**UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO – UFES**
**CENTRO TECNOLÓGICO – CT**
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**LEONARDO CARMINATI DE MELLO**

# GESTÃO DE INTERFACES DE SISTEMA, DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS E DO BIM BASEADA NOS CONCEITOS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS PARA PROJETOS FERROVIÁRIOS COMPLEXOS

**VITÓRIA – ES**
**2020**

**LEONARDO CARMINATI DE MELLO**

# GESTÃO DE INTERFACES DE SISTEMA, DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS E DO BIM BASEADA NOS CONCEITOS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS PARA PROJETOS FERROVIÁRIOS COMPLEXOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Élcio Cassimiro Alves

**VITÓRIA – ES**

**2020**

**LEONARDO CARMINATI DE MELLO**

# GESTÃO DE INTERFACES DE SISTEMA, DA INTEGRAÇÃO DE SISTEMAS E DO BIM BASEADA NOS CONCEITOS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS PARA PROJETOS FERROVIÁRIOS COMPLEXOS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisite parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Civil.

**Aprovado em __ de dezembro de 2020**

**COMISSÃO EXAMINADORA**

_____

Prof. Dr. Élcio Cassimiro Alves
Universidade Federal do Espírito Santo
Orientador

_____

Prof.ª Dr.ª Luciana Aparecida Netto de Jesus
Universidade Federal do Espírito Santo

_____

Prof. Dr. Marcos Antônio Campos Rodrigues
Universidade Federal do Espírito Santo

## AGRADECIMENTOS

Considero esta etapa uma das pedras angulares da minha vida, e me dá muita satisfação concluí-lo. Este é um desses momentos-chave, onde um ciclo termina e outro toma forma. E sou profundamente grato por todo o aprendizado. Para ser totalmente honesto, há alguns anos eu nunca poderia imaginar estar onde estou agora, e se cheguei aqui, referindo-me brevemente a Bernard de Chartres, é porque "me apoiei nos ombros de gigantes”. Portanto, gostaria de dedicar algumas palavras a esses gigantes.

Em primeiro lugar aos meus pais, que com um esforço que nunca poderei retribuir plenamente, sempre lutaram por mim e me ajudaram a moldar quem sou hoje. Ao meu irmão que, com cinco anos a mais de experiência, sempre buscou me auxiliar nos caminhos que percorri. Aos amigos que fiz e mantive durante esses anos e que me ajudaram a superar todos os obstáculos. Hoje são verdadeiramente parte da família. Não posso esquecer todos que trabalharam comigo e me acolheram, ajudando-me a aprender todos os dias. O ambiente de trabalho extremamente amigável fez do estágio e desse projeto uma experiência inesquecível. Finalmente, todos aqueles que estiveram comigo e que me ajudaram de uma forma ou de outra a chegar aqui. Consigo entender o mundo um pouco melhor ao aprender com cada um. Por último, à sorte, àquilo que não podemos explicar.

*Merci à tous.*


*“The harder you work, the luckier you get.”*

# RESUMO

Com os desafios atuais do domínio ferroviário e a crescente complexidade dos sistemas envolvidos, é possível observar que um número significativo de grandes projetos de infraestruturas enfrentou problemas em seus processos de gestão, indicando a necessidade de métodos estruturados para permitir uma execução consistente destes projetos. O presente trabalho, desenvolvido durante um estágio na Egis Rail, filial do Grupo Egis, busca a estruturação de um método de gestão focado em interfaces e integração de sistemas, *Building Information Modeling* na Engenharia de Sistemas para responder a essa demanda. O método, denominado IBIS (acrônimo em francês de *Interfaces - BIM - Ingénierie des Systèmes)*, visa ser um quadro de trabalho composto de processos, competências, ferramentas e documentos entregáveis para atuar em projetos metro-ferroviários complexos. A Revisão Bibliográfica busca fundamentar teoricamente o método, versando sobre os principais temas a partir das normas vigentes, publicações e de conceitos internos da empresa. A Metodologia estabelece uma estrutura de desenvolvimento e definir os principais passos a tomar para desenvolver o projeto. Os Resultados tratam desde a concepção da filosofia do método, seu ciclo de vida e processos envolvidos até a apresentação os principais entregáveis desenvolvidos no projeto. Por fim, a Conclusão busca discutir os resultados alcançados em comparação com os objetivos estabelecidos, as lições aprendidas durante o processo e as possibilidades de trabalhos futuros relacionados.

Palavras chave: Interfaces de Sistemas, Integração de Sistemas, BIM, Engenharia de Sistema, Projetos Metro-Ferroviários, Projetos Complexos de Infraestrutura, Gestão de Projeto.

# ABSTRACT

With the current challenges of the railway domain and the increasing complexity of the systems involved, it is possible to observe that a significant number of large infrastructure projects faced problems in their management processes, indicating the need for structured methods to allow a consistent execution of these projects. The present work, developed during an internship at Egis Rail, a subsidiary of the Egis Group, seeks to structure a management method focused on interfaces and systems integration, Building Information Modeling in Systems Engineering to respond to this demand. The method, called IBIS (acronym in French for *Interfaces - BIM - Ingénierie des Systèmes*), aims to be a framework composed of processes, competences, tools and deliverable documents to develop complex metro-rail projects. The Bibliographic Review seeks to theoretically support the method, dealing with the main themes based on the current standards, publications and internal concepts. The Methodology establishes a development structure and define the main steps to be taken to develop the project. The Results cover everything from the conception of the philosophy of the method, its life cycle and processes involved to the presentation of the main deliverables developed in the project. Finally, the Conclusion seeks to discuss the results achieved in comparison with the established objectives, the lessons learned during the process and the possibilities of related future work.

Key-words: System Interfaces, Systems Integration, BIM, Systems Engineering, Railway Projects, Complex Infrastructure Projects, Project Management.

# LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** - Mapa das novas linhas do *Grand Paris Express* ..... 14
**Figura 2** - Etapas do Ciclo de Vida de um sistema ..... 26
**Figura 3** - Representação esquemática da abordagem de resolução do problemas do Ciclo em V ..... 27
**Figura 4** - Exemplo de etapas de um Ciclo em V ..... 28
**Figura 5** - Processos da Engenharia de Sistema ..... 30
**Figura 6** - Representação esquemática da rastreabilidade dos requisitos ..... 31
**Figura 7 -** Arquitetura de um sistema de segurança baseado em satélites ..... 32
**Figura 8** - Superposição entre processos da Engenharia de Sistemas e da Gestão de Projetos ..... 33
**Figura 9** – Representação esquemática da fronteira entre dois Sistemas (A e B), composta de três interfaces (1, 2 e 3) ..... 34
**Figura 10** - Adaptação realizada na estrutura metálica da estação para passagem da Linha Aérea de Contato (visão interior) ..... 38
**Figura 11** - Adaptação realizada na estrutura metálica da estação para passagem da Linha Aérea de Contato (visão exterior) ..... 38
**Figura 12** - Maquete de um túnel ferroviário ..... 41
**Figura 13** - Conflito entre um elemento arquitetônicos e uma tubulação de ventilação no modelo 3D ..... 45
**Figura 14** - Processo de integração como parte ascendente do ciclo em V ..... 46
**Figura 15 –** Representação esquemática da estrutura da equipe de desenvolvimento do projeto IBIS ..... 56
**Figura 16** - Organograma da Equipe Principal ..... 56
**Figura 17** - Fluxograma do processo de validação dos entregáveis ..... 60
**Figura 18** - Ciclo de Vida típico de um projeto de infraestrutura ..... 62
**Figura 19** - Ciclo de Vida típico de um projeto de infraestrutura metro-ferroviário ..... 62
**Figura 20** - Etapas do Ciclo em V do modelo IBIS ..... 63
**Figura 21** - Atuação da gestão de Interfaces, Integração, BIM e da Engenharia de Sistemas no Ciclo em V do modelo IBIS ..... 64

**Figura 22** - Representação esquemática de parte dos processos da modelo IBIS .....65
**Figura 23** - Níveis do processo de realização de testes e ensaios.....66
**Figura 24** - Representação da realização de ensaios no ciclo em V .....66
**Figura 25** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com as datas e o cálculo do progresso das tarefas.....76
**Figura 26** - Panorama da estado das tarefas .....76
**Figura 27** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com o resumo do mês de julho de 2020 .....77
**Figura 28** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com o estado da validação das tarefas .....77
**Figura 29** - Frente e verso do folheto produzido.....82
**Figura 30** - Interação entre o *INMASYST* e o *BIMSync*.....84
**Figura 31** – Exemplo de um Modelo Beta 3D de uma zona de instalações técnicas ....84
**Figura 32** - Aba principal da Ficha de Acompanhamento.....96
**Figura 33 –** Túnel com a ausência dos equipamentos de ventilação .....97
**Figura 34 -** Base metálica produzida para o AMV .....98
**Figura 35 -** Conflito entre a base do poste da LAC e os suporte das bandejas.....99
**Figura 36** - Estação sobre a laje de concreto reforçada .....100
**Figura 37** - Circuitos imersos após chuvas prolongadas .....101
**Figura 38** - Poste de sinalização instalado em posição inadequada .....102
**Figura 39** - Circuitos de via instalados em um trecho inadequado do projeto .....102
**Figura 40** - Níveis de formação do modelo IBIS .....104

# LISTA DE TABELAS

**Tabela 1** - Níveis de implementação do BIM .....42
**Tabela 2** - Probabilidade de ocorrência dos riscos .....52
**Tabela 3** - Riscos identificados e suas possíveis causas e impactos .....53
**Tabela 4** - Processos Integrantes do Modelo IBIS.....68
**Tabela 5 -** Tarefas do Plano de Ação .....73
**Tabela 6 -** Resumo das características dos casos estudados .....78

# LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

| | |
|---|---|
| AMV | Aparelho de Mudança de Via |
| BIM | *Building Information Modeling* |
| CDE | *Common Data Environment* |
| ES | Engenharia de Sistemas |
| ESTP | *École Spéciale de Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie* |
| FBS | *Function Breakdown System* |
| FDR | *Feuille de Route* |
| GPE | *Grand Paris Express* |
| I&I | Interfaces e Integração |
| IBIS | *Interfaces – BIM – Ingénierie des Systèmes* |
| ISO | *International Standards Organization* |
| KPI | *Key Performance Indicator* |
| LAC | Linha Aérea de Contato |
| PBS | *Product Breakdown System* |
| PDA | Plano de Ação |
| UFES | Universidade Federal Do Espírito Santo |
| V&V | Verificação e Validação |
| WBS | *Work Breakdown System* |

# SUMÁRIO

**AGRADECIMENTOS** ..... **3**

**RESUMO** ..... **4**

**ABSTRACT** ..... **5**

**1. INTRODUÇÃO** ..... **12**

**1.1. Um Olhar Sobre Infraestrutura Ferroviária** ..... 12
**1.2. Contexto do Trabalho** ..... 13
**1.3. Objetivos** ..... 15
**1.4. Justificativa do Trabalho** ..... 16
**1.5. Estrutura do Trabalho** ..... 18

**2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA** ..... **19**

**2.1. Conceitos Gerais** ..... 19
**2.2. Engenharia de Sistemas** ..... 22
**2.2. Interfaces de Sistema** ..... 34
**2.3. *Building Information Modeling* - BIM** ..... 39
**2.4. Integração de Sistemas** ..... 46

**3. METODOLOGIA** ..... **51**

**3.1. Premissas, Restrições e Riscos** ..... 51
**3.2. Diretrizes e Principais Atividades para a Realização do Projeto** ..... 53
**3.3. Equipe de Desenvolvimento do Projeto IBIS** ..... 55
**3.4. Gestão da Qualidade e Validação de Entregáveis** ..... 59

**4. RESULTADOS** ..... **61**

**4.1. Definição da Base Teórica e Filosofia do Projeto** ..... 61
**4.2. Produção dos Documentos Diretriz do Projeto** ..... 69
**4.3. Coleção de Estudos de Caso** ..... 78
**4.4. Desenvolvimento das Atividades do Projeto** ..... 80
**4.5. Discussão dos Resultados** ..... 85

**5. CONCLUSÃO** ..... **87**

**5.1. Trabalhos Futuros** ..... 88

**6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS** ..... **90**

**APÊNDICE A – Ficha de Acompanhamento** ..... **95**

**APÊNDICE B – Coleção de Estudos de Caso** ..... **97**

**APÊNDICE C - Níveis de Formação do Modelo IBIS** ..... **104**

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. Um Olhar Sobre Infraestrutura Ferroviária

A Primeira Revolução Industrial, originada na Inglaterra por volta de 1760, causou um dramático impacto na economia mundial. Diversas mudanças na cadeia produtiva mudaram completamente a dinâmica dos mercados, tendo grande parcela de participação na criação da sociedade como a conhecemos hoje. Uma dessas grandes mudanças foi a invenção de locomotivas a vapor, que com o suporte de uma infraestrutura ferroviária, eram capazes de melhorar significativamente a capacidade, a velocidade e os custos do transporte de mercadorias.

Desde de sua invenção, o desenvolvimento de novas tecnologias para os sistemas ferroviários não cessou, e até os dias de hoje é de grande importância a nível global. Uma infraestrutura de transporte eficiente pode aumentar a produtividade de uma nação tanto aumentando a mobilização dos recursos disponíveis quanto aumentando a produtividade dos mesmos (PRADHAN & BAGCHI, 2012). Devido a isto, a relação entre a construção de infraestruturas de transporte e crescimento econômico tem sido extensivamente discutida nas últimas décadas (BANISTER & BERECHMAN, 2001).

Como exemplo, números do, em tradução livre, “Estudo sobre o Custo e Contribuição do Setor Ferroviário” (EUROPEAN COMISSION, 2015) sugerem que se contabilizados toda a cadeia de suprimentos para serviços ferroviários, o resultado econômico do setor na Europa se entende a 2,3 milhões de empregos e 143 bilhões de euros de valor agregado bruto. Além disso, na Europa, o desenvolvimento do setor tem sido fortemente encorajado nos últimos 30 anos por meio de incentivos governamentais como estratégia para aumentar a coesão econômica e social entre os países.

A necessidade de se buscar aperfeiçoar continuamente os sistemas se mostra então um fator estratégico e diante desta realidade, os grandes atores do mercado da área ferroviária estão sempre a pesquisar novas formas de aperfeiçoar os seus métodos. Este

é o caso do presente trabalho, realizado dentro de uma empresa francesa, onde se iniciou o desenvolvimento de um método de gestão para projetos metro-ferroviários.

## 1.2. Contexto do Trabalho

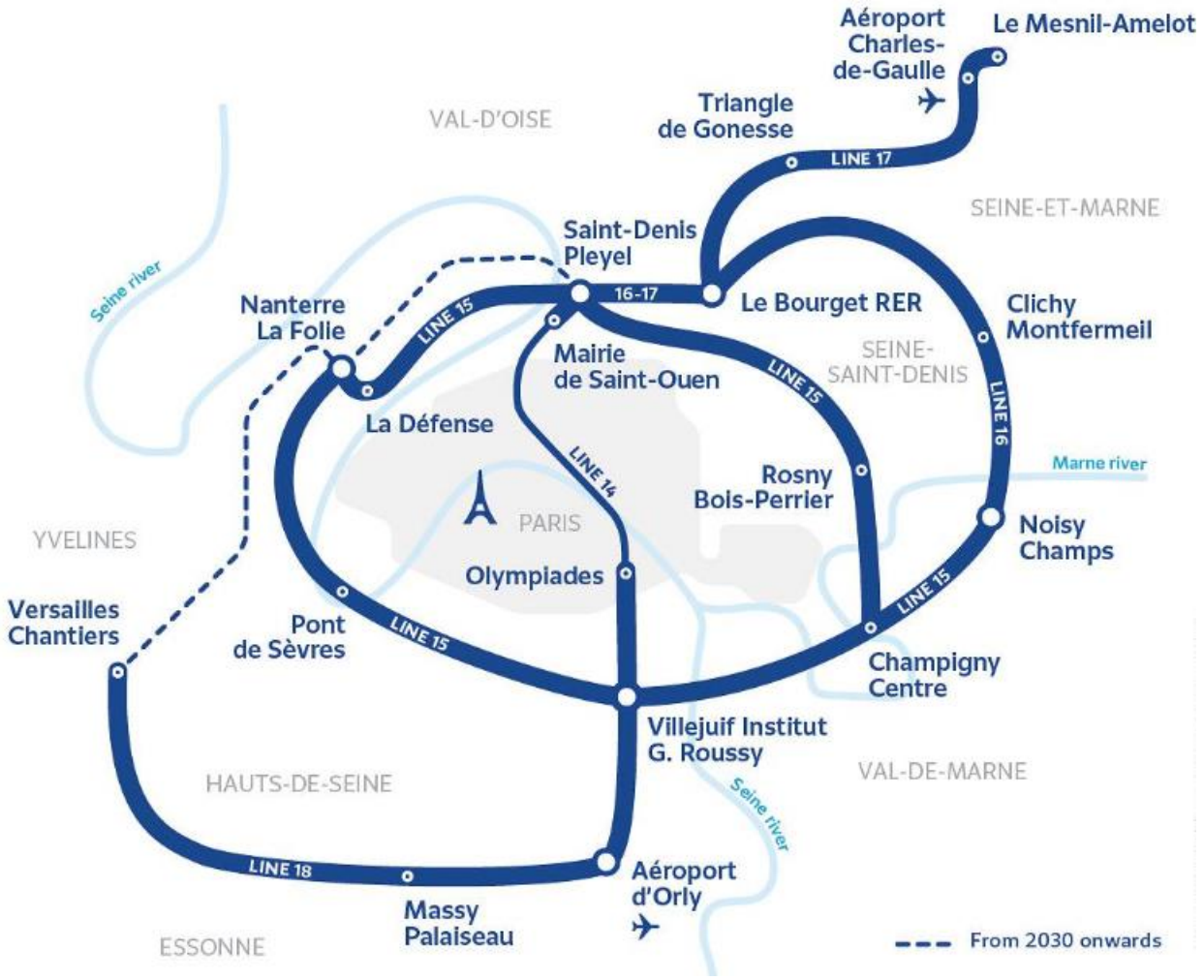
O trabalho foi realizado na empresa de engenharia francesa Egis[1] - grupo com presença internacional nos setores de transporte, construção, cidades, meio ambiente e energia - mais especificamente em sua filial Egis Rail, especializada em projetos metrô-ferroviários. O projeto foi desenvolvido durante um período de estágio atrelado à formação do autor do presente texto no curso superior de Trabalhos Públicos (*Travaux Publics,* em francês), na *École Spéciale de Travaux Publics, du Bâtiment et de l'Industrie* – ESTP, situada em Paris, França.

Voltado principalmente para a concepção, construção e gestão de grandes obras de interesse público – como estradas, pontes, portos e ferrovias, entre diversas outras - o curso de Trabalhos Públicos possibilita que o aluno, durante o período final de estágio, participe do desenvolvimento projetos de pesquisa e inovação propostos pelas empresas dessas áreas. Foi exatamente o caso do projeto desenvolvido na Egis Rail e aqui descrito no presente trabalho.

