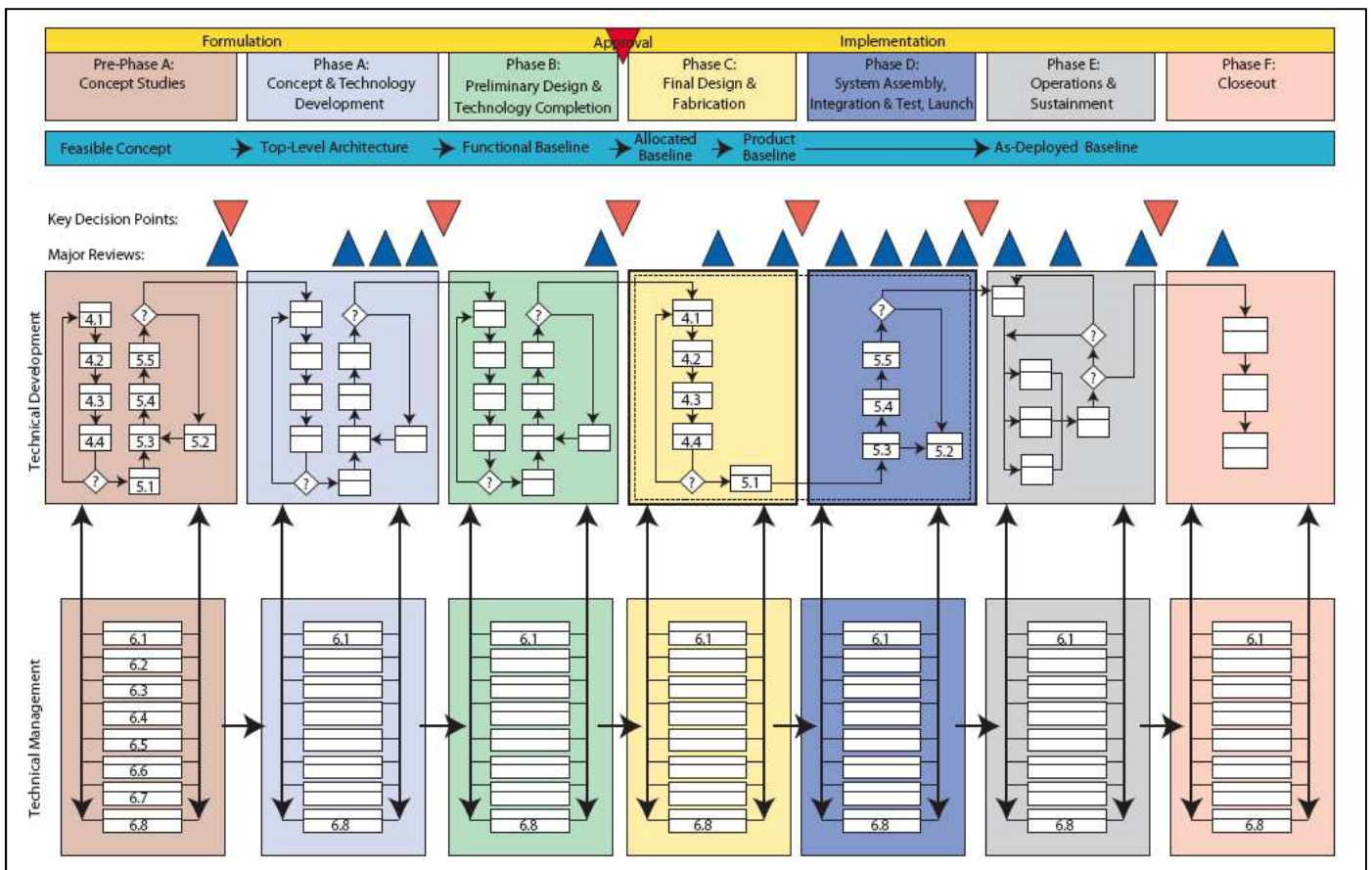


Figura 7: As fases de um típico projeto de missões espaciais complexas, conforme praticado pela NASA. (NASA, 2007)

Para que aconteça a transição à próxima fase, toda a documentação deve ser aceita formalmente, o que a NASA (2007) chama de KDP (*Key Decision Points*).

O motor principal do processo de gerenciamento de requisitos da NASA é a decomposição clássica de engenharia de sistemas descrita no SEBOK (2014), com algumas especificidades:

- A NASA entende que as expectativas surgem inicialmente desorganizadas e em uma linguagem não técnica, e que podem existir *stakeholders* adicionais, que poderiam ser envolvidos para enriquecer o assunto;
- A equipe de engenharia da NASA produz documentação, na linguagem compreensível para o *stakeholder*, com o objetivo de interpretar e clarificar suas necessidades, visando também, alinhar os *stakeholders* entre si. Admite-se que as expectativas podem chegar sob a forma de desenhos pré-conceituais, documentos mais genéricos e estratégias de defesa. A NASA reconhece a incapacidade dos *stakeholders* de se comunicarem com a equipe de engenharia sob a forma de requisitos textuais e formais.
- Quando os *stakeholders* estiverem alinhados e as necessidades compreendidas, é a equipe de engenharia de design da NASA que gera uma lista de requisitos do sistema, em alto nível, na linguagem técnica e formal.
- Somente após a validação a lista de requisitos é que se dá o início do processo técnico de decomposição clássica de engenharia de sistemas.

O processo da NASA exige detalhamento minucioso do sistema a ser construído, em nível de componente, afinal, no caso das missões espaciais, cada parafuso pode determinar o sucesso ou fracasso de uma missão bilionária. A maioria dos sistemas metroferroviários tende à padronização em escala global, o que torna essa decomposição em nível de componente desnecessária.

A figura 8 é uma representação da relação entre os processos de design de sistemas, como aplicado na NASA.