A Egis Rail é uma das empresas envolvidas no projeto do *Grand Paris Express* (GPE), de grande importância para a região metropolitana de Paris. Buscando maximizar a integração entre os modais de transporte da região e diminuir significantemente o tempo de viagem, o projeto consiste na criação de quatro linhas automáticas (linhas 15, 16, 17 e 18) e da extensão de duas linhas já existentes (linhas 11 e 14). O mapa das novas linhas pode ser visto na Figura 1. Após a sua conclusão, o GPE terá uma capacidade diária de 2 milhões de passageiros e um sistema totalmente automatizado. (SOCIETÉ DU GRAND PARIS, 2017).

[1] Site oficial da empresa: https://www.egis-group.com/

**Figura 1** - Mapa das novas linhas do *Grand Paris Express*




Fonte: Société du Grand Paris (2017)

Uma das equipes da empresa, responsável pela linha 18, obteve resultados interessantes utilizando certos métodos e ferramentas com foco em interfaces de sistemas, integração de sistemas e BIM. A utilização desses recursos se mostrou significativamente benéfico, e dessa forma foi proposto o desenvolvimento de um método de gestão, o IBIS. Sua criação seria não só uma forma de fazer frente aos recentes desafios da área, mas seria igualmente uma oportunidade de reunir boas práticas já existentes na empresa, dispersadas em diferentes equipes e filiais.

Sendo baseado principalmente na Engenharia de Sistemas, o modelo IBIS deveria ser composto essencialmente por um conjunto de métodos de gestão, ferramentas e

entregáveis específicos. Com o propósito de reduzir os riscos técnicos e fornecer mais certeza na entrega do projeto metrô-ferroviário, o modelo visa garantir a consistência técnica necessária para beneficiar indicadores chave do sucesso de um projeto, como o respeito aos cronogramas e orçamentos iniciais.

## 1.3. Objetivos

### 1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo principal do presente trabalho é o desenvolvimento parcial do modelo IBIS, acrônimo de *Interfaces – BIM – Ingénierie de Systèmes* (Interfaces – BIM – Engenharia de Sistemas, em português), que visa a ser um método de gerenciamento de projetos complexos de infraestrutura ferroviária, com o objetivo de melhorar o desempenho e a eficiência dessas empreitadas, além de ser replicável por todas as filiais da empresa.

### 1.3.2. Objetivos Específicos

Para se atingir o objetivo geral, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos, para favorecer um encaminhamento lógico e eficaz do desenvolvimento do projeto:

a) Definição da filosofia, da base teórica e do escopo do projeto: o estudo e definição de exatamente quais processos serão incorporados no modelo bem como o contexto nos quais cada um deve atuar no ciclo de vida da utilização do modelo, que também deve ser estabelecido no desenvolvimento do projeto.
b) Desenvolver Estudos de Caso sobre interfaces e integração de sistemas: com o objetivo de ilustrar a importância do tema tratado e do desenvolvimento do projeto.
c) Definição das diretrizes do projeto: definição das principais diretrizes a seguir e atividades a realizar para garantir um desenvolvimento coerente e bem orientado do projeto. É necessário chegar a um Plano de Ação, com todas as tarefas relacionadas ao projeto.

d) Realização das tarefas definidas no Plano de Ação: iniciar a realização das atividades estabelecidas no Plano de Ação, para garantir o desenvolvimento do projeto dentro das diretrizes estabelecidas nas etapas anteriores.

## 1.4. Justificativa do Trabalho

A construção de ferrovias e seus projetos estão historicamente relacionados a um alto nível de tecnicidade, comumente envolvendo diversas necessidades diferentes. Grandes estruturas de infraestrutura, obras em subsolo e a engenharia da ferrovia e do material rodante são apenas alguns dos domínios envolvidos e exigem um vasto corpo de conhecimento. No entanto, exigências para o desenvolvimento dos projetos e a escala dos mesmos crescem a cada dia, resultando em um desafio para os métodos de gestão atuais (YEH, 2019). Novos padrões de segurança, requisitos ambientais mais elevados, novas modalidades de sistemas (por exemplo, a escala cada vez maior de automatização aplicada) e um crescente grau de exigência na elaboração de cronogramas e orçamento aumentam significativamente a complexidade desses projetos.

Como afirma Rajabalinejad (2018), existem diversas partes envolvidas em projetos ferroviários em nível nacional e internacional, e cada parte tem responsabilidades, objetivos, interesses e procedimentos diferentes. Essas partes interessadas exigem continuamente um nível mais alto de integridade para o projeto e possuem um nível de tolerância cada vez mais baixo. Por um lado, regras e medidas extras, aumentam o nível de segurança dos sistemas, mas por outro lado também aumentam a complexidade envolvida.

Nesse contexto, é possível identificar que lidar com as exigências crescentes é um desafio na área dos projetos ferroviários urbanos no momento. Os resultados de diversos estudos e projetos ao redor do mundo mostram as consequências disso. Como exemplo, com uma amostra de 258 projetos de infraestrutura ao redor do mundo, Flyvbjerg *et al*, (2004) indica que 90% dos projetos de transporte sofrem escalada de custos e, especificamente nas ferrovias, a escalada média é de 45%.

Analisando esse contexto, Mabelo e Sunjka (2017) concluem que os métodos atuais de gestão de projetos da engenharia civil não acompanharam necessariamente essa nova realidade. Para atender as demandas atuais, a necessidade de integração de diferentes sistemas para funcionalidade e eficácia aumentou. Tendo isso em vista, Mabelo e Sunjka (2017) ainda apontam para a ascensão da utilização dos conceitos da Engenharia de Sistemas entre grandes projetos de infraestrutura, principalmente por sua característica de lidar com eficácia com a escalada da complexidade.

A Engenharia de Sistemas, como definido por INCOSE (2006), é uma abordagem que foca em como projetar, integrar e gerenciar sistemas complexos ao longo de seu ciclo de vida, pode fornecer aos projetos metrô-ferroviários maior consistência técnica e uma redução de riscos, tanto na fase de projeto quanto na fase de implementação. Segundo Mabelo e Sunjka (2017, p. 40) “os princípios e conceitos da Engenharia de Sistemas podem ser implementados a um modelo holístico de ciclo de vida do projeto, o que melhora a eficácia da entrega”.

Ao mesmo tempo, nos últimos anos as tecnologias digitais têm avançado continuamente, oferecendo novas ferramentas para lidar com os constantes desafios da engenharia. É o caso, por exemplo, do conceito de *Building Information Modeling* (BIM), princípio que envolve a modelização 3D de estruturas, atrelando a elas diversas informações pertinentes. Para Nuttens *et al* (2018), as vantagens do BIM se tornam cada vez mais evidentes, ao passo que sua utilização diminui o retrabalho e os atrasos durante as obras. Isso diminui custos e aumenta a eficiência e a qualidade do projeto.

Dessa forma, ferramentas como o BIM possuem também o potencial para auxiliar a gestão da complexidade dos grandes projetos recentes. Se por um lado, as complexidades da área aumentam, por outro, essa necessidade de evoluir os métodos para acompanhá-las criam uma grande oportunidade para a indústria aperfeiçoar seus serviços e criar vantagens competitivas sobre outros meios de transporte (RAJABALINEJAD, 2018).

## 1.5. Estrutura do Trabalho

O trabalho científico em questão está disposto da seguinte forma:

a) O Capítulo 1 é composto da introdução ao tema de projetos metrô-ferroviários e da problemática envolvida, resultando na justificativa do projeto bem como seu escopo;
b) O Capítulo 2 é composto da revisão bibliográfica de todos os temas pertinentes para o desenvolvimento do projeto: gestão de interfaces e integração de sistemas ferroviários, papel do BIM na realização de projetos e utilização de procedimentos da Engenharia de Sistemas;
c) O Capítulo 3 apresenta a Metodologia a ser aplicada no trabalho para o desenvolvimento do projeto, explicando os procedimentos adotados para a realização do mesmo;
d) O Capítulo 4 apresenta a discussão dos resultados obtidos a partir do emprego da metodologia determinada no Capítulo 3;
e) Por fim o Capítulo 5 apresenta as conclusões do trabalho científico, realizando uma análise entre os objetivos propostos no projeto e os resultados obtidos.

# 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica é uma etapa fundamental para a fundamentação teórica e para a contextualização dos temas abordados no trabalho. Tendo em mente que a gestão de interfaces e da integração de sistema, a utilização do BIM, e os processos da Engenharia de Sistemas são os principais pilares do modelo IBIS, é essencial compreender suas características e a maneira com que estão ligados ao desenvolvimento de um projeto metro-ferroviário complexo. Além disso é necessário entender conceitos usais da área, como as denominações das partes interessadas e os tipos de documentos frequentemente utilizados, por exemplo.

## 2.1. Conceitos Gerais

Um projeto metro-ferroviário envolve uma infinidade de disciplinas diferentes, tanto técnicas quanto empresariais. Adicionalmente, muitos dos termos e abordagens utilizados dependem do contexto do projeto, como por exemplo a sua localidade. Por conta disso, as listas apresentadas a seguir têm apenas o objetivo de descrever e contextualizar alguns desses conceitos. Vale ressaltar que as mesmas não são exaustivas, e pretendem abranger apenas conceitos que serão necessários para o entendimento de certas passagens do presente trabalho.

### 2.1.1. Partes Interessadas do Projeto

Para compreender como se passam certos processos na execução de um projeto, é necessário identificar as diferentes partes interessadas em um projeto e suas responsabilidades. Como o presente trabalho foi realizado na França, serão usadas as terminologias usuais do país, por melhor refletir a divisão do projeto. As principais partes interessadas são relevante do presente trabalho são:

- MOA (do francês, *Maîtrise d'Ouvrage*): O MOA do projeto pode ser visto como o dono do projeto. É a parte que normalmente identifica a oportunidade e estuda sua

viabilidade financeira, para então contratar uma outra organização para realizar o projeto. É ela também que formaliza um Caderno de Especificações, indicando todas as suas necessidades (MOREAU, 2020). Se utilizando do exemplo do *Grand Paris Express,* o MOA é a *Société du Grand Paris,* empresa do governo Francês que requisita a realização do projeto.

- AMOA (do francês, Assistant à *Maîtrise d'Ouvrage*): é a organização contratada pela MOA para auxiliá-la na parte técnica da definição, monitoramento e exploração do projeto, tendo em vista que as MOA normalmente não possuem conhecimentos técnicos na área da construção civil. Também normalmente auxilia na redação do Caderno de Especificações e verifica que o projeto está satisfazendo as necessidades do seu cliente, a MOA.
- MOE (do francês, *Maîtrise d'Œuvre*): é a organização contratada pela MOA para realizar efetivamente a gestão do projeto, sendo responsável por sua realização. O MOE pode realizar todas as etapas do projeto, porém é comum que o mesmo realize as etapas de concepção e posteriormente conduza uma licitação para contratar outra empresa para a execução das obras (MOREAU, 2020). Muitas vezes é esse o caso da Egis Rail, realizando a concepção e o monitoramento dos trabalhos, porém contratando uma Construtora para a realização das obras.
- Construtora: é a empresa, frequentemente contratada pela MOE, para a realização das obras. Seu trabalho é geralmente monitorado pela MOE, para verificação de que a sua concepção está sendo respeitada.

### 2.1.2. Documentos e Ferramentas usuais em um Projeto Metro-Ferroviário

Muitas das etapas da realização de um projeto requerem a utilização de documentos entregáveis específicos. O conjunto de documentos utilizados no projeto muitas vezes depende da área do mesmo, se adequando as suas necessidades. A área metro-ferroviária não é diferente, e o entendimento das características de certos entregáveis é necessária para a compreensão das informações relevantes para determinada etapa. Dessa forma, os documentos relevantes para a compreensão do projeto, mesmo que não sejam os desenvolvidos no presente trabalho, são:

- Decomposição Estruturada de Funções (FBS, do inglês *Function Breakdown Structure*): é uma decomposição estruturada de todas as funções que devem ser realizadas por um produto para conclusão de uma missão. Se concentrando assim no aspecto funcional, o FBS descreve atividades e operações, não se preocupando com a arquitetura do produto. (DEHOFF; LEVACK; RHODES, 2009)
- Estrutura de Divisão do Produto (PBS, do inglês *Product Breakdown Structure*): é uma decomposição estruturada de todos os componentes de um produto. O PBS é utilizado na gestão de projeto para garantir que nenhum aspecto do produto a ser desenvolvido não seja tratado. Pode auxiliar na construção de um WBS. (HAUGHEY, 2015)
- Estrutura Analítica da Projeto (WBS, do inglês *Work Breakdown Structure*): é uma decomposição estruturada de todos os entregáveis necessários para o desenvolvimento de um projeto. Isso possibilita em dividir o projeto em diversas tarefas, atribuí-las às pessoas responsáveis e construir um calendário. (HAUGHEY, 2015)
- Planos de Gestão: o desenvolvimento de um projeto metro-ferroviário demanda a realização de uma grande quantidade de processos, muitos dos quais serão explicados mais adiante. É muito comum que para os processos mais relevantes para determinado projeto, seja criado um plano de gestão, especificando todos os procedimentos e características deste processo no contexto do projeto em questão. Assim ele serve como diretriz principal para a realização do processo.
- Ambiente Comum de Dados (CDE, do inglês *Common Data Environment*): uma ferramenta que centraliza todos os documentos e dados relacionados ao projeto, de forma que eles estejam acessíveis as partes interessadas a todo momento.
- Relatório de Conflitos (do termo em inglês *Clash Report*) documento gerado utilizando ferramentas ligadas ao BIM, onde conflitos entre estruturas do projeto podem ser identificados no modelo digital criado.
- Indicadores de Performance (KPI, do inglês *Key Performance Index*): são informações coletadas periodicamente com o propósito ser uma métrica que

indique a performance de um sistema ou equipe. KPIs muito comuns na gestão de projetos estão relacionados a prazos, orçamentos e produtividade.

- Relatório de Maturidade de Interfaces: a maturidade de interfaces é um conceito utilizado internamente na Egis Rail, que basicamente define o estado da concepção das interfaces em meio às trocas de informações entre as diferentes partes interessadas responsáveis. O Relatório de Maturidade de Interfaces busca reunir a situação atual de todas as interfaces do projeto, fornecendo uma visão global.

## 2.2. Engenharia de Sistemas

### 2.2.1. Visão Geral

INCOSE (2006) aborda o conceito de Engenharia de Sistemas de três formas diferentes: como uma perspectiva, um processo e uma área profissional. Como perspectiva, a Engenharia de Sistemas é uma abordagem interdisciplinar que permite a realização de sistemas com êxito (INCOSE, 2006). Como processo, ela é vista como um processo iterativo de desenvolvimento e operação, de “cima para baixo”, de um sistema que satisfaça de forma quase ótima todos as exigências atribuídas a ele (EISNER, 2002). Como área profissional, a Engenharia de Sistemas é uma disciplina que se concentra no projeto e na aplicação do sistema, distinto dos elementos que o constituem. Trata-se de olhar um problema em sua totalidade, levando em consideração todas as nuances e variáveis envolvidas, igualmente relacionando o aspecto social ao técnico. (USA FAA, 2014)

Dessa forma, a Engenharia de Sistemas aponta claramente para uma mentalidade com lógica de sistemas, onde há um esforço para ter uma visão holística do problema em questão e dos fatores que podem afetar suas possíveis soluções. A partir daí, guiada por conceitos chave, a Engenharia de Sistemas define atividades e métodos capazes de projetar e construir sistemas bem-sucedidos. (INCOSE, 2006)

O processo de utilização da Engenharia de Sistemas tem início com o cliente, que ao explicitar suas necessidades e objetivos, possibilita a definição das chamadas exigências de sistema. Elas alimentam então o desenvolvimento do projeto, que pode prosseguir para fases de análise e concepção da arquitetura do sistema (EISNER, 2002). Adicionalmente, elas também são utilizadas para medir o nível de sucesso do projeto, verificando-se se as mesmas são adequadamente satisfeitas.

No entanto, além das etapas aonde são definidos requisitos e são concebidos e validados os sistemas, a Engenharia de Sistemas ainda trabalha com processos da operação dos sistemas, orçamentários, de planejamento, de performance, de treinamento e de finalização do sistema, considerando não só os aspectos técnicos, mas também as necessidades comerciais dos clientes. Integrando diversas disciplinas e especialidades a Engenharia de Sistemas enfatiza o aspecto de “trabalho em equipe” no projeto e entrega um produto que satisfaça as necessidades do usuário. (INCOSE, 2006)

Deve-se observar também que, por meio da Gestão de Riscos, a Engenharia de Sistemas leva em consideração o risco de não cumprimento das especificações do cliente, de atraso na entrega e de exceder o orçamento que existem em um projeto de infraestrutura. Uma medida da utilidade das atividades de Engenharia de Sistemas é o grau em que esses riscos são reduzidos nos projetos. (SAGE, 1995)

Tendo em vista todo esse contexto, a Engenharia de Sistemas visa contribuir para a implementação de sistemas funcionais através de processos muito bem definidos, facilitando a integração das disciplinas e grupos de especialidades relevantes num esforço coeso (INCOSE, 2006). É possível resumir os principais objetivos da engenharia de sistemas da seguinte maneira:

- Estabelecer de forma equilibrada os objetivos do projeto e os critérios os de sucesso das partes interessadas;
- Definir as necessidades reais ou previstas do cliente, o conceito operacional e a funcionalidade necessária, desde o início do ciclo de desenvolvimento;

- Estabelecer um modelo de ciclo de vida adequado, uma abordagem guiada por processos e estruturas de governança, levando em consideração os níveis de complexidade e incerteza do projeto;
- Concepção de soluções e arquiteturas alternativas;
- Realização dos processos de verificação e validação do sistema (V&V);
- Realização dos processos de suporte necessários, como processos relacionados à gestão e a operação do sistema criado.

### 2.2.2. Definição de Sistemas

Sistemas podem ser definidos de várias formas. A ISO/IEC/IEEE 15288:2015, intitulada "*Systems and software engineering — System life cycle processes*" (Engenharia de Sistemas e de software – Processos do Ciclo de Vida do Sistema) define um sistema como "uma combinação de elementos que interagem de maneira organizada para atingir um ou mais objetivos". Esta definição ainda pode ser complementada por Chapman, Bahill e Wymore (1992) que definem sistemas como um processo que converte *inputs* (entradas) em *outputs* (saídas) e por Eisner (2002) que estipula que sistemas normalmente realizam diferentes funções, e para isso se utilizam de subsistemas.

Tendo isso em vista, uma abordagem com lógica de sistemas parte do princípio que todos os elementos de um sistema devem interoperar harmoniosamente, dando origem à um processo sistemático e repetível, que permite a concepção, desenvolvimento e operação do sistema. Sendo o processo, "sistemático e repetível", se maximizam as chances de que todas as exigências do sistema definidas pelo cliente sejam satisfeitas. (INCOSE, 2006)

Para ilustrar o conceito de sistema dentro de um contexto metro-ferroviário, é adequado evocar o conceito de "Sistemas de Sistemas" (SoS, do inglês *Systems of Systems*), definidos como "uma coleção de sistemas interoperantes que produzem resultados que não podem ser atingidos pelos sistemas individualmente" (INCOSE, 2006). Isso acontece porque, por exemplo, uma linha de metrô pode ser vista por si só como um sistema. Ela

deve cumprir seu papel de transportar passageiros da forma mais eficiente possível, de forma sistemática e repetível. No entanto, pela magnitude da complexidade envolvida na atividade desenvolvida pelo metrô, ela deve ser vista como um conjunto de sistemas, que trabalham em conjunto para atingir o objetivo do sistema “metrô”.