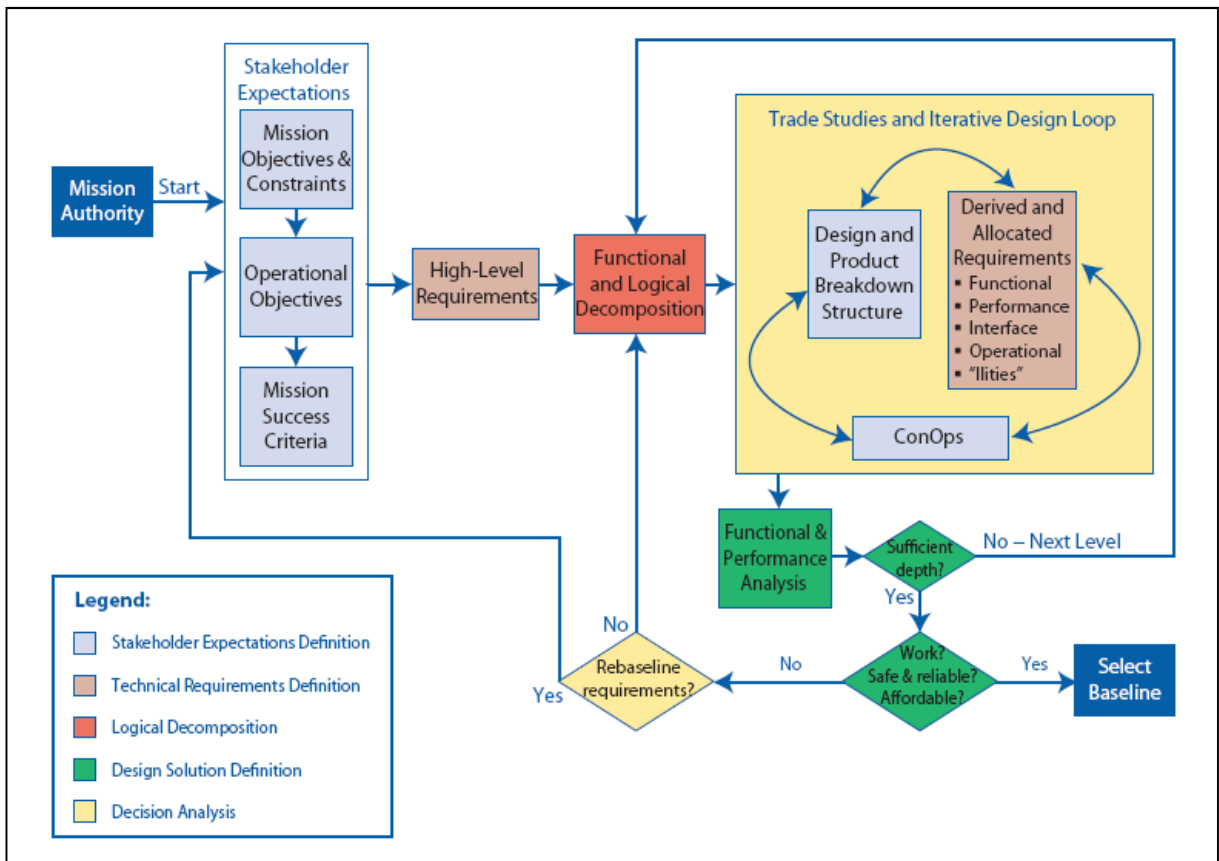


Figura 8: Relacionamento entre os processos de design de sistemas, praticado pela NASA. (NASA, 2007)

Para a NASA, a implementação pode ser realizada sob a forma de compra, contratação, criação interna ou reuso. Os escopos de contratação são produzidos somente após todos os requisitos estarem especificados e detalhados, pois são eles que irão balizar as relações contratuais entre a empresa fornecedora e a NASA. No caso de criação interna, a lista de requisitos do elemento de sistema é a forma de estabelecer um “contrato interno” entre departamentos da própria NASA. Em todos os casos, a **lista de requisitos do elemento do sistema é o mais importante elemento** de acordo técnico entre *stakeholders*.

CENELEC EN-50126 (1999)

A norma EN-50126 define um processo de gerenciamento técnico ao longo do ciclo de vida do sistema ferroviário, baseado em engenharia de sistemas. Na figura 9 podem ser observados os 14 processos do ciclo de vida do sistema, já organizados no modelo V.