Nesse contexto, diferentes áreas e estruturas, como a via-férrea, a rede elétrica, o sistema de controle de dados, a sinalização da via, a infraestrutura das estações, o material rodante, entre muitas outras, podem ser por si só considerados sistemas individuais, que podem ser inclusive responsabilidade de partes interessadas diferentes. Muitas vezes, um sistema que compõe outro sistema pode ser chamado também de um subsistema.

Eisner (2002) então define que as principais funcionalidades e resultados de uma abordagem com lógica de sistemas são:

a) Seguir um processo sistemático e repetível;
b) Enfatizar a interoperabilidade harmoniosa entre todos os elementos do sistema;
c) Fornecer uma solução com grande custo-benefício para o problema do cliente;
d) Garantir a consideração de alternativas;
e) Usar iterações como forma de colaborar para o melhoramento contínuo;
f) Atender a todos os requisitos e exigências do cliente;
g) Criar um sistema robusto.

### 2.2.3. Definição de Ciclo de Vida

Um dos conceitos mais importantes da Engenharia de Sistemas é o conceito de ciclo de vida, e seu gerenciamento é baseado na ISO/IEC/IEEE 24748:2018, intitulada “*Systems and software engineering — Life cycle management*” (Engenharia de Sistemas e Software – Gerenciamento do Ciclo de Vida). O ciclo de vida de um sistema abrange toda a existência do mesmo, desde a concepção inicial até sua operação ou finalização.

O ciclo de vida é geralmente dividido em diferentes etapas, sendo a ligação entre cada etapa os pontos chave a se decidir se o sistema está preparado para avançar às próximas etapas. Um formato genérico da divisão das etapas do ciclo de vida de um sistema é apresentado na Figura 2.

**Figura 2** - Etapas do Ciclo de Vida de um sistema

| Etágios do Ciclo de Vida | Objetivo | Pontos de Decisão |
|---|---|---|
| Conceito | Identificar necessidades do cliente<br>Explorar Conceitos<br>Propor soluções viáveis | Alternativas de decisão:<br>- Executar o próximo estágio<br>- Continuar no estágio<br>- Voltar um estágio<br>- Suspender atividades do projeto<br>- Abortar o projeto |
| Desenvolvimento | Refinar os requisitos do sistema<br>Descrever a solução<br>Construir o sistema<br>Verificar e validar o sistema | |
| Produção | Produzir sistemas<br>Inspecionar e testar | |
| Utilização | Operar sistema e satisfazer as necessidades do cliente | |
| Suporte | Fornecer continuamente a funcionalidade do sistema | |
| Aposentadoria | Armazenar, arquivar ou se livrar do sistema | |

Fonte: adaptado da ISO/IEC/IEEE 24748:2018

Para se adequar às especificidades de cada projeto, as etapas do ciclo de vida podem ser arranjadas de diversas formas diferentes. Os principais tipos de modelo para ciclos de vida de sistema são os seguintes: com processos predominantemente pré-especificados e sequenciais; com processos predominantemente evolutivos e simultâneos; e com processos predominantemente interpessoais e irrestritos. (SEBoK, 2020).

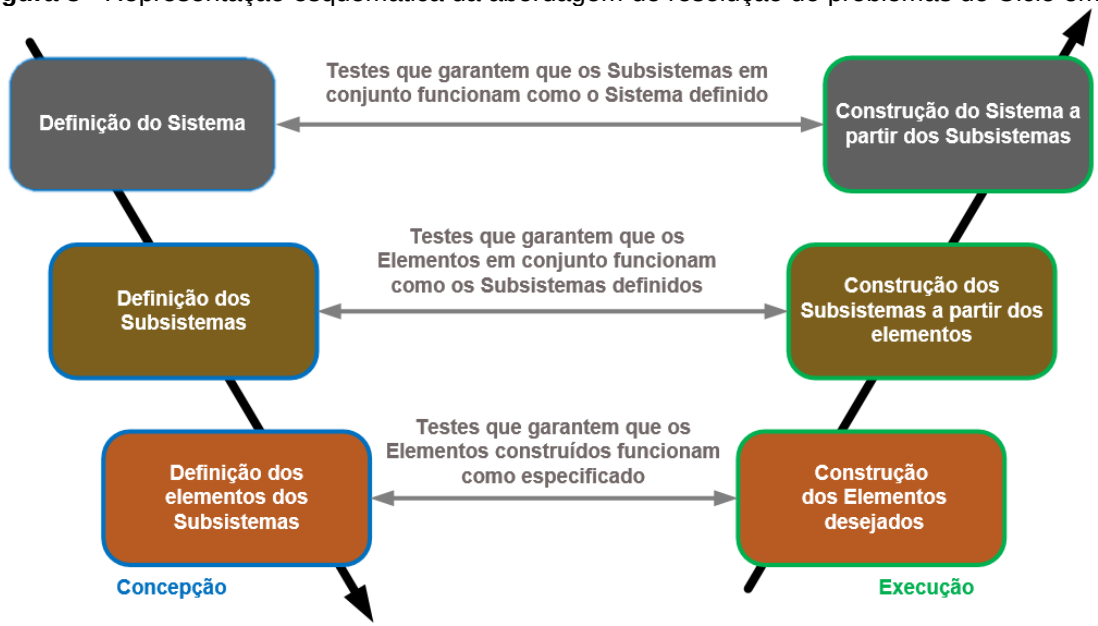
O ciclo em V é um exemplo de modelo que segue uma lógica de processos pré-definidos e sequenciais que é muito utilizado em projetos de infraestrutura. Por ser um modelo que

enfatiza os requisitos a serem satisfeitos durante as fases de concepção e de testes, o ciclo em V atende muito bem as atividades de verificação e validação (V&V) dos sistemas e subsistemas, respondendo satisfatoriamente à complexidade desse tipo de projeto.

O ciclo em V evidencia a necessidade de que a execução de todos os elementos do sistema e todos os testes de validação sejam ligados a requisitos do sistema definidos nas fases iniciais de que cada requisito deve ser tratado por pelo menos um elemento do sistema e por teste de validação. Tal rigor ajuda a garantir a eficiência do desenvolvimento do projeto, ao passo que colabora para que nada seja feito de forma desnecessária e que tudo o que é necessário seja realizado. (SEBoK, 2020)

Essas características do ciclo em V têm origem em seu formato. Sua metodologia possui um processo de concepção que ataca o problema de indo de uma visão macroscópica para uma visão microscópica e um processo de execução que constrói a solução pensada partindo de uma visão microscópica para uma visão macroscópica. Esse conceito é demonstrado na Figura 3.

**Figura 3** - Representação esquemática da abordagem de resolução do problemas do Ciclo em V

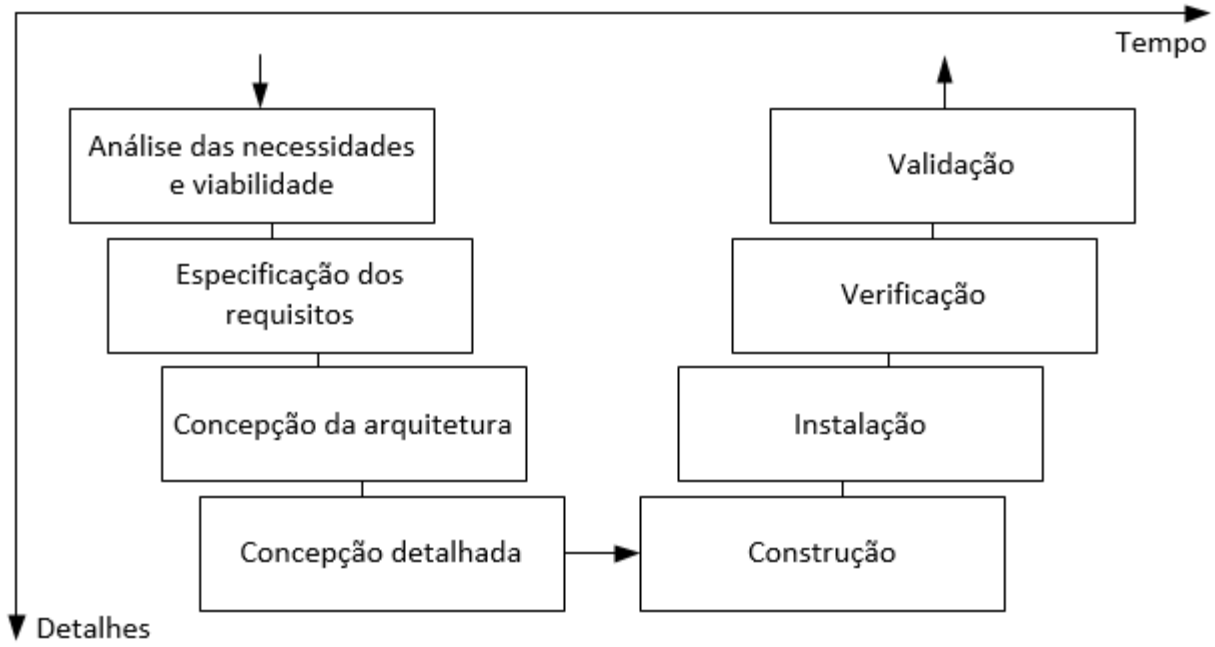



Fonte: Autor

A primeira parte se trata de um estágio de “cima para baixo”, onde se encontram principalmente as etapas de definição dos requisitos e concepção dos elementos. Nesta parte, os responsáveis pelo projeto partem de um problema ‘grande’, que vai sendo dividido em vários problemas ‘pequenos’, o que facilita a busca pelos requisitos e elementos necessários para resolvê-los e possibilita então a concepção desses elementos. A segunda parte se trata de um estágio de “baixo para cima”, onde se encontram principalmente as etapas de execução e de testes. Neste estágio, os elementos projetados para resolver os ‘pequenos problemas’ são construídos para que ao final, ao interagir, esses elementos resolvam o problema ‘grande’.

Um ciclo em V típico é mostrado pela Figura 4, onde são exemplificadas as etapas dos estágios descendente e ascendente:

**Figura 4** - Exemplo de etapas de um Ciclo em V




Fonte: adaptado de Firesmith (2013)

### 2.2.4. Processos Padrão da Engenharia de Sistemas pela ISO 15288:2015

O resultado da utilização dos princípios da Engenharia de Sistemas é um “sistema projetado” (do termo em inglês *engineered system*), criado especificamente para a

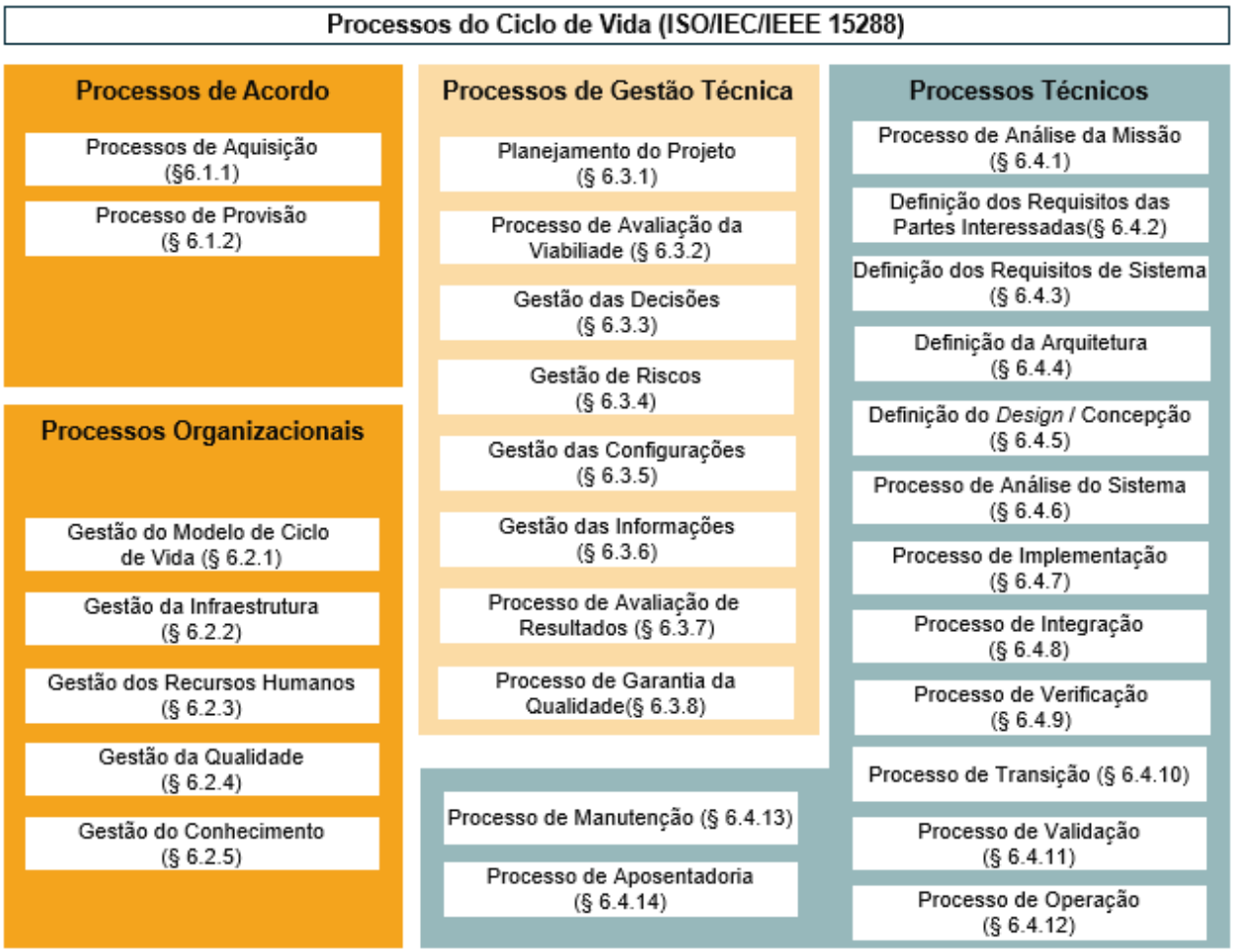
resolução de um problema e definido como uma combinação de diferentes sistemas, subsistemas e componentes que trabalham em sinergia para desempenhar coletivamente a função desejada. Dessa forma, uma série de processos são estruturados para garantir essa sinergia.

A ISO/IEC/IEEE 15288:2015 define alguns dos processos que podem ser implementados, dependendo do tipo de sistema desejado, para realizar tal trabalho. Eles são divididos em quatro grupos principais:

- Processos Técnicos: processos utilizados para definir os requisitos do sistema e traduzi-los em elementos que o formarão. Além disso permitem a reprodutibilidade do sistema e sua capacidade de fornecer os serviços para os quais ele foi concebido.
- Processos de Gestão Técnica: processos usados para desenvolver e executar planejamentos, bem como avaliar o progresso do projeto e controlar sua execução.
- Processos Organizacionais: processos que fornecem os recursos e infraestrutura necessária para dar suporte ao projeto sob uma ótica organizacional.
- Processos de Acordo: processos necessários para o estabelecimento de acordos entre entidades internas e externas à organização realizando o projeto.

Na Figura 5 encontram listados todos os processos da norma:

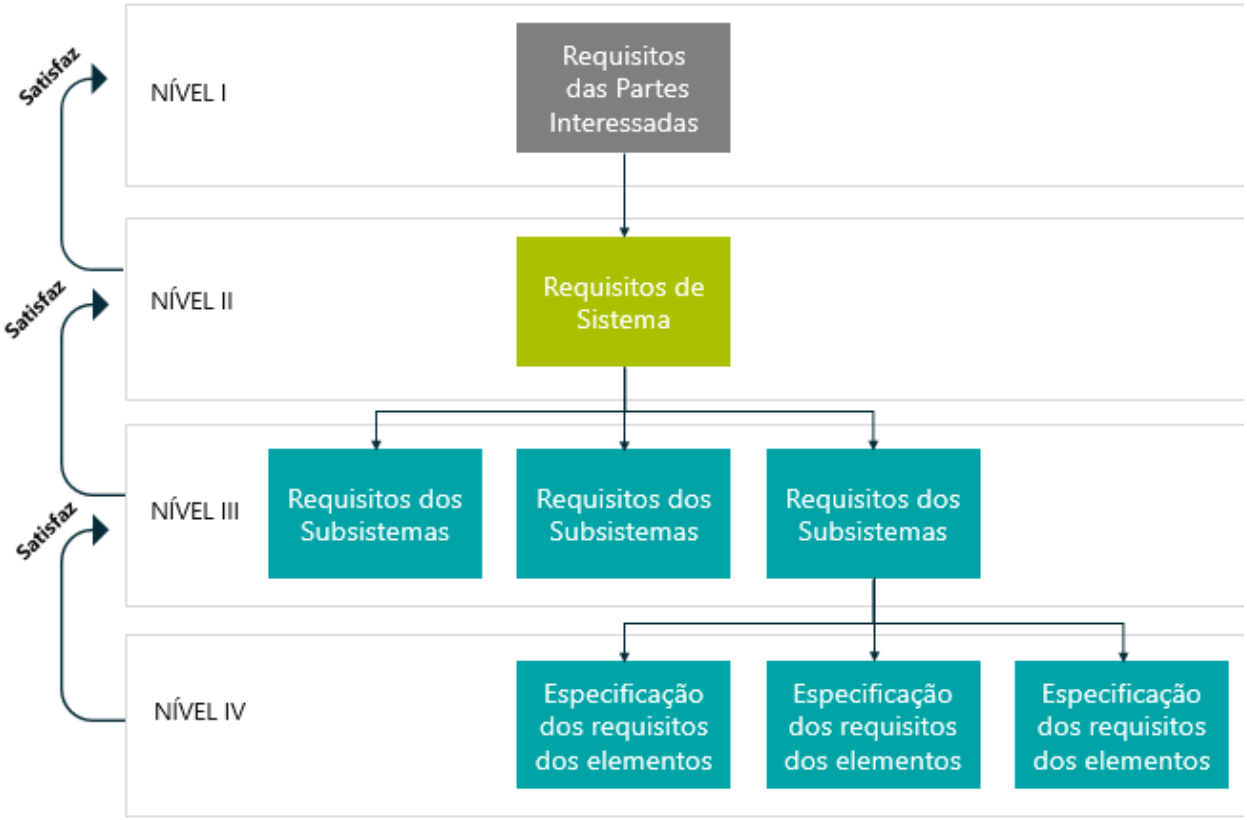
**Figura 5** - Processos da Engenharia de Sistema




Fonte: adaptado da ISO/IEC/IEEE 15288:2015

Dentre os processos da Figura 5, alguns merecem destaque dentro do contexto do projeto IBIS. Por exemplo, os processos relacionados aos requisitos são muito importantes. Enquanto a Definição dos Requisitos das Partes Interessadas formaliza contratualmente todas as necessidades do cliente, a Definição de Requisitos de Sistema traduz essas necessidades em requisitos técnicos a serem satisfeitos pelo sistema. Esses processos ajudam a garantir a satisfação de todas as necessidades do cliente e facilitam a chamada rastreabilidade de requisitos (Figura 6), ou seja, a relação entre as exigências desde um nível de elementos até o nível de sistema.

**Figura 6** - Representação esquemática da rastreabilidade dos requisitos



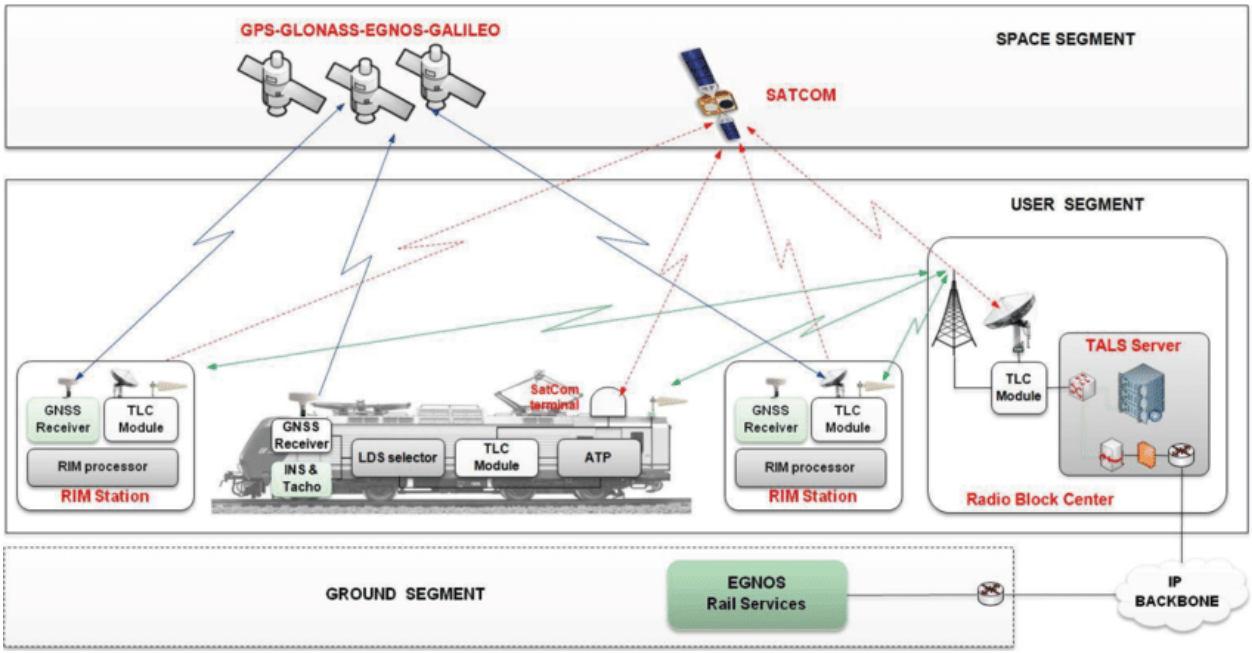

Fonte: adaptado de Egis Rail (não publicado)

Já os processos de Definição da Arquitetura e Definição do Design estão diretamente relacionados à concepção do projeto como um todo, ao passo que, respectivamente, definem as estruturas e comportamentos do sistema de forma conceitual e então realizam a concepção propriamente dita. Um exemplo de arquitetura de sistema pode ser visto na Figura 7. Ainda, os processos de Integração, Verificação e Validação são essenciais no desenvolvimento do projeto, e serão mais profundamente discutidos na seção 2.5., sobre Integração de Sistemas.

Ainda é interessante citar os processos de Gestão das Configurações e Gestão do Conhecimento. A Gestão de Configurações tem como objetivo manter a consistência do projeto, acompanhado a configuração dos elementos e suas alterações durante todo o ciclo de vida do projeto. Já a Gestão do Conhecimento visa gerar meios de criar e

disponibilizar conhecimentos além de reutilizar conhecimentos já gerados previamente na organização, sendo muito importante para o melhoramento contínuo dos processos.

**Figura 7 -** Arquitetura de um sistema de segurança baseado em satélites




Fonte: RISPOLI *et al* (2013)

### 2.2.5. Superposição entre processos de SI e gerenciamento de projetos

Como visto nas seções anteriores, a Engenharia de Sistemas fornece um amplo conjunto de processos que contêm muitos dos principais aspectos de um projeto. No entanto, a abordagem de Engenharia de Sistemas não pode funcionar sem uma estrutura de Gestão de Projetos muito robusta. (BOSWELL; ANBARI; VIA, 2017)

Processos como gerenciamento de recursos, de contratos e planejamento normalmente não são considerados como pertencentes ao escopo da Engenharia de Sistemas. Por outro lado, existem processos sobrepostos entre a ela e a Gestão de Projetos, exigindo meios adequados de comunicação e intercâmbio entre os responsáveis pela gestão. A Figura 8 ilustra os pontos de convergência, que são os principais elementos para o sucesso de um projeto de infraestrutura:

Os processos de gerenciamento de projetos também são citados na "ISO 21500: 2012: Guia para Gerenciamento de Projetos" e beneficiam significativamente a execução do projeto, fornecendo uma maneira estruturada de lidar com os principais aspectos do projeto, como gestão da qualidade, riscos ou decisões. Como resultado, tais medidas garantem a eficiência organizacional desejada para a realização do projeto.

**Figura 8** - Superposição entre processos da Engenharia de Sistemas e da Gestão de Projetos

Fonte: adaptado de Egis Rail (não publicado)

### 2.2.6. Confiabilidade dos Sistemas

Outro aspecto da Engenharia de Sistemas que pode ser ressaltado é o denominado RAMS, acrônimo em inglês para Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança, fatores que afetam significativamente os custos e a utilidade dos sistemas ao longo do seu ciclo de vida. Na norma francesa NF EN 50126, intitulada, em tradução livre, “Aplicações ferroviárias - Especificação e demonstração de Confiabilidade, Disponibilidade, Manutenibilidade e Segurança (RAMS)", procedimentos são

estabelecidos para garantir a operação segura dos sistemas em cada estágio do ciclo em V.

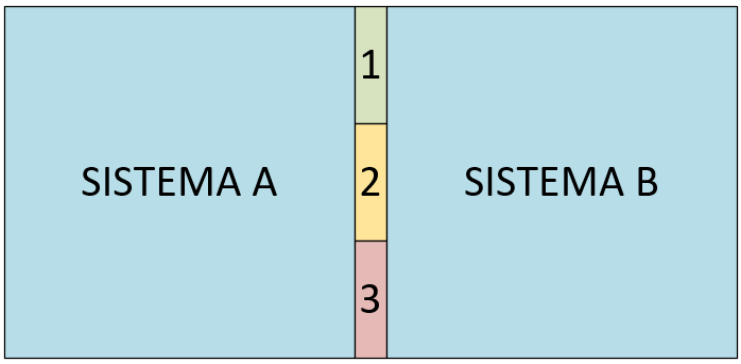
Esses procedimentos incluem, por exemplo, a exigência de autorizações para a passagem de uma etapa do ciclo de vida para outra e metodologias que analisam a gestão dos requisitos de segurança dos elementos e subsistemas. Desta forma, é possível perceber que a problemática da segurança nos projetos também está relacionada e pode se beneficiar da realização de processos da Engenharia de Sistemas.

## 2.3. Interfaces de Sistema

### 2.3.1. Definição e Classificação

Uma interface pode ser definida como uma área de contato entre dois sistemas do projeto, englobando diferentes domínios que compartilham dados e que estão em contato uns com os outros, como pode ser visto na Figura 9. Como definido por Fosse e Delp (2013), as interfaces de sistemas abrangem tudo aquilo que é necessário para interligar os elementos distintos de um sistema para que eles trabalhem em conjunto com eficácia. Por esse motivo as interfaces de sistemas estão no centro do caráter multidisciplinar da Engenharia de Sistemas. Para realizar a conexão entre os elementos, é necessário que se especifique as propriedades relevantes e o comportamento de cada um.

**Figura 9** – Representação esquemática da fronteira entre dois Sistemas (A e B), composta de três interfaces (1, 2 e 3)




Fonte: Autor

Voltando aos exemplos de sistema no contexto ferroviário dados na seção 2.2., onde a via-férrea, a rede elétrica, o sistema de controle de dados, a sinalização da via, a infraestrutura das estações e o material rodante são mostrados como sistemas individuais que compõe uma linha de metrô, podemos ver as interfaces como os pontos aonde essas diferentes estruturas estão em contato ou devem se comunicar.

Por exemplo, se pensarmos em um metrô que se utiliza de uma alimentação elétrica com um terceiro trilho (um condutor rígido eletrificado alinhado com os trilhos convencionais) devem ser projetadas as formas de comunicação entre os sistemas de via férrea e a rede elétrica de alta tensão. O posicionamento do condutor do terceiro trilho na via, o contato entre o mesmo e os dormentes e as estruturas que serão utilizadas para fixar os condutores são problemáticas que devem ser pensadas e são ao mesmo tempo exemplos de interfaces entre esses sistemas. Há de se considerar que em sistemas tão complexos quanto os metro-ferroviários, a gestão das interfaces é de imensa importância para a qualidade do projeto.

Além disso, existem várias formas de classificar as interfaces de sistemas. Embora os exemplos dados, para facilitar a visualização do conceito, tenham focado em interfaces físicas, aonde há um contato entre duas estruturas concretas, é possível classificá-las como interfaces técnicas, que dizem respeito a aspectos como a troca de dados técnicos e definição de limites de serviço, e como interfaces de coordenação espaço-temporal, que se concentram em aspectos relacionados ao planejamento das obras do projeto. (EGIS RAIL, não publicado)

Ainda como base nas diretrizes da Egis Rail (não publicado), podemos citar outra forma fazer uma classificação, desta vez em termos das partes interessadas envolvidas. Dessa perspectiva, uma interface pode ser:

- Interna: interface entre dois sistemas sob a responsabilidade da mesma parte interessada (por exemplo, em uma licitação de um projeto de metrô, se a mesma empresa for responsável pela via férrea e pela rede elétrica de alta tensão, essa

empresa será responsável pelas interfaces entre as duas, que serão por sua vez interfaces internas);

- Externa: interface entre dois sistemas sob a responsabilidade de diferentes partes interessadas no mesmo projeto (por exemplo, em uma licitação de um projeto de metrô, se a uma empresa for responsável pela via férrea e outra pela rede elétrica de alta tensão, as empresas dividirão responsabilidades pelas interfaces, que serão por sua vez vistas como interfaces externas pelas empresas);
- Exterior: e interface entre dois sistemas, um deles não fazendo parte do projeto (por exemplo, em uma licitação de um projeto de metrô, se for previsto que o projeto terá contato com uma infraestrutura já existente que não faz parte do projeto, as interfaces entre o projeto e a infraestrutura existente são consideradas exteriores);

A importância da implementação de um processo de gestão de interfaces e sua capacidade de beneficiar a qualidade técnica de projetos de engenharia vêm a cada dia sendo mais reconhecida pela indústria. Isso ocorre porque a gestão de interfaces é capaz de esclarecer funções e responsabilidades entra as partes interessadas, reduzindo conflitos; melhorando a comunicação e o trabalho em equipe de todas as partes envolvidas e aprimorando os processos de planejamento e monitoramento de projetos (ARCHIBALD, 2003)

### 2.3.2. Gestão das Interfaces de Sistema

O tópico das interfaces de sistema é extremamente importante no contexto atual para a realização de sistemas muito complexos, e por isso diferentes formas de geri-las vem surgindo nos últimos anos. (SHOKRI, 2014). A experiência adquirida pelo mercado em projetos metro-ferroviários, a gestão de interfaces tem apontado para a mesma direção, onde a gestão de interfaces tem colaborado para a aprimorar a qualidade e a segurança dos projetos e para o cumprimento de prazos e orçamentos.

A descrição e especificação de interfaces de uma maneira geral é um problema desafiador e atualmente as práticas atuais de Engenharia de Sistemas contam com uma variedade de documentos e diagramas para descrever as especificações de interface para diferentes sistemas. Adicionalmente, a indústria possui padrões específicos para certos tipos interfaces. (FOSSE & DELP, 2013)

No decorrer de um projeto, o objetivo da gestão de interfaces é controlar e apoiar o desenvolvimento das fases do projeto por meio de uma adequada definição de interface, especialmente quando existem várias partes interessadas, internas ou externas, envolvidas. Ela também deve promover a discussão entre todos os responsáveis afim de alcançar uma definição precisa dos elementos das interfaces e dos limites de prestação de cada sistema, o que reduz o risco de inconsistências durante a execução do projeto.

O objetivo do processo de definição de interfaces é descrever de forma exaustiva e precisa suas respectivas características físicas e funcionais, garantindo a consistência e a integração dos sistemas e reduzindo os riscos relacionados. Tal processo requer ferramentas eficazes e escolhidas com sensatez, implantadas o mais cedo possível no processo de desenvolvimento para avaliar os requisitos das interfaces. (UDDIN; CAMPEAN; KHAN, 2015)

Além disso, projetos com maior complexidade apresentam inerentemente uma maior quantidade de riscos, e no caso de uma gestão ineficaz, esses riscos costumam ser amplificados. Para ilustrar os tipos de problemas que podem surgir devido ao gerenciamento insuficiente de interfaces, é possível descrever um caso coletado pelo autor do presente trabalho durante a produção de um documento interno para a Egis Rail, que foi denominado Documento de Sensibilização às Interfaces, que visa aumentar a consciência sobre a importância das interfaces de Sistema. Este documento será descrito posteriormente no Capítulo 4, de resultados.

O caso em questão, ilustrado pelas Figura 10 e Figura 11, cujos detalhes em respeito à localização e aos atores envolvidos serão omitidos, se trata das obras em um projeto de

metrô em uma metrópole, onde inconsistências entre os projetos da infraestrutura e da rede elétrica de alta tensão causaram um conflito entre a altura útil da linha aérea de contato (LAC), conhecida igualmente como catenária, e a estrutura metálica de uma das estações durante a execução dos trabalhos. Para alcançar a resolução do problema, foi necessária a realização de cálculos estruturais para verificar as adaptações possíveis e posteriormente a realização de trabalhos corretivos para compatibilização da estrutura com a catenária. A consequência foi um atraso de cerca de 2 meses na instalação da linha área.

**Figura 10** - Adaptação realizada na estrutura metálica da estação para passagem da LAC (visão interior)

Fonte: Egis Rail (não publicado)

**Figura 11** - Adaptação realizada na estrutura metálica da estação para passagem da LAC (visão exterior)

Fonte: Egis Rail (não publicado)

### 2.3.3. Implementação da Gestão das Interfaces de Sistema

Nos padrões da ISSO/IEC/IEEE 15288, o processo de gerenciamento de interfaces está contido em outros processos da gestão de projetos, estando relacionado principalmente aos processos de gestão de exigências, da integração de sistemas, e de verificação e validação. No entanto é possível tratar a Gestão de Interfaces como um processo individual, dando mais atenção para o mesmo, tendo em vista a sua importância já mencionada.

Para isso é possível a criação de uma equipe de interfaces, composta por representantes técnicos de todas as partes interessadas. Tal medida favorece a comunicação entre as partes e a transparência sobre as responsabilidades de cada um, colaborando para a organização de um ambiente colaborativo. Nesta abordagem, também é necessário estabelecer um piloto de interfaces à um nível global do projeto, isto é, um responsável pela solução de problemas e também pelo gerenciamento de mudanças que ocorrem no decorrer do projeto, sendo um ator transversal no projeto. As principais funções deste piloto se resumem nas seguintes atividades:

- Criar e manter um Plano de Gestão de Interfaces;
- Criar e manter um Registro de Interfaces atualizado;
- Produzir modelos de documentos de controle das interfaces;
- Facilitar reuniões regulares entre a equipe;
- Estabelecer e documentar revisões do Registro de Interfaces.

## 2.4. *Building Information Modeling* - BIM

### 2.4.1. Definição e Utilização

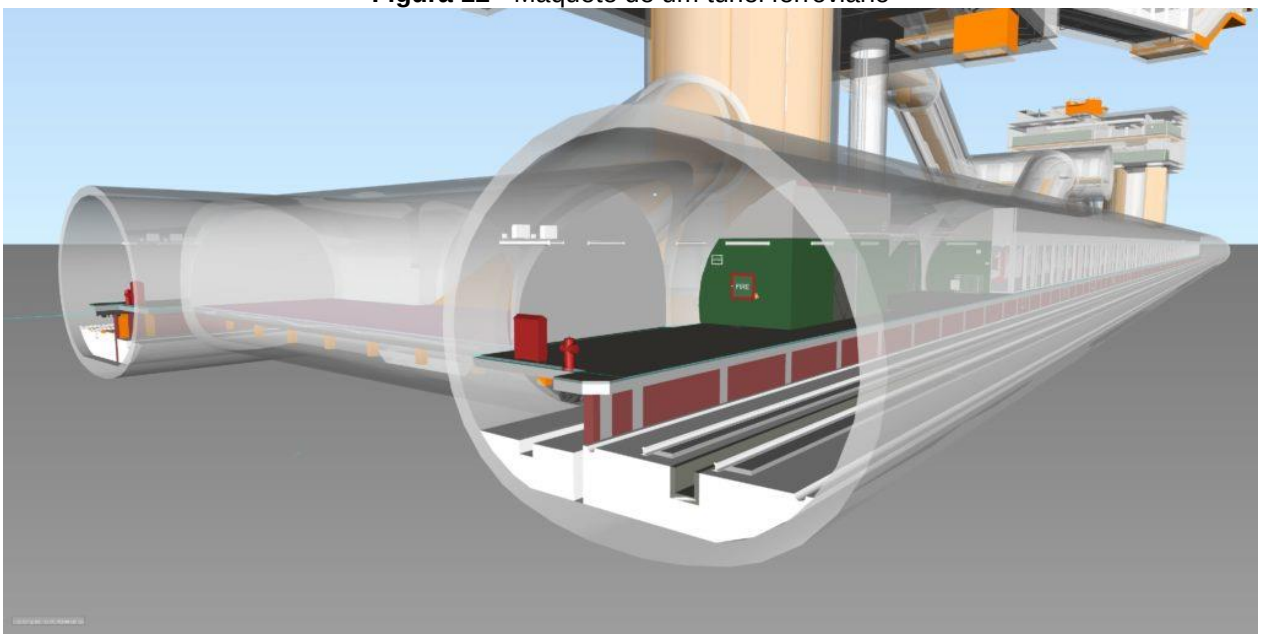
O BIM, sigla de *Building Information Modeling* (Modelagem das Informações da Construção, em tradução livre), refere-se ao método e à filosofia envolvidos na criação de um modelo digital da construção, onde a cada elemento pode ser atrelado uma grande

variedade de dados. Tido por Eastman *et al* (2011) como um dos desenvolvimentos mais promissores da área da arquitetura, engenharia e construção civil, o método BIM ainda preconiza o compartilhamento do modelo digital entre todas as partes interessadas do projeto, contribuindo assim para o aspecto colaborativo do projeto, sendo acessado pelas numerosas partes interessadas, incluindo clientes.