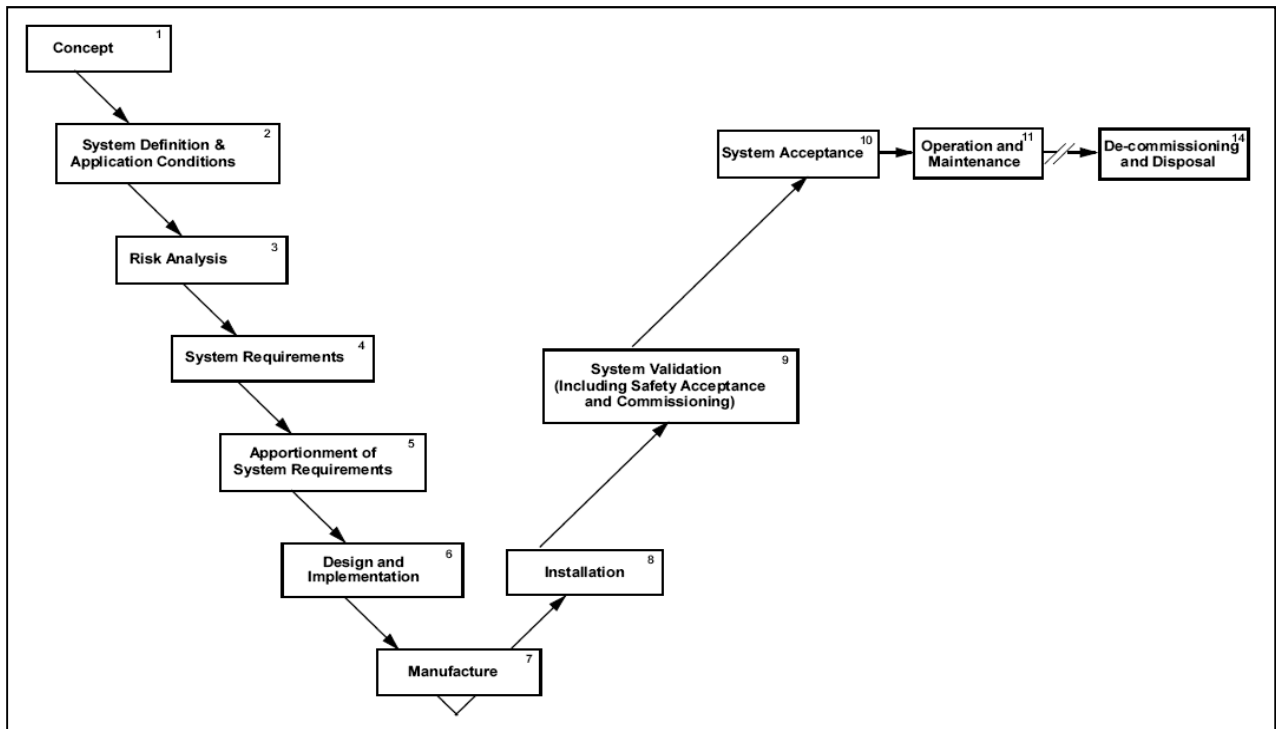


Figura 9: Os processos de gerenciamento técnico do sistema ferroviário, ao longo de seu ciclo de vida, no modelo V. (CENELEC EN-50126:1999)

O processo de gerenciamento de requisitos da EN-50126 é abrangente, detalhado, robusto e específico para ferrovias. Ele é focado no *safety* e nos aspectos técnicos dos processos de engenharia correspondentes à realização do sistema, ou seja, não cita processos gerenciais dos projetos (como gerenciamento de custos ou de cronograma).

Em diversos aspectos, a EN-50126 é compatível com os preceitos do SEBOK e da NASA.

Podemos citar, em especial:

- A fase documentação conceitual pode ser realizada sob a forma gráfica ou outros meios não tão formais quanto uma lista de requisitos;
- Há a necessidade de se escrever os requisitos sob a forma textual e formal;
- Utiliza a decomposição como motor de design;
- Pleno suporte às atividades de verificação e validação.

As principais diferenças encontradas na EN-50126 são:

- Foco em *safety* do sistema. A EN-50126 inclui uma etapa (a etapa 3, análise de riscos) que é exclusiva para tratar do *safety* (aproximando-se de RATP e SNCF);
- Considera as interferências com sistemas existentes e dá suporte para projetos *brownfield*;
- Determina que o design do sistema deve ser compatível com as competências e condições ferramentais da manutenção;
- Considera tipicamente a inexistência de um departamento de engenharia de sistemas dentro do operador, mas dá subsídios a essa configuração atípica.

A norma EN-50126 possui amplo espectro de utilização em sistemas metroferroviários. O foco no planejamento técnico do sistema e em atingir parâmetros de RAMS é muito relevante e positivo, assim como o foco na utilização do modelo V, no *safety*, nos processos de engenharia de sistemas, na verificação, validação e no planejamento técnico do sistema, sem dever nada às metodologias de gestão técnica apresentadas anteriormente.

ANÁLISE DOS RESULTADOS

A referência bibliográfica mais abrangente entre as estudadas e que dá suporte à integração dos processos de engenharia de sistemas, engenharia de requisitos e os outros aspectos de gerenciamento dos projetos é a **NBR ISO/IEC 15288:2009**. Por esse motivo, ela foi selecionada como ponto de partida para compor a base de trabalho. Como comentado anteriormente, ela apresenta 4 grandes grupos de processos para que um sistema seja construído, operado, mantido e descartado corretamente:

- **Os processos de projeto:** relacionados com o gerenciamento de pessoas e recursos, para controlar e cumprir prazos e acordos;
- **Os processos técnicos:** relacionados com as funções técnicas a serem desenvolvidas ao longo do ciclo de vida do sistema;
- **Os processos contratuais:** atribuem e formalizam acordos de fornecimento, responsabilidades e funções técnicas;
- **Os processos organizacionais de apoio:** que estabelecem o ambiente no qual o projeto será conduzido, o sistema operado e mantido.

Cada um destes quatro grupos de processos pode conter definições e processos de outras fontes ou da própria NBR ISO/IEC 15288:2009. Faz-se necessário estabelecer o conteúdo de cada grupo de processos baseado no estudo da aplicabilidade de cada metodologia (com exceção dos processos organizacionais, pois fogem ao objetivo deste estudo).