Tais informações que podem ser atreladas aos elementos das estruturas podem tratar de a uma variedade de aspectos a respeito dela, como o material com qual é feita, informações a respeito de sua manutenção, operação, construção ou até seu custo, potencialmente dando suporte aos processos de planejamento, orçamento, execução e, praticamente, de quaisquer processos relacionados ao ciclo de vida da estrutura. Grandes níveis de detalhe aplicados requerem um grau significativo de sofisticação no processo de gestão do método BIM em uma empresa, mas também são responsáveis por diversos benefícios aos projetos, como redução de tempo e custos associados a mudanças de design, aumento na eficiência e produtividade das equipes de concepção, eliminação de conflitos entre as estruturas concebidas, monitoramento do progresso durante a construção, entre diversos outros (AL-ASHMORI *et al*, 2020)

Os atributos anexados aos elementos do modelo fazem do mesmo um grande banco de dados que pode ser consultado para obter listas, quantidades e visualizações 3D específicas, como mostrado na Figura 12. A prática mais comum é que o responsável de cada área dê sua contribuição produzindo um respectivo modelo e modificando-o de acordo com as necessidades do projeto. Nos projetos metro-ferroviários, as maquetes abordam não só a via propriamente dita, com maquetes de túneis e trilhos, mas também incluem instalações físicas, como estações e salas técnicas, e todos os sistemas envolvidos, como as redes elétricas e de telecomunicações, resultando muitas vezes em diferentes modelos que são integrados a um modelo central.

**Figura 12** - Maquete de um túnel ferroviário



Fonte: Autodesk (2017)

Na abordagem BIM, nenhum software é imposto e, de fato, há um grande número de softwares capaz de suportar a produção BIM. (JOHANNES, 2019). Cada profissional trabalha com sua própria ferramenta, apropriada a seu domínio, e alinha sua contribuição com a dos demais - por exemplo, o *Civil3D*, *Revit* e *Navisworks*, da empresa *Autodesk*, o *Tekla Structures* e *Tekla BIMsight*, da *Trimble*, e o *Rhinoceros* e o *Grasshopper*, desenvolvidos pela *Robert McNeel & Associates*.

A interoperabilidade desses softwares é garantida pelo uso de arquivos IFC, que foram certificados pela *International Standardization Oraganization* – ISO em 2013. É o formato universal suportado pela maioria dos softwares BIM e que permite trocas de dados entre os softwares desenvolvido pela BuildingSMART[2]. Atualmente adaptada especialmente para o uso em estruturas de edifícios, a sua utilização é cada vez mais necessária em projetos de infraestruturas lineares e o mercado está a desenvolver essa faceta da tecnologia BIM.

[2] Site oficial da BuildingSMART International. Acesso em 10/11/2020 (https://www.buildingsmart.org/standards/bsi-standards/industry-foundation-classes/).

Além disso, vale ressaltar que a cooperação não se limita à produção e intercâmbio de modelos tridimensionais. Em primeiro lugar, o acesso ao modelo global fornece suporte imediato para o entendimento e intercâmbio entre atores de várias origens, como arquitetos, engenheiros estruturais, especialistas em sistemas e clientes. Assim, permite um desenvolvimento mais rápido e auxilia na tomada de decisões. E além dos modelos, as equipes podem trocar informações e gerenciar tarefas diretamente centradas no modelo BIM. Isso permite trocas mais contextualizadas e eficazes no dia a dia dentro das equipes e fornece informações para a gestão de projetos.

### 2.4.2. Classificação

A utilização da filosofia BIM pode ser classificada de duas formas principais, uma se tratando do nível de colaboração empregado e outra de acordo com a quantidade de informações que é empregada. Quanto à colaboração, um projeto pode empregar quatro níveis distintos, como resumido na Tabela 1. Tais níveis podem ainda ser chamados de níveis de maturidade da utilização do BIM, remetendo-os como etapas em direção a um BIM verdadeiramente colaborativo:

**Tabela 1** - Níveis de implementação do BIM

| Nível | Colaboração |
|---|---|
| Nível 1 de BIM | Concepção Assistida por Computador (*Computer-Aided Design - CAD*) limitada a desenhos bidimensionais |
| Nível 2 de BIM | Uma mistura de modelos bidimensionais e tridimensionais. Não existe uma colaboração elevada entre os atores os projeto, que publicam e atualizam individualmente seus projetos. |
| Nível 3 de BIM | Cada ator produz e compartilha um modelo 3D para sua disciplina, que, junto com os demais modelos, constitui o modelo digital. Cada especialista permanece responsável pelo conteúdo de seu modelo. |
| Nível 4 de BIM | Cada contribuição para o projeto é feita diretamente em um modelo digital único e centralizado. |

Fonte: Adaptado de BIS (2011)

A utilização do BIM também pode ser classificada com uma noção número de "dimensões".

- BIM 3D: Os planos dos modelos são produzidos em software 3D, o que melhora a visualização do todo e a detecção de interferências e favorece a pré-fabricação, a leitura de estruturas existentes, o cálculo de quantitativos e a atualização automática de plantas e detalhes.
- BIM 4D: As plantas da maquete trabalham em paralelo com a informação de “tempo”, ou um cronograma de construção, o que permite aos diferentes atores de um projeto visualizar a duração dos eventos, o andamento das fases de construção e até a interferência entre equipamentos empregados na execução de diferentes fases.
- BIM 5D: Os planos do modelo funcionam em paralelo com os dados de “custo”. Isso permite estimar os custos da construção ou ter uma ideia da situação financeira de um projeto em um determinado momento.

Outras dimensões como 6D, 7D e 8D ainda não chegaram a um consenso no mercado, mas podem estar relacionadas a outras capacidades da abordagem BIM, relacionadas à sustentabilidade, manutenção, pegada ecológica e assim por diante. (CHAREF, 2018)

### 2.4.3. A Utilização do BIM em um Projeto

Para a realização da Gestão do BIM em um projeto uma prática possível é o estabelecimento de uma equipe, com um piloto principal, comumente chamado de *BIM Manager,* e com os principais responsáveis pela modelagem das partes interessadas. Com um Plano de Gestão do BIM, são definidas as diretrizes e objetivos do uso do BIM no projeto. Também é recomendável o desenvolvimento de uma Estrutura Analítica do Projeto (EAP), documento que decompõe o projeto em termos de entregáveis e trabalhos à serem realizados.

Para se desenvolver projetos com maiores níveis de colaboração normalmente é necessário alcançar formas de se privilegiar um ambiente colaborativo. Projetos com nível 2 de maturidade ou superiores pedem plataformas de compartilhamento, como o *BIMsync*, da empresa *Catenda,* e o A360 da Autodesk, e softwares para realizar o papel de um Ambiente Comum de Dados (CDE).

O modelo BIM também acaba por trabalhar como uma fonte de dados de entrada para as mais diversas ferramentas, como softwares de cálculo e simulações ambientais (por exemplo reverberação acústica e desempenho térmico); *scripts* que verificam automaticamente os modelos quanto à conformidade a determinadas exigências e normas; e variadas formas de simulação dinâmica, permitindo uma visão das futuras instalações em condições operacionais e respondendo aos desafios de segurança, desempenho e conforto dos futuros usuários. Tudo isso limita a perda de informações de software para software, ou de fase para fase, e libera engenheiros e modeladores de tarefas repetitivas, melhorando a qualidade da concepção do projeto.

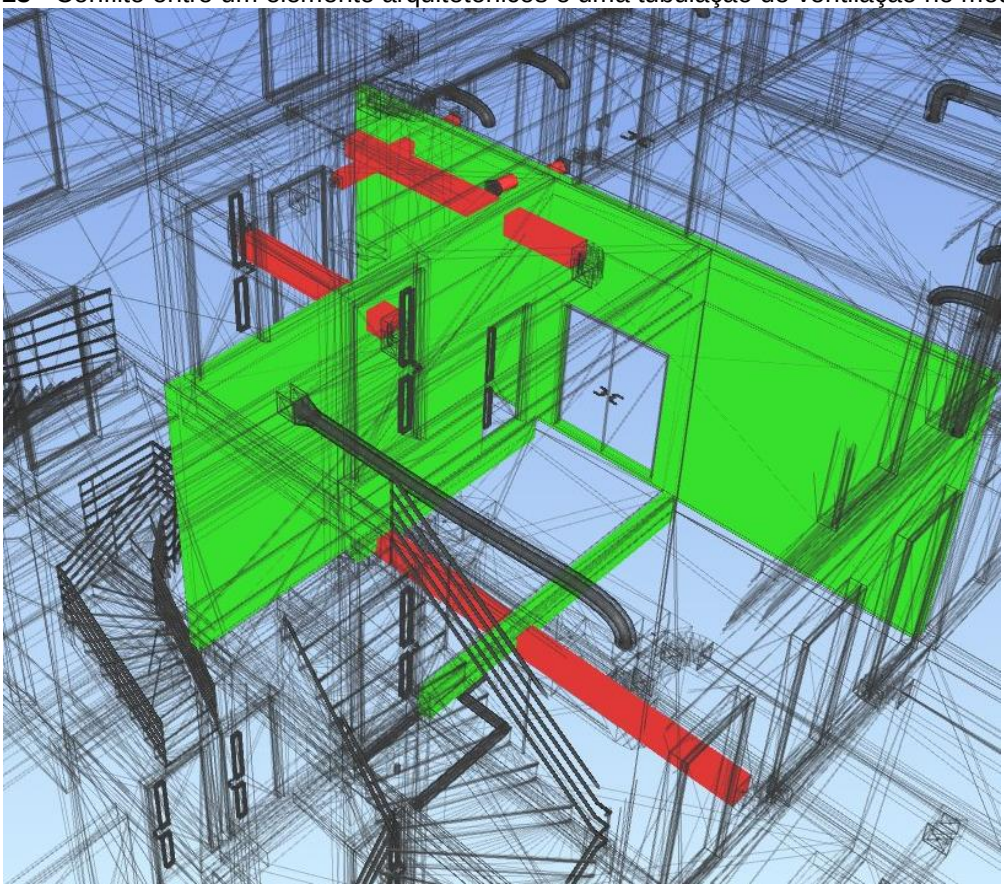
Dessa forma, o uso do BIM pode beneficiar muito um projeto, pois pode melhorar a eficiência de uma série de processos envolvidos no uso de seus recursos. No entanto a experiência adquirida pelas empresas recentemente aponta que o processo BIM é ainda mais benéfico se não for visto como um componente separado da Gestão de Projetos, mas sim incluído como um de seus aspectos essenciais. Um dos motivos para isso é que um número significativo de entregáveis produzidos por atividades relacionadas ao BIM podem ser incluídos diretamente nos processos de Engenharia de Sistemas e Gestão de Projetos de forma geral. Para ilustrar, é possível citar:

- O Plano de Gestão do BIM pode ser integrado ao Plano de Gestão principal do projeto;
- Compartilhamento do CDE entre os processos BIM e os outros processos de gestão, para uma maior integração do inventário de documentos do projeto.
- Os modelos 3D podem ser vinculados diretamente à Estrutura de Divisão do Produto (PBS, do inglês *Product Breakdown Structure),* uma espécie de

decomposição hierárquica de todos os componentes do produto, típica em projetos metro-ferroviários;

- Integração direta da modelagem BIM no processo de concepção do projeto;
- Os Relatórios de Conflitos, documentos que listam todos os conflitos existentes entre os elementos dos modelos, podem ser usados para atividades de Integração de Sistemas. Um exemplo de conflito pode ser visto na Figura 13;
- Na implementação do BIM 4D ou 5D, as planilhas geradas podem alimentar diretamente os processos envolvidos com o planejamento e o orçamento.

**Figura 13** - Conflito entre um elemento arquitetônicos e uma tubulação de ventilação no modelo 3D



Fonte: Autor

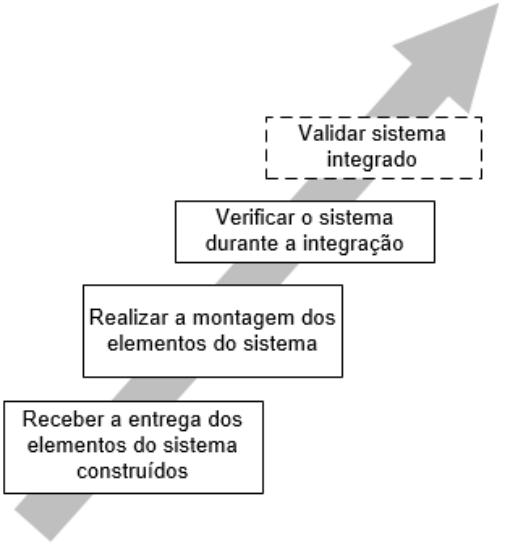
## 2.5. Integração de Sistemas

### 2.5.1. Definição

A integração de sistemas é um processo que garante que todos os sistemas do projeto e seus respectivos componentes sejam capazes de trabalhar juntos, atendendo aos requisitos do projeto. Segundo o INCOSE (2006), seu objetivo é a realização do sistema visado a partir da combinação progressiva dos elementos construídos, fazendo com que operem como uma unidade. Os processos de verificação e validação são uma parte importante da integração, tendo em vista que garantem não só os elementos funcionem em sinergia, mas também que atendem os requisitos estabelecidos.

O processo de integração pode ser visto como toda a parte ascendente do ciclo em V, onde após a fabricação, os elementos são ligados fisicamente e verificados individualmente. Com a evolução do processo, os elementos passam pelas etapas de verificação e validação progressivamente, sendo testados como elementos trabalhando em conjunto (SEBoK, 2020). Ainda é interessante notar que o sucesso da integração de sistemas está muito ligado à gestão de interfaces, presente na primeira parte do ciclo em V, e por isso iterações entre os dois processos deve ocorrer (DAU, 2010). O esquema da Figura 14 a seguir ilustra o processo de forma simplificada:

**Figura 14** - Processo de integração como parte ascendente do ciclo em V




Fonte: Adaptado de SEBoK (2020)

Segundo a ISO/IEC/IEEE 15288:2015, definição de uma estratégia de integração é fundamental. A estratégia é geralmente descrita em um Plano de Integração, que define principalmente os elementos esperados, a ordem de sua implementação, os procedimentos das etapas de verificação e validação e a maneira de avaliação das interfaces de sistema. Algumas das principais estratégias de integração destacadas pelo SEBoK (2020) são:

- Integração Global: A integração é realiza em apenas um passo, após a fabricação de todos os elementos. É recomendada para sistemas simples, pois embora seja de mais fácil realização, a detecção de erros é dificultada e ocorrem tardiamente.
- Integração “pelo Fluxo”: Os processos de integração vão sendo realizados em medida em que os elementos vão sendo fabricados. Permite um rápido começo da integração, mas pode ser complexa por demandar a simulação de elementos não disponíveis.
- Integração por Subconjuntos: os elementos são divididos em subconjuntos para a realização dos processos de integração. Os subconjuntos devem ser definidos na fase de concepção, porém o método pode economizar tempo pois possibilita a integração de subconjuntos em paralelo. Muito aplicável em arquiteturas compostas de subsistemas.
- Integração “de Baixo para Cima”: os elementos são testados na ordem inversa e sua utilização. Se por um lado isso facilita a definição dos testes a realizar e acelera a identificação de erros nos elementos individualmente, por outro, falhas na arquitetura dos sistemas não são rapidamente identificáveis.
- Integração por Critérios: a ordem de integração é definida por critérios específicos, o que possibilita priorizar as partes mais críticas do sistema. Isso possibilita a verificação rápida das escolhas da arquitetura, porém pode ser difícil de definir os testes a realizar.

Para a definição de uma estratégia de integração, o INCOSE (2006) afirma que a escolha das abordagens a utilizar depende de diversos fatores, como o tipo de elementos do sistema, o prazo de entrega, os riscos envolvidos e as restrições do projeto. Alguns dos

fatores que mais influenciam a escolha da estratégia de integração na área metro ferroviária estão relacionadas ao cronograma do projeto, que é geralmente limitado Tópicos como a realização de testes *hors-site* (não realizados no local das obras) são recorrentes. Essa característica, somada ao fato de que sistemas metro-ferroviários envolvem diversos subsistemas, pode indicar que utilizar elementos das estratégias de integração “com o fluxo” e por subconjuntos pode ser benéfico no contexto do projeto IBIS.

Por exemplo, muitas das funções de um sistema metro-ferroviário são baseadas em *softwares* não vinculadas ao campo, e diversos equipamentos podem começar a serem testados antes da instalação *in loco*. Dessa forma, a realização dos testes ligados a esses *softwares* e equipamentos mesmo antes do início das obras é uma oportunidade importante para antecipar inúmeras atividades de integração, verificação e validação em interfaces. A consequência disso é a diminuição do tempo necessário para realização de testes *in loco*, o que beneficia a execução como um todo.

### 2.5.2. Atividades

Segundo o SEBoK (2020), as principais atividades relacionadas à integração são:

- A redação de um Plano de Integração, contendo a descrição da estratégia de integração, dos processos e Verificação e Validação, as configurações dos elementos a serem integrados e as ferramentas a serem utilizadas no processo;
- Receber a entrega dos elementos, verificando se são compatíveis ao especificado;
- A realização da junção dos elementos individuais, conectando esse processo às atividades de verificação e validação apropriadas;
- Realização dos processos de verificação e validação.

O processo de integração requer também um grau elevado de coordenação interdisciplinar. Consequentemente, além de todo o processo de verificação e validação, muitas de suas atividades estão relacionadas com a comunicação com as diferentes

equipes do projeto, em especial a equipe de interfaces. Para facilitar esse diálogo, podem ser implementados procedimentos como revisões de *design* em estágios principais do projeto e a detecção de interferências entre as diferentes áreas do projeto com base em ferramentas BIM.

### 2.5.3. Organização

O indivíduo mais importante da Gestão da Integração de Sistemas é o Gerente de Integração de Sistemas, que deve ser nomeado pela parte interessada responsável pela integração. Nas práticas correntes do mercado francês, suas funções típicas são principalmente:

- Desenvolver a estratégia de integração e o Plano de Integração do projeto;
- Liderar a implementação da estratégia de integração;
- Aprovar formalmente o Plano de Gestão de Interfaces;
- Fornecer alto nível de suporte ao processo de Gestão de Interfaces;
- Promover e facilitar o processo de revisão interdisciplinar de projetos;
- Garantir o sucesso da integração dos sistemas e gestão das interfaces de acordo com o programa do projeto;
- Comunicar quaisquer problemas de integração de sistema e de interface ao cliente e outras partes externas interessadas.

### 2.5.4. Processos de Verificação e Validação

Os processos de Verificação e Validação trabalham em estreita colaboração com o processo de Integração, descrevendo os processos e a metodologia que serão utilizados para a entrega de cada fase do projeto. Mais especificamente, segundo a ISO/IEC/IEEE 15288:2015, o processo de Verificação tem como objetivo confirmar que o sistema e seus elementos satisfaçam completamente os requisitos definidos nas etapas iniciais, além de especificar como agir em caso de não conformidade. Já o processo de Validação ocorre

posteriormente à Verificação, e confirma que o sistema satisfaz as necessidades do cliente. A Validação está sujeita à aprovação das partes interessadas envolvidas.

Além disso, é necessário levar-se em conta a verificação e a validação desde o início do projeto, e por isso os processos devem ter suporte durante todo o ciclo V. Cada requisito deve ser atendido com uma justificativa para sua verificação, como notas de inspeção, revisões, análises, testes e demonstrações. Os requisitos de teste a serem cumpridos devem ser justificados pelo fornecimento de documentos de acordo com critérios previamente estabelecidos, como certificações reconhecidas, notas de cálculo e testes de fábrica. Uma prática muito comum é a utilização de um banco de dados de requisitos durante a fase de integração, que é então atualizado com os documentos de justificativa de cumprimento de requisitos, facilitando assim o acompanhamento do processo.

Adicionalmente, no meio metro-ferroviário, deve atentar para os procedimentos de segurança na realização de testes, devido à presença de diversos fatores perigosos. Por exemplo, durante o período de teste de sistemas e subsistemas, todos os ensaios ou trabalhos restantes de construção, instalação ou manutenção, devem ser solicitados e são sujeitos a uma autorização de trabalho. Isso acontece devido aos perigos adicionais associados à energização de novas subestações, 3º trilho e equipamentos gerais, levando à aplicação de regras de operação temporária.

# 3. METODOLOGIA

A presente seção se destina a discorrer a propósito da metodologia utilizada para a realização das atividades do presente trabalho. Para o desenvolvimento do projeto, nuances diferentes daquilo que pode ser chamado de uma pesquisa científica se fizeram presentes. Primeiramente é necessário possuir uma contextualização e uma fundamentação teórica sobre os temas abordados. Para isso é realizada uma revisão bibliográfica, o que dá às etapas iniciais do trabalho um caráter de pesquisa exploratória (PRODANOV & FREITAS, 2013). Além disso, a realização de estudos de caso também é uma ferramenta utilizada aqui, com o intuito de corroborar com a importância dos temas tratados. Por fim, é possível caracterizar o presente trabalho também como uma pesquisa aplicada. Ainda segundo Prodanov e Freitas (2013), a pesquisa aplicada tem como objetivo criar um produto ou solução a partir do conhecimento gerado por ela, que é aqui a criação do modelo IBIS.

Vale ainda ressaltar que, a todos os métodos aplicados somam-se toda a experiência técnica e prática dos colaboradores com os quais o autor pôde trabalhar. Reuniões, discussões, revisões do trabalho realizado e até mesmo seminários com os especialistas e engenheiros da empresa foram instrumentos importantes na compreensão do tema e no desenvolvimento teórico do projeto.

## 3.1. Premissas, Restrições e Riscos

Definir as premissas, restrições e riscos de um projeto é crucial para entender a forma mais adequada guiar o desenvolvimento de um projeto e de lidar com os obstáculos que surgem durante o processo. Por este motivo, anteriormente ao começo das atividades foi feita uma pré-identificação desses fatores.

Uma das principais premissas do projeto diz respeito ao seu período de desenvolvimento. A partir dos recursos disponíveis, estimou-se que o desenvolvimento do modelo IBIS

deveria ocorrer durante os anos de 2020 e 2021 para que ele possa ser aplicado em projetos metro-ferroviários reais a partir do início de 2022. Essa é a razão pela qual o presente trabalho trata do desenvolvimento parcial do modelo, tendo em vista que o autor pôde estagiar na empresa entre fevereiro e agosto de 2020. Outra premissa importante era de que o projeto contaria com o apoio e colaboração de diversos serviços e departamentos da empresa, o que infere a solidez do projeto e garante os recursos necessários à sua concretização.

Quanto às restrições, a principal era que a maioria dos membros da equipe e colaboradores estavam envolvidos em outros projetos da empresa e, portanto, poderiam não estar totalmente disponíveis para o desenvolvimento do modelo. Outra restrição é que a carga horária destinada ao desenvolvimento do trabalho por parte dos mesmos é reduzida, o que exigiria eficiência em seu andamento.

Os riscos do projeto poderiam estar relacionados principalmente a uma estimativa inadequada do tempo e da mão de obra necessária para concluir as tarefas do projeto e, consequentemente à ultrapassagem do orçamento estipulado. Se a quantidade de recursos utilizados escalasse demais, o projeto poderia não ser aprovado ou temporariamente suspenso.

Para cada risco identificado foi atribuído um nível de probabilidade, como exposto na Tabela 2:

**Tabela 2** - Probabilidade de ocorrência dos riscos

| Probabilidade | Nível |
|---|---|
| Frequente | 4 |
| Provável | 3 |
| Ocasional | 2 |
| Improvável | 1 |

Fonte: Autor

A Tabela 3 resume os riscos associados ao projeto de desenvolvimento do modelo IBIS, com a atribuição da probabilidade de que cada um ocorra:

**Tabela 3** - Riscos identificados e suas possíveis causas e impactos

| Risco | Causa | Probabilidade | Impacto |
|---|---|---|---|
| Envolvimento insuficiente dos membros da equipe | Forte demanda em outros projetos | 2 | Bloqueio do plano de ação e estouro do cronograma |
| Pouca colaboração de outros departamentos | Forte demanda em outros projetos | 2 | Bloqueio de entregas planejadas e/ou qualidade inferior à planejada |
| Não cumprimento do orçamento | Estimativa inadequada em relação ao planejado | 1 | Bloqueio de orçamento e interrupção do projeto |
| Não cumprimento do cronograma | Estimativa inadequada do tempo necessário para cada ação | 3 | Perda de oportunidades de implantação do IBIS em outros projetos |
| Mudança de escopo e redefinição do projeto IBIS | Discussões e reflexões sobre o escopo do projeto | 3 | Adequar ou reestabelecer o Plano de Ação |

Fonte: Autor

## 3.2. Diretrizes e Principais Atividades para a Realização do Projeto

Uma das primeiras tarefas a se realizar para o desenvolvimento do projeto é definir um rumo claro a seguir, garantindo um desenvolvimento coerente e bem orientado do projeto. Esta primeira etapa é de grande importância, pois sem um caminho claro, o risco de se desviar do escopo definido ou de se atravessar dificuldades de progressão pela falta de objetivos e metas claras aumenta, possivelmente resultando em um consumo excessivo de tempo e recursos. Refletindo essa problemática, entre os objetivos específicos do projeto de desenvolvimento do modelo IBIS foi destacada a definição das diretrizes e principais atividades para a sua realização. Para isso, três documentos-chave foram elaborados: uma Decomposição Estruturada de Funções (FBS), um Roteiro de Ação (FDR) e um Plano de Ação (PDA).

### 3.2.1. Desenvolvimento de um *Function Breakdown Structure* (FBS)

Uma *Function Breakdown Structure* (FBS), ou uma Decomposição Estruturada de Funções em uma tradução livre, é uma distribuição organizada de todas as funções

desejadas para a execução de uma missão. Neste caso, o FBS corresponde a todas as funções a serem realizadas pelo modelo IBIS. Abordar o problema de uma perspectiva funcional colabora para a criação de requisitos de projeto com eficácia. Um rascunho do FBS já havia sido produzido antes do início deste projeto, ainda em fases mais preliminares onde ainda se considerava a sua realização. No entanto, para que se fosse dada oficialmente a partida no desenvolvimento, era necessário realizar uma versão exaustiva e definitiva.

### 3.2.2. Desenvolvimento de um Roteiro de Ação (*Feuille de Route* - FDR)

A partir da definição do FBS, dever-se-ia desenvolver um Roteiro de Ação (FDR, da expressão em francês *Feuille de Route*). Este roteiro tem o propósito de definir em termos gerais os principais pilares de desenvolvimento e as ações a serem tomadas para se atingir o desenvolvimento das funções determinadas no FBS.

### 3.2.3. Desenvolvimento de um Plano de Ação (*PDA*)

Possuindo o Roteiro de Ação, é necessário traduzi-lo em uma série de tarefas e entregáveis específicos, cada uma com a definição de datas de entrega e duração de desenvolvimento. Dessa forma, é possível criar um cronograma concreto para o projeto e dar início ao seu desenvolvimento propriamente dito.

### 3.2.4. Desenvolvimento de uma Coleção de Estudos de Caso

Paralelamente aos documentos anteriormente citados, decidiu-se por desenvolver um estudo sobre obras metro-ferroviárias já realizadas para efetuar uma busca de erros de execução, problemas de cronograma e de custos adicionais causados pela falta de uma gestão de interfaces e da integração de sistemas. Essa coleção de estudos de casos tem como objetivo contextualizar o projeto IBIS com casos reais e apoiar a importância do tema tratado.

## 3.3. Equipe de Desenvolvimento do Projeto IBIS

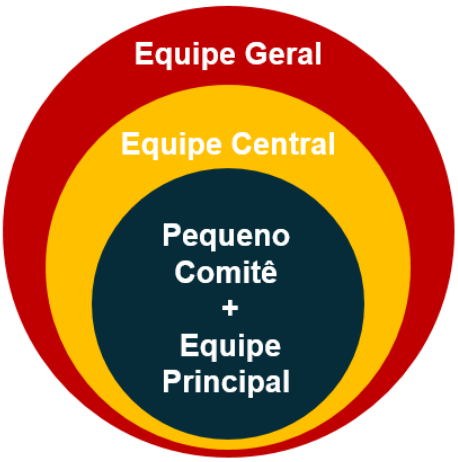
Para a desenvolvimento do projeto IBIS foram designados colaboradores da empresa, com especialidades e funções diferentes, para a formação de uma equipe, com o intuito de dar o suporte necessário para a realização das atividades definidas no Plano de Ação.

### 3.3.1. Estrutura da Equipe

A equipe era composta de quatro níveis de gestão principais, divididos da seguinte maneira (Figura 15):

- Pequeno Comitê: nível mais central e mais engajado no desenvolvimento no modelo IBIS. Seus membros são aqueles com uma quantidade maior de carga horário destinada ao projeto. Era composto por três pessoas: o Chefe do Projeto, o Adjunto da Chefia do Projeto e o Engenheiro de Projeto, papel desempenhado pelo autor do presente texto em tempo integral.
- Equipe Principal: composto pelos principais colaboradores relacionados ao desenvolvimento das atividades e entregáveis do projeto IBIS, estando em contato direto e frequente com os membros do Pequeno Comitê. Seus membros eram, além daqueles pertencentes ao Pequeno Comitê, o Referente em BIM, o Referente em Integração, um Supervisor e um Conselheiro / Facilitador.
- Equipe Central: Departamentos e entidades da empresa colaborando e fornecendo suporte interno à Equipe Principal.
- Equipe Geral: Departamentos e entidades da empresa realizando quaisquer tarefas relacionadas ao desenvolvimento do modelo IBIS.

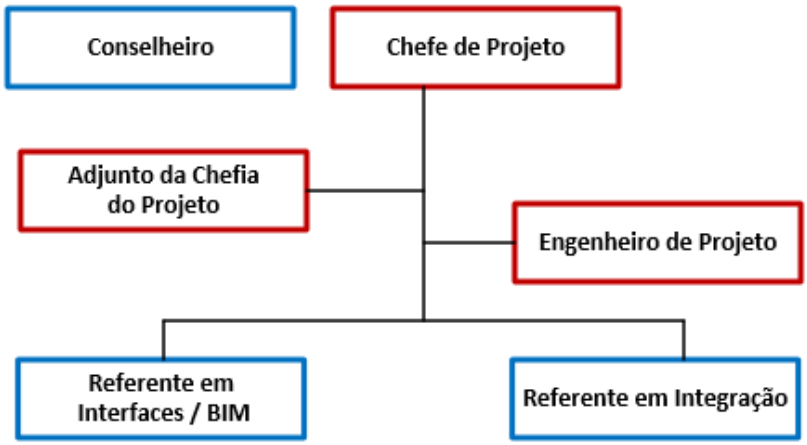
**Figura 15 –** Representação esquemática da estrutura da equipe de desenvolvimento do projeto IBIS




Fonte: Autor

O organograma da Equipe Principal, ilustrando a estrutura hierárquica pode ser visto na Figura 16.

**Figura 16** - Organograma da Equipe Principal




Fonte: Autor

### 3.3.2. Responsabilidades dos Membros

As funções assumidas pelos membros da equipe principal são as seguintes:

- Chefe de Projeto: o principal responsável pelo projeto, cuidando de sua execução e garantindo o fornecimento dos recursos necessários. Nem sempre está

diretamente envolvido nas atividades que produzem o resultado final, mas se esforça para manter o progresso e a interação mútua entre as diferentes equipes de uma forma que reduza o risco de falha global e maximize a eficiência dos membros.

- Engenheiro de Projeto: está em contato constante com a equipe, documenta o andamento do projeto, localiza e resolve problemas, atribui responsabilidades, desenvolve os objetivos e especificações do projeto e contribui para o desenvolvimento das entregas do projeto.
- Adjunto da Chefia do Projeto: Auxilia o Chefe de Projeto em suas funções, além de orientar o Engenheiro de Projeto e de assumir algumas de suas responsabilidades durante uma parte de sua carga horária.
- Conselheiro: responsável por aconselhar o Chefe de Projeto e toda a equipe do projeto, garantindo o cumprimento dos requerimentos estabelecidos para o modelo ou validando as alterações dos mesmos. Ele usa sua experiência no mercado para se concentrar em conduzir o processo em direção às metas acordadas.
- Referente em BIM, Interfaces e em Integração: Principais responsáveis pelo desenvolvimento de entregáveis e ferramentas relacionadas a suas respectivas áreas.

### 3.3.3. Coordenação da Equipe de Projeto

Para garantir a coordenação do projeto de forma bem estruturada, uma série de reuniões eram realizadas durante o seu desenvolvimento. Dependendo da importância e frequência das reuniões, diferentes níveis da equipe eram afetados:

- Reuniões do Pequeno Comitê: membros do círculo mais interno se reuniam semanalmente, principalmente para discutir o progresso recente, revisar a conclusão das tarefas e os próximos passos no horizonte próximo.

- Reuniões da Equipe Principal: os membros da Equipe Principal se reuniram mensalmente para discutir o andamento do projeto, os principais eventos do próximo mês e definir as orientações gerais a seguir.
- Reuniões Gerais da Equipe: realizadas entre membros de todas as equipes de desenvolvimento do projeto, para estender a discussão sobre o andamento e as necessidades do projeto aos níveis superiores da equipe.
- Apresentação de Resultados: reuniões semestrais para apresentar os resultados atuais e o andamento do projeto às hierarquias superiores da empresa.

Adicionalmente, foi estabelecida uma rotina de produção de Relatórios Mensais, listando os principais resultados, eventos, entregáveis produzidos e *KPIs* das tarefas do mês, a serem entregues às hierarquias superiores. Para dar suporte a essa rotina, um modelo de relatório foi criado.

### 3.3.4. Acompanhamento da Performance da Equipe de Projeto

A coordenação do projeto esteve estritamente ligada a uma medição de desempenho, de forma não só a auxiliar a gestão e permitir um desenvolvimento eficiente do projeto, mas também de forma que fosse possível demonstrar sua importância e seu progresso para as hierarquias superiores através de seus resultados. Com essa finalidade, foram definidos indicadores de desempenho (KPIs, do inglês, *Key Performance Index)*, sendo eles o progresso real, o adiantamento ou atraso relativo e o estado de validação e a carga horária utilizada no projeto.

Para calculá-los e visualiza-los, seria necessária a criação de uma Ficha de Acompanhamento. No entanto, vale ressaltar que se decidiu por manter o acompanhamento da carga horária utilizada fora do escopo da funcionalidade da mesma, sendo ele em vez disso responsabilidade do Chefe de Projeto, que possuía mais fácil acesso a tais informações. Tal documento deveria ser capaz de fornecer então, para cada tarefa, as informações de data de início e de término, progresso esperado, progresso real, diferença entre o progresso real e o esperado (como medida de quão adiantada ou

atrasada estaria a execução da tarefa) e estado de validação atual. A Ficha de Acompanhamento também deve fornecer gráficos e recursos visuais que facilitem a compreensão da evolução do projeto e assim dar suporte à produção dos Relatórios Mensais.

## 3.4. Gestão da Qualidade e Validação de Entregáveis

Um processo de validação para entregas de produtos foi implementado para garantir a qualidade da produção de uma maneira objetiva. Conforme recomendado pela ISO 9001:2015, intitulada Sistemas de Gestão da Qualidade, em tradução livre, um processo de validação deve ser implementado para assegurar que os requisitos do produto sejam satisfeitos. Além disso, a dinâmica que foi buscada para esse processo, dentro do escopo do projeto de desenvolvimento do IBIS, visava garantir a qualidade das entregas de forma prática e eficiente.

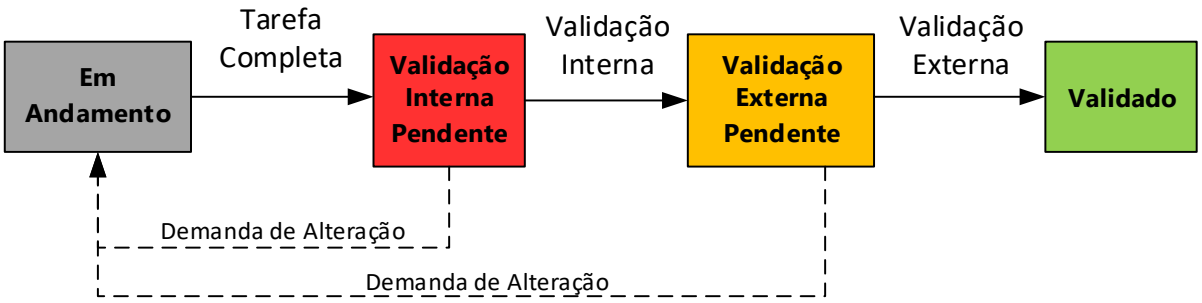
O processo de validação, então, se passa da seguinte forma: a validação global de um documento dependia primeiramente da validação de um membro da Equipe Principal, com exceção daquele responsável pela produção do entregável, e em seguida era necessária a validação de um membro externo à equipe principal, seja da Equipe Central ou Geral. Se algum membro executando a tarefa de validação julgasse necessário que se realizassem mudanças, o entregável poderia voltar às mãos do responsável para se realizar as alterações. Portanto, os documentos teriam 4 estados possíveis, que foram implementados na Ficha de Acompanhamento para contribuir para a visualização do estado de cada tarefa.

- Em andamento: se o documento ainda não estiver terminado, a ponto de iniciar o processo de validação;
- Validação Interna Pendente: quando o documento está finalizado, porém ainda não foi validado por algum membro;

- Validação Externa Pendente: quando o documento está finalizado, porém apenas foi validado por um membro da Equipe Principal;
- Validado: quando o documento finalizado foi validado tanto por um membro da Equipe Principal e por um membro da Equipe Central ou Geral.

A Figura 17 apresenta o fluxograma de validação dos processos.

**Figura 17** - Fluxograma do processo de validação dos entregáveis




Fonte: Autor

# 4. RESULTADOS

## 4.1. Definição da Base Teórica e Filosofia do Projeto

Estabelecida como o primeiro dos objetivos específicos do projeto, a definição da base teórica e da filosofia do projeto foi realizada a partir de uma revisão bibliográfica e de discussões internas na empresa sobre os principais assuntos abordados pelo projeto. Esta etapa se faz fundamental no passo em que estabelece objetivamente as características basilares do modelo IBIS. Dessa forma, dever-se-ia definir formalmente o padrão de ciclo de vida a ser aplicado pelo IBIS nos projetos, além de estabelecer efetivamente os processos deveriam ser integrados em seu modo operacional. As subseções seguintes apresentam entregáveis e conceitos produzidos para integrar oficialmente o corpo documental do projeto, servindo como base em planos de gestão e documentos relacionados.