Os processos de projeto

As atividades de um projeto de sistemas metroferroviários (dentre elas as relacionadas com engenharia de sistemas, contratos, construção e validação) podem e devem ser controladas, no âmbito de escopo, tempo, custo e risco, o que combina com referências da NBR ISO/IEC 15288:2009 e do PMI (2013). Os processos de gerenciamento de projetos (iniciação, planejamento, execução controle, encerramento) como descritos no PMI (2013) e os descritos na NBR ISO/IEC 15288:2009 são bastante similares, o que leva a conclusão que ambos podem ser utilizados à escolha do gerente do projeto. Caso ele opte por utilizar a metodologia da PMI, as seguintes particularidades devem ser observadas:

- O processo "Coletar os requisitos" deve ser entendida como uma coleta somente de requisitos não relacionadas ao produto (ou o sistema). Os requisitos do sistema serão redigidos pelos engenheiros de sistema, em momento oportuno.
- As atividades padrão de engenharia de sistemas podem estar na primeira versão da EAP (sob a possível forma de EAP padrão ou cronograma padrão), mas as atividades que serão executadas após a contratação só poderão ser detalhadas após a definição do sistema, o detalhamento dos requisitos de sistema e a redação dos escopos de contratação (ou solicitação de fornecimento, de acordo com a NBR ISO/IEC 15288:2009).
- A utilização de critérios de aceitação de entregas da EAP (e a própria conceituação de entregas na EAP) perde a aplicabilidade prática. Os produtos serão validados sob a forma de elementos de sistema, utilizando o V&V.

A rigor, qualquer metodologia, técnica ou boa prática de gerenciamento de projetos poderá ser aplicada, desde que não invada o escopo dos processos técnicos, em especial, o gerenciamento de requisitos, expectativas e contratos, que deve ser tratado nos grupos de processos adequados.

Os processos técnicos

Uma vez que utilizamos a NBR ISO/IEC 15288:2009 como base, podemos admitir que a escolha dos processos técnicos não deverá levar em consideração os processos contratuais e gerenciais que eventualmente venham nela embarcados. O foco deverá ser somente na parte técnica.

No meio metroferroviário, os *stakeholders* (operação, manutenção, engenharia de manutenção e engenharia de operação) possuem conhecimento técnico sobre a operação do sistema e também de detalhes técnicos do sistema. De acordo com Larraufie, a comunicação com os *stakeholders* é mais efetiva através de desenhos e conceitos baseados na solução do que através de requisitos textuais formais. A EN-50126:1999 propõe a criação do **conceito operacional** nos moldes ferroviários, conforme Larraufie indicou, e uma coleta de expectativas da manutenção e engenharia de manutenção, através da definição do sistema ou **condições de aplicação**, antes de iniciar a redação dos requisitos.

As abordagens da NASA (2007), do SEBOK (2014), da NBR ISO/IEC 15288:2009 e da EN-50126:1999 para a realização do design do sistema são bastante similares, baseados na decomposição. Não há necessidade de incluir nenhum elemento particular dessas fontes.

Em projetos metroferroviários, frequentemente se contrata empresas terceirizadas para fornecer partes de um sistema, modificações em um sistema ou mesmo um sistema comissionado e integrado. A existência de uma lista de requisitos técnicos (verificáveis e validáveis) de elementos do sistema é especialmente útil para realizar uma verificação robusta do design do sistema e um controle robusto da qualidade e os critérios de aceitação destes sistemas.

A EN-50126:1999 difere-se de todas as outras na abordagem de *safety* e de confiabilidade, porque trata desse assunto com o foco adequado à aplicação metroferroviária. Além disso, é utilizada globalmente como processo padrão nos fornecedores de sistemas e nas empresas certificadoras de *safety* na Europa. Utilizar a EN-50126:1999 como balizador de processos técnicos traz automaticamente uma compatibilidade de linguagem e processos, o que facilita a comunicação entre os fornecedores europeus.

Conclui-se que **a visão de processos apresentados na norma CENELEC EN-50126:1999, que é baseada em engenharia de sistemas, supre todas as necessidades de gerenciamento técnico**, e pode ser utilizada como única fonte para a elaboração de uma metodologia de gerenciamento técnico e de engenharia de requisitos.