### 4.1.1. Estabelecimento do Ciclo de Vida utilizado pelo modelo IBIS

Como visto na seção de Revisão Bibliográfica, o ciclo de vida, de forma simplificada, compreende todas as etapas da existência de um sistema, desde sua concepção até sua operação. A forma com que as etapas do ciclo de vida são estruturadas também pode beneficiar certos processos, como por exemplo os ciclos de vida em V, que normalmente acomodam melhor os processos de Verificação e Validação. Tendo isso em vista, era de desejo da equipe definir um ciclo de vida que não só fosse apropriado a projetos metro-ferroviários, mas que também que refletisse bem a maneira com que a Egis Rail enxerga as etapas de um projeto desse tipo.

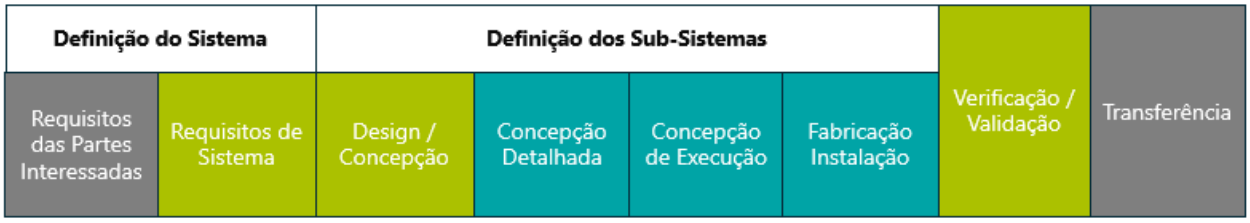
Dessa forma, para chegar-se a uma conclusão quanto ao ciclo de vida final, partiu-se de ciclos mais simplificados, onde poder-se-ia aos poucos adicionar elementos para alcançar ao ciclo almejado. Partindo de arquivos teóricos da base de dados da empresa, estabeleceu-se primeiramente o que a visão da equipe sobre o que um ciclo típico de um projeto de infraestrutura deveria comtemplar de forma geral, o que pode ser visto na

Figura 18. No entanto, o ciclo deve corresponder também ao tipo de projeto, de forma a atender adequadamente às suas necessidades específicas. Então a partir daí, adicionou-se etapas típicas de um projeto metro-ferroviário, chegando assim a um ciclo de vida mais próximo de um projeto metro-ferroviário, com grau de detalhe mais elevado, porém ainda simplificado. Este ciclo pode ser visto na Figura 19.

**Figura 18** - Ciclo de Vida típico de um projeto de infraestrutura

Fonte: Autor

**Figura 19** - Ciclo de Vida típico de um projeto de infraestrutura metro-ferroviário




Fonte: Autor

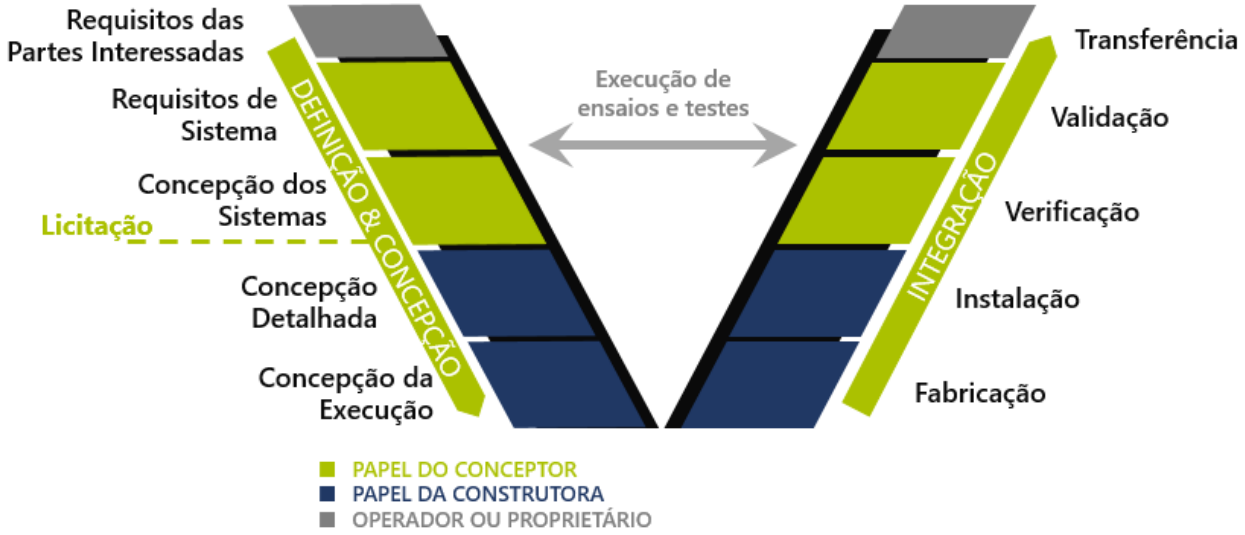
Tendo determinado as etapas típicas para projetos metro-ferroviários foi possível então detalhar mais profundamente certos aspectos do ciclo de vida, se utilizando de conceitos internos usuais. Tendo em vista que a empresa realiza frequentemente um papel de MOE no projeto, os processos de Verificação e Validação de grande importância. Ou seja, por frequentemente realizar as etapas de concepção e de contratar então outra organização para a execução da obra, enquanto simultaneamente monitora, verifica e valida esse serviço, optou-se por destacar o V&V no ciclo. Para isso, optou-se por representá-los como duas etapas individuais, além de utilizar um formato em V, favorecendo a realização dos ensaios e testes, tão importantes para essas etapas. Assim, dividiu-se o ciclo, que pode ser visto na Figura 20, em duas fases:

- Fase de Definição e Concepção: onde os processos de tratar os requisitos de contrato e de realizar a concepção dos sistemas é iniciado. Essa é uma etapa

descendente, onde são planejados cada elemento do sistema a partir dos requisitos.

- Fase de Integração: onde os elementos são efetivamente construídos e validados. É uma etapa ascendente, pois os elementos executados vão juntos formando o sistema, onde eles são verificados e validados em um primeiro momento individualmente e posteriormente em conjunto, confirmando que funcionam como um sistema.

**Figura 20** - Etapas do Ciclo em V do modelo IBIS




Fonte: Autor

Outros aspectos ainda podem ser identificados no ciclo em V definido, como o ponto onde normalmente há a licitação para contratar a empreiteira para a execução das obras, logo após a etapa de concepção dos sistemas. Além disso, como observado, e a indicação dos ensaios que existem e que relacionam as etapas da concepção com as etapas da execução é um ponto importante deste modelo.

Ainda, uma das principais características que o modelo IBIS possui é a capacidade de fornecer controle estreito e rígido sobre os processos relacionados à gestão de interfaces e de integração de sistemas em todo o ciclo de vida do projeto. Os processos ligados às interfaces deveriam ocorrer mais ativamente na parte descendente, de concepção, enquanto os processos ligados à integração são mais predominantes na etapa

ascendente, de execução. Já os processos ligados ao BIM e à Engenharia de Sistemas devem ocorrer durante todo o ciclo, dando o suporte necessário ao projeto. A representação desses papeis no ciclo em V pode ser vista na Figura 21.

**Figura 21** - Atuação da gestão de Interfaces, Integração, BIM e da Engenharia de Sistemas no Ciclo em V do modelo IBIS

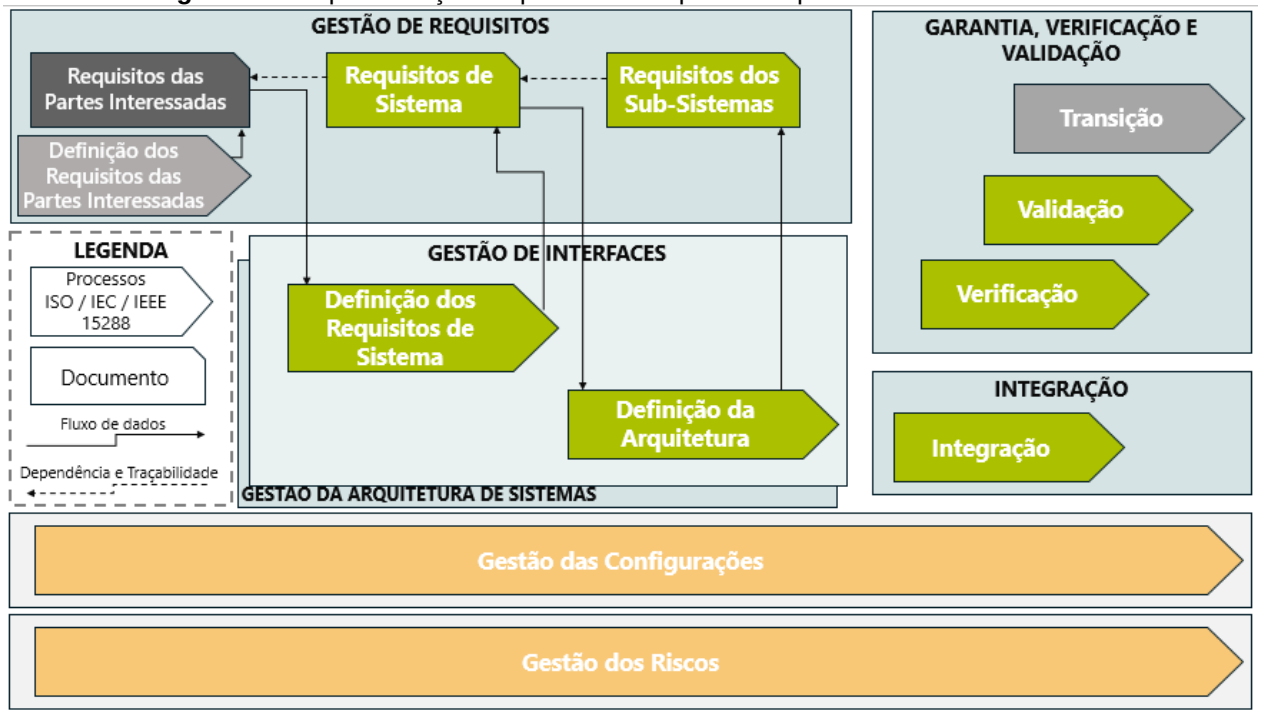
Fonte: Autor

Vale ressaltar que isso não significa que a gestão de interfaces e de integração ocorram estritamente nas partes descendente e ascendente, respectivamente, mas apenas que elas são o foco principal nessas etapas. Por exemplo, a gestão de requisitos, muito tratado nas etapas iniciais, segue sendo importante até o fim, mesmo porque todo o processo de validação depende da conformidade com as exigências definidas no começo.

Enquanto alguns desses processos podem ser vistos claramente no ciclo V como parte fundamental de sua sequência, outros ocorrem em paralelo, interagindo com toda a estrutura, como os processos de planejamento, de Gestão das Mudanças e a Gestão de Riscos. Para representar algumas dessas interações entre os processos, aplicadas ao Ciclo de Vida do modelo IBIS, adaptou-se uma representação esquemática presente nos

arquivos internos da empresa para que fosse integrada à documentação do projeto Essa adaptação pode ser vista na Figura 22.

**Figura 22** - Representação esquemática de parte dos processos da modelo IBIS



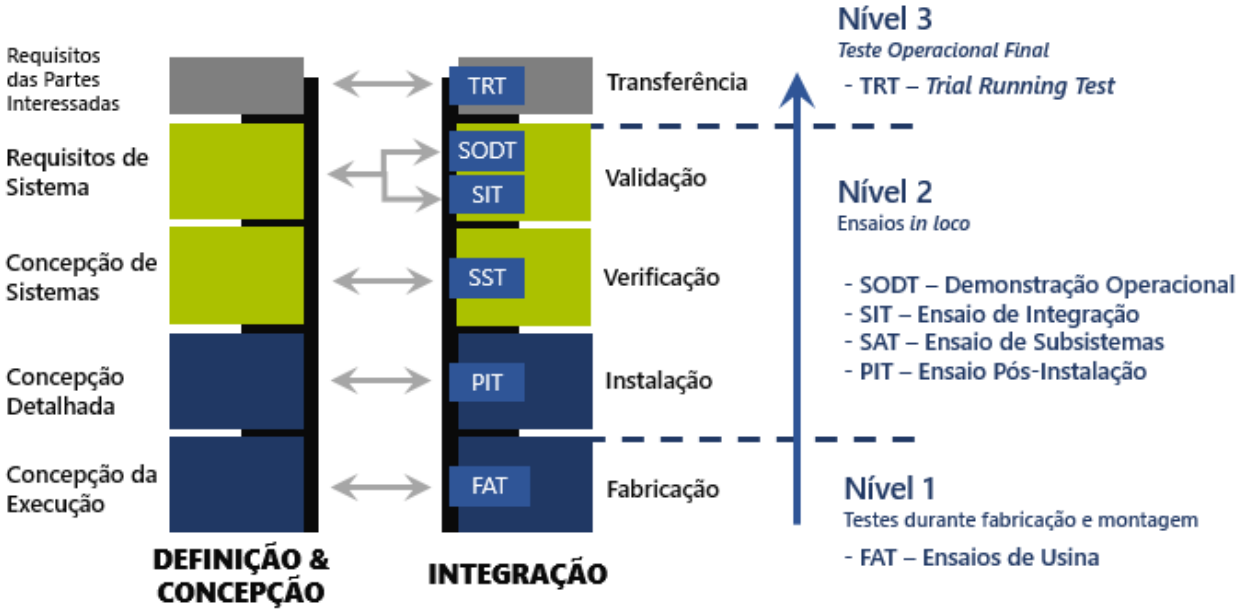

Fonte: adaptado Egis Rail (não publicado)

Adicionalmente, aprofundou-se sobre a atuação dos ensaios e testes que ocorrem principalmente durante a etapa de execução do projeto, enquadrando mais detalhadamente o processo de integração dos sistemas. Dessa forma, através de discussões internas com os especialistas no tema, decidiu-se por dividir os testes em três níveis principais, de acordo com suas funções.

O nível 1 é correspondente aos primeiros testes realizados, durante a fabricação dos elementos individuais. Nele ocorrem os chamados Ensaios de Usina (FAT, do inglês *Factory Acceptance Tests*), normalmente de fornecida pela empresa responsável pela execução (MOA). O nível 2 é onde ocorrem os ensaios *in loco* por parte da empresa responsável pela concepção do projeto (MOE), mais voltadas para a integração dos sistemas. Os ensaios que nela ocorrem são o Ensaio Pós-Instalação (PIT, do inglês *Post Installation Test*), o Ensaio de Subsistemas (SS-SAT, do inglês *Sub-System Site*

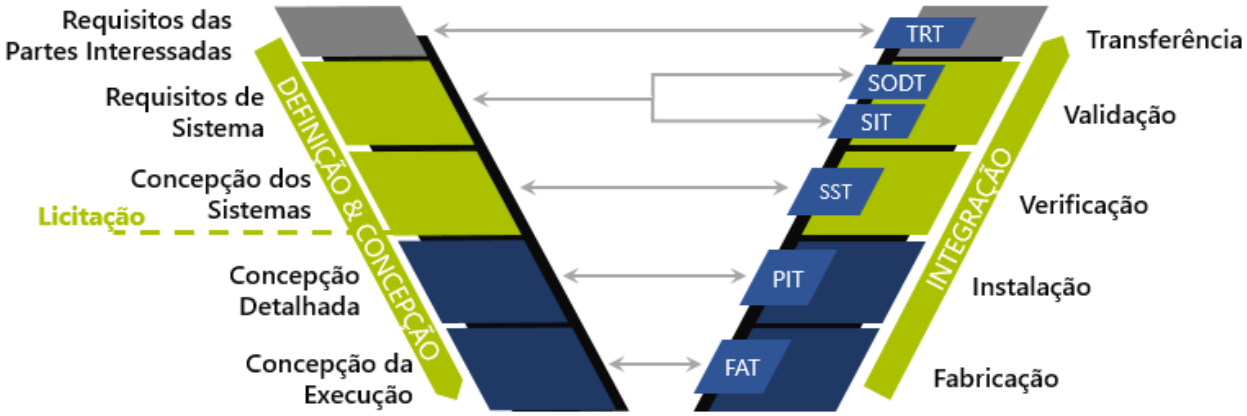
*Acceptance Test*), o Ensaio de Integração de Sistemas (SIT, do inglês *System Integration Test*) e o Ensaio de Demonstração Operacional do Sistema (SODT, do inglês *System Operation Demonstration Test*). Finalmente, o nível 3 corresponde ao teste final, que demonstra que o sistema final funciona de acordo com todos os requisitos, também conhecida como *Trial Run Test* (TRT), realizada geralmente realizada pela empresa responsável pela operação. Esses níveis de realização dos testes e a forma com que eles interagem no ciclo em V podem ser visualizadas nas Figura 23 e Figura 24.

**Figura 23** - Níveis do processo de realização de testes e ensaios




Fonte: Autor

**Figura 24** - Representação da realização de ensaios no ciclo em V




Fonte: Autor

É possível observar que a sequência em que as atividades são concluídas e depois testadas reflete a ideia exposta na Figura 3 da seção 2.2., sobre Engenharia de Sistemas, onde primeiramente os elementos vão sendo individualmente construídos e a partir daí vão sendo integrados de maneira a formar um sistema, enquanto a satisfação das exigências vai sendo testada etapa por etapa.

### 4.1.2. Definição dos Principais Processos Inseridos no Modelo

O escopo do modelo IBIS abrange principalmente os tópicos de Gestão de Interface de Sistema, Gestão da Integração de Sistemas, a utilização do BIM no projeto e a utilização de uma abordagem voltada à Engenharia de Sistemas. Embora os processos ligados às interfaces e à integração de sistemas sejam totalmente inseridos no modelo IBIS, este não é o caso para o BIM e para a Engenharia de Sistemas. Quanto ao BIM, por se tratar desde o início de um processo complementar ao modelo, ou seja, que tem por principal objetivo otimizar e dar o suporte necessário à Gestão de Interfaces e Gestão de Sistemas, acaba por ter perímetro de aplicação definido na medida em que são determinados quais entregáveis e softwares relacionados ao mesmo, e em quais momentos, devem fazer parte do modelo.

No entanto, a definição do perímetro de atuação da Engenharia de Sistemas não é similar. Para que o mesmo seja definido, é necessário estudar dentre todos os processos presentes na norma ISO/IEC/IEEE 15288:2015, exibidos na Figura 5, estão mais intimamente relacionados aos outros pilares do modelo e cuja integração pode ser, portanto, benéfica ao projeto. Dessa forma, após o estudo e a discussão entre os membros da Equipe Principal, decidiu-se por implementar 14 dos 30 processos da norma.