É importante deixar claro que os processos técnicos devem ser integrados com os processos de gerenciamento de projetos e de gerenciamento de contratos, como descritos na NBR ISO/IEC 15288:2009.

Os processos contratuais

No âmbito dos contratos, as necessidades e expectativas podem ser representadas em diversas maneiras (escopo, requisitos, especificações, restrições, etc.). Expectativas nos contratos só podem ser consideradas requisitos quando:

- As expectativas descrevem o produto a ser desenvolvido e fornecido;
- As expectativas são oriundas de uma lista de requisitos de um elemento de sistema, desenvolvido no design do sistema (ou no caso em que o fornecedor seja responsável por todo o design do sistema, dos requisitos do sistema de interesse);
- O fornecedor realizará um desenvolvimento deste requisito e apresentará uma solução técnica para o problema (ou seja, realizará design). Caso contrário, trata-se de especificação;

Os processos de gerenciamento de expectativas com fornecedores, como tratados na NBR ISO/IEC 15288:2009 são totalmente compatíveis com esta definição, e por isso, podem ser utilizados sem restrição.

Composição final dos grupos de processos

Após unir as propostas de processos supracitadas, podemos montar uma nova visão dos quatro grupos de processos, seguindo a estrutura descrita na NBR ISO/IEC 15288:2009. O resultado está na ilustrado na figura 10.

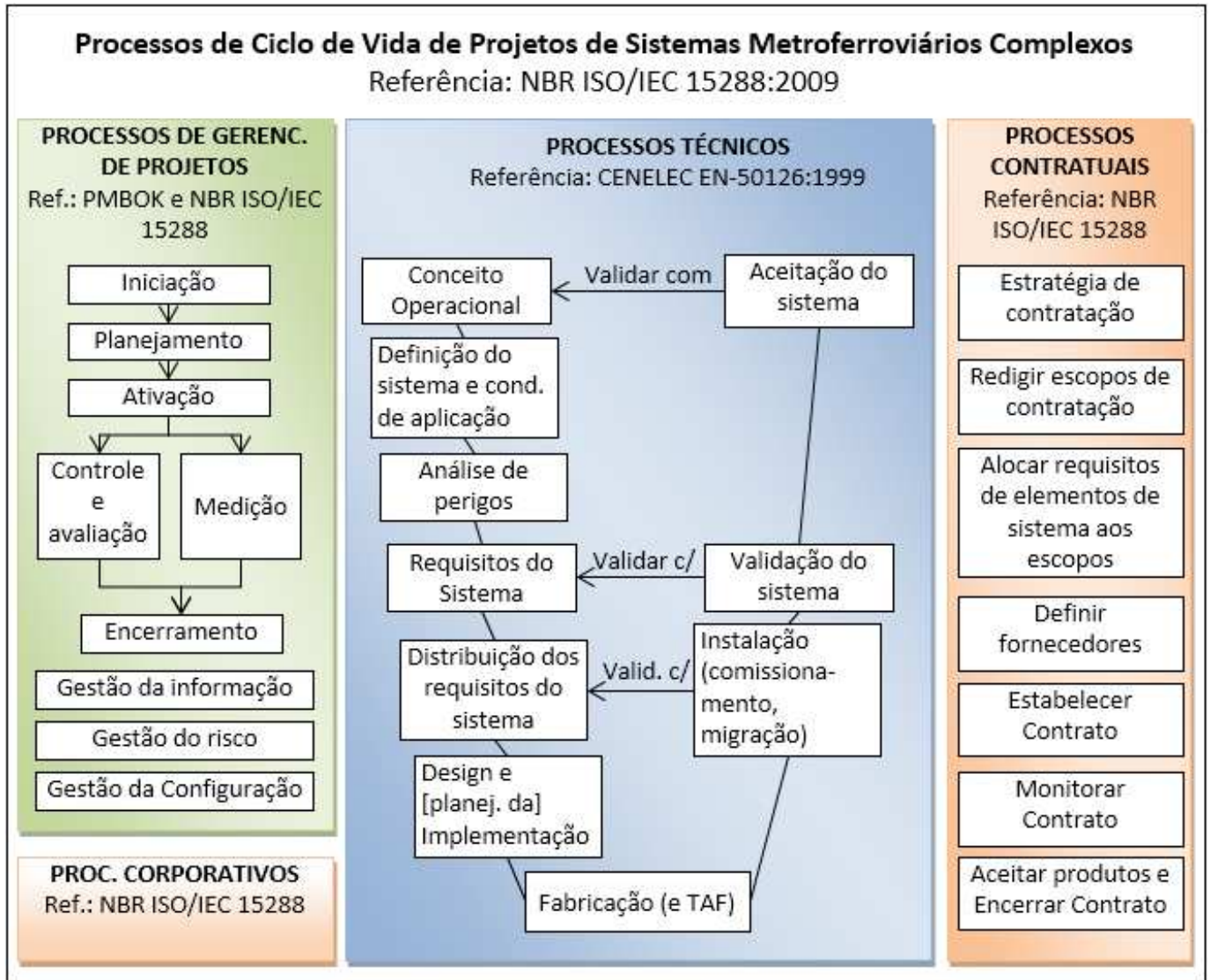


Figura 10: proposta de processos aplicáveis para gerenciamento de projetos de sistemas metroferroviários complexos.

A aplicação desta proposta de processos de ciclo de vida de projetos de sistemas metroferroviários pode ser realizada imediatamente em qualquer operador ou integrador de sistemas metroferroviários. Espera-se com isso a **redução dos custos** de implantação do projeto¹¹ e o custo operacional do sistema, o **aumento da qualidade** dos produtos do projeto e a **melhoria nos parâmetros de RAMS** do sistema.

Realizar um projeto piloto com estes processos pode ser de grande valia, na medida em que os padrões de documentos podem ser gerados durante este projeto piloto. O desafio do projeto piloto é mostrar resultados superiores, provando à alta administração que o método é adequado para reduzir os custos, mantê-los sob controle e entregar a melhor qualidade possível, com a satisfação total dos *stakeholders*.

Uma dificuldade para sua implementação definitiva é a necessidade de realizar uma mudança cultural nas equipes de gerenciamento de projetos (especialmente as que possuem métodos baseados nos preceitos do PMBOK). Migrar o gerenciamento de requisitos e todos os processos relativos a requisitos para o grupo de processos técnicos é uma quebra de paradigma muito grande, que as equipes podem ter dificuldade de lidar.

Outro desafio seria a preparação das equipes técnicas e de design em engenharia de requisitos e na execução dos processos da CENELEC EN-50126:1999. Tanto a necessidade

¹¹ Qual seria o tamanho dessa redução de custos? A estimativa varia de acordo com a fonte. Flyvbjerg indica que é possível atingir uma economia de 45%. Já a NASA apontou que o aumento de 15% de custos aplicados a engenharia de sistemas trará uma possível economia de aproximadamente 50% nos custos de implantação (ou seja, uma economia líquida de 35%). No entanto, é impossível apontar objetivamente um número porque não é plausível realizar um estudo científico que envolva a aplicação de engenharia de sistemas *coeteris paribus*.

quanto a profundidade desse treinamento não devem ser subestimadas. Escrever requisitos é uma tarefa técnica difícil, tanto quanto conduzir a conceituação nas primeiras fases do processo. As equipes precisarão de treinamentos robustos e específicos em engenharia de sistemas e na aplicação da CENELC EN-50126:1999.

Mesmo que as equipes de engenharia de sistemas estejam perfeitamente treinadas, ainda assim, os **talentos individuais dos especialistas técnicos** nos sistemas serão extremamente importantes no momento do design.

As competências requeridas para as pessoas que trabalharão na execução dos diferentes grupos de processos são bastante específicas. A pessoa que irá coordenar a execução dos processos técnicos deverá possuir treinamento em engenharia de sistemas, redação de requisitos, análise de requisitos, aplicação da norma CENELEC EN-50126:1999 e assuntos correlatos, enquanto a pessoa que irá coordenar a execução dos processos contratuais precisa ter treinamento específico em contratos, redação de escopos, logística, parte contábil, fiscal, jurídica e assuntos correlatos. Já a pessoa que trabalhará na execução dos processos de gerenciamento de projetos deverá ter competências na área de planejamento e controle de atividades, riscos, custos de projetos, governança corporativa e assuntos correlatos.

CONCLUSÕES

A engenharia de sistemas se mostrou, ao longo dos anos, a mais poderosa ferramenta para construir sistemas altamente complexos com custo sob controle e com altas chances de sucesso. Nos projetos metroferroviários, a engenharia de sistemas tem o objetivo de gerenciar não somente as expectativas que os *stakeholders* primários dos sistemas (em especial, a operação e a manutenção) possuem em relação aos sistemas a serem construídos, mas também, as expectativas das equipes de engenharia de design dos sistemas com seus fornecedores de componentes, peças e subsistemas.

Os processos de técnicos da EN-50129:1999, que englobam conceitos de engenharia de sistemas, são adequados e suficientes para realizar todo o gerenciamento técnico de projetos de sistemas metroferroviários complexos.

Os conceitos apresentados na NBR ISO/IEC 15288:2009 são fundamentais para entender a relação da engenharia de sistemas com os outros grupos de processos executados durante projetos de sistemas. O padrão de gerenciamento de projetos descrito no PMBOK 5ª edição pode ajudar na resolução dos problemas gerenciais do projeto, desde que observadas as incompatibilidades apontadas.

O processo proposto certamente vai ajudar a trazer sucesso em projetos de sistemas metroferroviários, no sentido de reduzir custos e elevar a qualidade dos sistemas, tornando os negócios ferroviários ainda mais rentáveis e os serviços ainda mais confiáveis e baratos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, Fábio Tadeu. Aplicação de Engenharia de Sistemas e gerenciamento de projeto em Sistemas Metroferroviários: Sistema de Sinalização e Controle de Trens. São Paulo, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO/IEC 15288: Engenharia de sistemas e software – Processos de ciclo de vida de sistemas. Rio de Janeiro, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6023: informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

BKCASE EDITORIAL BOARD. The Guide to the Systems Engineering Body of Knowledge – SEBOK. Hoboken: Stevens Institute of Technology, 2014.

CENELEC. EN 50126. Railway applications: The specification and demonstration of Reliability, Availability, Maintainability and Safety (RAMS). Bruxelas, 1999.

FLYVBJERG, B.; BRUZELIUS, N.; ROTHENGATTER, W. 2003. Megaprojects and Risk: An Anatomy of Ambition. Cambridge: Cambridge University Press.

GOODE, H; MACHOL, R. System Engineering: An Introduction to the Design of Large-Scale Systems. New York: McGraw-Hill, 1957.

GRUHL, W. Lessons Learned, Cost/Schedule Assessment Guide”. NASA Comptroller’s Office, 1992.

HOOKE, Ivy. Why Johnny Can’t Write Good Requirements. Compliance Automation inc., 2001.

HOOKE, Ivy. Writing Good Requirements. Proceedings INCOSE, pp. 197-203, 1994.

HOOKS, Ivy; WHETCRAFT, Lou. Scope-Magic. Compliance Automation inc, 2001.

IBM Brasil. IBM Rational Unified Process. São Paulo: IBM Corporation, 2008.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61508: Functional Safety of Electrical/Electronic/Programmable Electronic Safety-Related Systems. Geneva, 2000.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION – NASA. NASA/SP-2007-6185. System Engineering Handbook, Rev1. Hanover: NASA Center for Aerospace Information, 2007.

LARRAUFIE, Guy; MOËNS, Gilbert et al. Signalisation et automatismes ferroviaires, tome 2. Paris: Éditions La Vie Du Rail, 2013.

NAKAJO, Takeshi; SASABUSHI, Katsuhiko; AKIYAMA, Tadashi. A Structured Approach to Software Defect Analysis. Hewlett-Packard Journal, Volume 40. Palo Alto: Hewlett-Packard Company, 1989.

PMI's Pulse of the Profession. Requirements Management – A Core Competency for Project and Program Success. Newton Square: Project Management Institute (PMI), 2014.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento de Projetos (Guia PMBOK). 5ª edição. Pennsylvania: Project Management Institute (PMI), 2013.

PWC. Idéias e tendências: Práticas usuais de gestão de projetos, portfólios e programas – Terceira pesquisa global sobre a gestão de projetos, 2012.