Dentre eles, oito dizem respeito a processos da categoria “Processos Técnicos”, que estão estreitamente ligados ou são por si só processos já definidos no ciclo de vida do modelo. São eles os processos de Requisitos das Partes Interessadas e Definição de Requisitos de Sistemas, referentes às etapas iniciais do ciclo; os processos de Definição da Arquitetura e Definição do *Design,* ligadas às etapas de concepção; os processos de

Validação, Verificação e Integração, já discutidos; e o processo de transição, que ocorre ao fim do ciclo.

Quanto aos seis processos restantes, dois são da categoria Organizacionais, sendo eles a Gestão do Modelo de Ciclo de Vida, relativo a um dos conceitos chave utilizados no IBIS, e a Gestão do Conhecimento, importante para a melhoria contínua do método e ao possivelmente fornece o suporte necessário para a replicação do método por equipes em filiais diferentes. Os últimos quatro processos são processos de Gestão Técnica, como os processos de Planejamento, de Avaliação de Resultados e de Gestão das Configurações, atuantes durante todo o ciclo de vida, além do processo de Avaliação da Viabilidade, importante para determinar se o projeto é factível e adequado para os métodos do modelo. A Tabela 4 resume todos os principais processos envolvidos.

**Tabela 4** - Processos Integrantes do Modelo IBIS

| **Processo de Gestão e Interfaces** | | |
|---|---|---|
| **Processo de Gestão da Integração** | | |
| **Processo de Gestão do BIM** | | |
| **Processos da Engenharia de Sistemas, da ISO/IEC/IEEE 15288:2015** | | |
| **Processos de Gestão Técnica** | **Processos Técnicos** | **Processos Organizacionais** |
| Planejamento | Definição de Requisitos das Partes Interessadas | Gestão do Modelo de Ciclo de Vida |
| Avaliação da Viabilidade | Definição dos Requisitos de Sistema | Gestão do Conhecimento |
| Gestão das Configurações | Definição da Arquitetura | |
| Avaliação de Resultados | Definição do Design | |
| | Integração | |
| | Verificação | |
| | Validação | |
| | Transição | |

Fonte: Autor

Vale ressaltar ainda que, observando que a área da Engenharia de Sistemas e da Gestão de Projetos oferecem mais processos do que aqueles que participam do IBIS, é

necessário que o modelo estabeleça passarelas entre seus processos e outros processos do projeto ferroviário, para que todas as instâncias envolvidas no projeto se comuniquem adequadamente. Tais processos devem ser definidos em etapas posteriores do desenvolvimento do modelo, quando seus processos estiverem mais concretamente estabelecidos. É de se observar que o modelo em si não fornece todas as respostas e diretrizes para um projeto ferroviário, mas trabalha lado a lado com outros processos para gerenciá-lo como um todo.

## 4.2. Produção dos Documentos Diretriz do Projeto

Com a filosofia do projeto bem definida, a produção dos documentos que servirão como diretriz para o desenvolvimento das principais atividades do projeto foi realizada. Como descrito na seção 3.2., os documentos-chave dessa etapa são a Decomposição Estruturada de Funções (FBS), o Roteiro de Ação (FDR) e o Plano de Ação (PDA).

### 4.2.1. Decomposição Estruturada de Funções – FBS

O primeiro documento a ser produzido era consistia então na definição das funções principais a serem exercidas pelo IBIS. Os cinco tópicos estabelecidos foram:

- Utilização Inteligente de Dados de Interfaces e Integração (I&I);
- Entregáveis Chave Relacionados à Gestão de I&I;
- Interoperabilidade entre a Gestão de I&I e outros Processos;
- Formação e Treinamento dos Profissionais;
- Concepção Baseada em Interfaces e Execução Baseada em Integração.

#### 4.2.1.1. Utilização Inteligente de Dados I&I

Tendo em vista a grande quantidade de informações relativas às interfaces e à integração de sistemas, é necessário que a gestão de dados ocorra de forma eficaz e que seja capaz

de fornecer sempre que necessário todas os elementos necessários aos responsáveis a qualquer momento do ciclo de vida do projeto. Assim, as principais funções definidas foram:

- Identificação exaustiva de cada interface;
- Atualização diária das informações relacionadas, manual ou automaticamente;
- Calcular e gerar relatórios sobre a maturidade de cada interface;
- Fornecer a identificação dos processos de qualificação;
- Fornecer informações do terreno em tempo real;
- Centralizar base de dados a um acesso comum;
- Gerar gráficos personalizados;

#### 4.2.1.2. Entregáveis Chave Relacionados à Gestão de I&I

A produção dos entregáveis do projeto é o que efetivamente provoca a evolução do projeto, fornecendo os documentos exigidos para se passar etapa por etapa no ciclo de vida do projeto. Nessa instância, as principais funções são:

- Definir um conjunto de entregáveis chaves relacionados à gestão de I&I em função do contexto do projeto;
- Contribuir, verificar e monitorar a produção desses entregáveis ao longo do ciclo de vida do projeto;
- Fornecer um cronograma de entrega tipo para esses entregáveis.

#### 4.2.1.3. Interoperabilidade entre a Gestão de I&I e outros Processos

Como citado durante a definição do escopo, é de grande importância a definição de passarelas entre os processos inseridos no modelo IBIS e o outros processos do projeto, de forma a garantir que eles se comuniquem adequadamente e que não haja perda de informações. Nesse contexto, as funções estabelecidas são:

- Fornecer regras de interação eficazes;
- Estabelecer uma lista de processos em contato direto com a gestão de I&I;
- Identificar o nível de dados a serem trocados em relação à fase e tamanho do projeto;
- Monitorar o estado da interação;

#### 4.2.1.4. Formação e Treinamento dos Profissionais

Foi igualmente definido que o modelo IBIS deve possuir ferramentas para realizar o treinamento de colaboradores para que possam implementar o modelo e desempenhar papéis em sua operação durante a realização dos projetos.

- Treinar engenheiros para desempenhar um papel IBIS em um projeto;
- Fornecer treinamento e conceitos-chave para outras partes interessadas do projeto;
- Fornecer uma estrutura tipo para as equipes IBIS nos projetos;
- Fornecer perfis profissionais desejados e uma descrição do trabalho de cada papel;
- Fornecer apoio à implementação do modelo IBIS nos projetos, dura (durante as fases iniciais de utilização do IBIS na empresa);

#### 4.2.1.5. Concepção Baseada em Interfaces e Execução Baseada em Integração

Permanecendo consistente em relação ao ciclo de vida estabelecido, o foco em interfaces durante as etapas de concepção e em integração nas etapas de execução favorecem as seguintes funções desejadas:

- Assegurar uma concepção coerente entre as diferentes disciplinas;
- Implementar uma metodologia de concepção utilizando os conceitos de BIM e de interfaces;

- Fornecer metodologias para realizar revisões e análises das etapas do projeto.

### 4.2.2. Roteiro de Ação – FDR

Foi decidido que para o cumprimento das funções pretendidas, a equipa deveria atuar em três áreas principais: Comercial, Produto e Formação. O aspecto comercial do desenvolvimento do empreendimento é muito importante, pois é responsável pela prospecção de novos clientes potenciais. Sem o suporte de um interesse tangível do mercado, torna-se difícil concluir um projeto longo e provar sua importância para os níveis mais altos da empresa. Os principais objetivos de desenvolvimento nesta área foram:

- Definição de alvos comerciais;
- Redação de documentos comerciais para oportunidades específicas;
- Participação em ações comerciais.

A parte dedicada ao produto está no cerne do desenvolvimento, pois está orientada para a produção do próprio IBIS, contendo toda a sua estrutura. Os principais objetivos do desenvolvimento de produtos eram:

- Identificação das ferramentas, softwares e os entregáveis a compor o método do modelo;
- Definição das formas de interações entre os processos;
- Estudo e busca de recursos disponíveis na empresa;
- Desenvolvimento de outros recursos que sejam necessários e que não estejam disponíveis;
- Certificar internamente as ferramentas;
- Fornecer os resultados finais IBIS.

Já a área de Formação é destinada a desenvolver as formas de treinamento e aquisição dos conhecimentos necessários para os colaboradores que trabalharem com o modelo IBIS, como demandado pelo FBS. Entre seus objetivos principais estão:

- Treinamento interno
    - Fornecer uma estrutura tipo para as equipes IBIS e os perfis individuais associados;
    - Produção de materiais de treinamento;
    - Desenvolvimento de cursos sobre o IBIS na plataforma da empresa.
- Treinamento externo
    - Identificação de oportunidades de treinamento ou conscientização de clientes e parceiros;
    - Criação de materiais de treinamento externo.

### 4.2.3. Plano de Ação – PDA

A partir da definição do FBS e do FDR, foi possível então decompor cada uma dessas áreas em ações individuais, já que as diretrizes estipuladas facilitavam e tornavam mais objetiva a etapa de entender quais ações concretas eram necessárias para satisfazer as pontuações do FBS e do FDR. Para cada tarefa, foram determinadas as datas de início e fim bem como o seu respectivo “piloto”, sendo o principal responsável pela coordenação da produção da entrega relacionada à tarefa. Com isso, o PDA se tornava o principal documento de planejamento do projeto, guiando concretamente sua execução. As tarefas inicialmente contidas no plano de ação são descritas na Tabela 5:

**Tabela 5 -** Tarefas do Plano de Ação

| **Comercial** |
|---|
| **Redação de Material Comercial para Ofertas (Licitações)** |
| Produção de uma apresentação de s*lides* sobre o modelo IBIS (em inglês e em francês) |
| Produção de um folheto comercial sobre o modelo IBIS (em inglês e em francês) |
| Plano de Gestão do modelo IBIS *per se* |

| |
|---|
| **Definição dos Alvos Comerciais** |
| Identificação dos alvos comerciais em potencial |
| **Participação em Ações Comerciais** |
| Identificação de Ações Comerciais em potencial |
| Preparação de material comercial para essas ofertas |
| **Produto** |
| **Diagnóstico – Identificação do Conjunto de Ferramentas e Entregáveis IBIS** |
| Identificação e busca de ferramentas e entregáveis chave |
| Documento “Estado da Arte”: Visão *versus* Disponível |
| Produção do Caderno de Especificações do desenvolvimento das ferramentas |
| **Desenvolvimento** |
| Plano de Desenvolvimento na base do Caderno de Especificações |
| Redação documental do conjunto de ferramentas e entregáveis a serem implementados no projetos com a presença do modelo IBIS |
| **Definição das Passarelas de Processos** |
| Definição dos métodos e meios de troca entre o IBIS e os demais processos |
| **Certificação das Ferramentas do IBIS** |
| Certificação das ferramentas relacionadas às Interfaces |
| Certificação das ferramentas relacionadas ao BIM |
| Certificação das ferramentas relacionadas à Integração |
| **Certificações dos Entregáveis do IBIS** |
| Certificação dos entregáveis relacionadas às Interfaces |
| Certificação dos entregáveis relacionadas ao BIM |
| Certificação dos entregáveis relacionadas à Integração |
| **Formação** |
| **Definição de um Perfil de Equipe IBIS dos Perfis Individuais Associados** |
| Definição do perfil de equipe do modelo IBIS |
| Identificação dos papéis principais a desempenhar e os perfis associados |
| **Identificação de Oportunidades de Formação de Clientes e Parceiros** |
| Identificação de oportunidades de formação de clientes e parceiros |
| Elaboração de um material de formação para clientes e parceiros personalizado |
| **Definição de um Percurso IBIS** |
| Definição de percursos profissionais relacionados ao IBIS |

| |
|---|
| Elaboração das formações que comporão o percurso IBIS |
| **Realização de Suportes de Formação Interna** |
| Produção de materiais de treinamento (documentos explicativos) |
| Criação de um módulo de ensino na *Egis Campus* [3] |
| **Realização de Suportes de Formação Externa** |
| Produção de materiais de treinamento (documentos explicativos) |

Fonte: Autor

### 4.2.4. Ficha de Acompanhamento

A partir da definição das tarefas no PDA, foi possível cada uma com uma respectiva entrega, o que deu origem a um documento denominado Ficha de Acompanhamento, como previsto na seção sobre Metodologia. A aba principal da planilha é apresentada no Apêndice A. Essa ficha deveria facilitar o monitoramento da progressão do projeto e calcular os *KPIs* definidos. Para isso, o documento contava com a definição, para cada tarefa, de um piloto, que seria o principal responsável pela coordenação da produção da entrega relacionada à tarefa, e das datas de início e fim.

Com essas informações, era possível realizar também o cálculo dos KPIs automaticamente. A Figura 25 apresenta parte da planilha que trata do progresso das tarefas. As três colunas à esquerda, abaixo de "*calendrier*" (termo em francês para "calendário"), dizem respeito às datas de início, fim e a duração total de cada tarefa. Com essas informações, o progresso esperado (coluna indicada por "*progress attendu*") era calculado através da comparação das datas das duas primeiras colunas e data atual. As colunas "status" e "*progress réel*", que indicavam o estado e o progresso real da tarefa, eram alimentadas pelo responsável pela tarefa. Os estados possíveis são "a iniciar" ("*à démarrer*"), "em curso" ("*en cours*"), "em validação" ("*en validation*") ou "aprovada" ("*approuvé*"). Por fim, a coluna "desvio" ("*écart*") esclarecia se a tarefa estava adiantada ou em atraso através da diferença entre o progresso esperado e o real. Um desvio

[3] Plataforma de *e-learning* da empresa.

negativo indica uma tarefa em atraso, enquanto um positivo mostra que a mesma está adiantada.

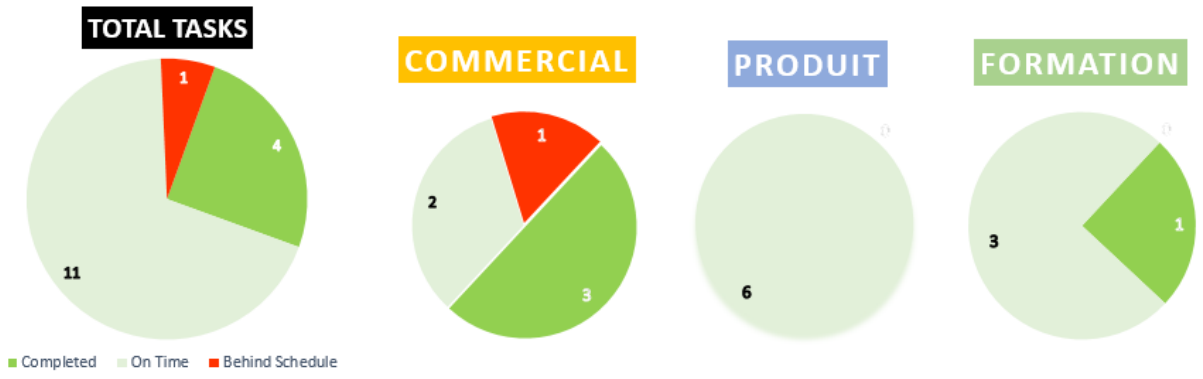
**Figura 25** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com as datas e o cálculo do progresso das tarefas

| CALENDRIER | | | PROGRESS | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Début | Fin | Durée | Progress Attendu | Status | Progress Réel | Ecart |
| 01/06/2020 | 30/09/2020 | 4 Mois | 53% | | 68% | 15% |
| 01/06/2020 | 31/07/2020 | 60 | | | | |
| 01/07/2020 | 31/07/2020 | 30 | 100% | approuvé | 100% | 0% |
| 01/07/2020 | 31/07/2020 | 30 | 100% | approuvé | 100% | 0% |
| 01/06/2020 | 31/07/2020 | 60 | 100% | en cours | 90% | -10% |
| | | | | | | |
| 01/07/2020 | 31/08/2020 | 61 | 56% | en cours | 60% | 4% |
| 01/08/2020 | 30/09/2020 | 60 | | | | |
| 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 10% | en cours | 50% | 40% |
| 01/09/2020 | 30/09/2020 | 29 | 0% | à demarrer | 0% | 0% |

Fonte: Autor

Outra característica da Ficha de Acompanhamento era apresentar uma perspectiva geral do andamento do projeto, mostrando as tarefas “No prazo” (“*on time*”), “Concluído” (“*completed*”) e “Atrasado” (“*behind schedule”*) em sua totalidade e para cada uma das três áreas principais de desenvolvimento, como mostrado na Figura 26:

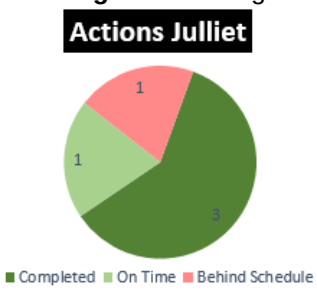
**Figura 26** - Panorama da estado das tarefas




Fonte: Autor

Este documento também permitiu a rápida criação automática de resumos das atividades do mês e seus resultados. Esta funcionalidade provou ser útil para o relatório mensal esperado do projeto. A Figura 27 apresenta um exemplo desses resumos. A tabela apresenta as tarefas e as informações sobre seu progresso e o gráfico indicam o andamento dessas tarefas, da mesma forma que os gráficos apresentados no parágrafo anterior.

**Figura 27** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com o resumo do mês de julho de 2020




| Actions Julliet | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Présentation générique IBIS FR/EN | 100% | approuvé | 100% | 0% |
| Plaquette générique FR/EN | 100% | approuvé | 100% | 0% |
| PM IBIS FR / EN | 100% | approuvé | 90% | -10% |
| Identification des cibles | 56% | en cours | 60% | 4% |
| Etat des Lieux Concurrents / Literature | 100% | en validation | 100% | 0% |

Fonte: Autor

A Ficha de Acompanhamento igualmente possibilitou acompanhar o estado dos documentos em relação à sua validação. A Figura 28 apresenta um exemplo, onde se pode ver as iniciais dos responsáveis nas colunas de piloto da tarefa (“*pilote*”), de validação interna (“*validation interne*”) e de validação externa (“*validation externe*”). A última coluna informa o estado (“*status*”) da tarefa, conforme estabelecido na 3.4.

**Figura 28** - Fragmento da Ficha de Acompanhamento com o estado da validação das tarefas

| PROD / VERIF / VALIDATION | | | |
|---|---|---|---|
| Pilote | Validation Interne | Validation Externe | Status |
| | | | |
| | | | |
| LCA | FVE | IMO | Validated |
| LCA | FVE | IMO | Validated |
| FVE | - | - | Internal Validation Pending |
| | | | |
| LCA | - | - | Under work |
| | | | |
| LCA | FVE | - | External Validation Pending |
| - | - | - | Under work |

Fonte: Autor

## 4.3. Coleção de Estudos de Caso

De forma a ampliar os argumentos que suportem o desenvolvimento do modelo IBIS, não recorrendo apenas a uma fundamentação teórica, buscou-se reunir uma coleção de situações, envolvendo diferentes projetos metro-ferroviários, onde se podia identificar falhas relacionadas a interfaces e a integração de sistemas. Ao mostrar casos reais onde se poderia haver alcançado uma performance mais satisfatória, a Coleção de Estudos de Caso desempenha um papel importante no aspecto comercial do IBIS.

O desenvolvimento deste documento exigiu a comunicação com colaboradores que atuam em diferentes áreas e projetos, e possibilitou o recolhimento de casos em projetos de diferentes países e contextos. No entanto, os atores dos projetos bem como as localidades dos projetos serão omitidos, para conservar apenas o aspecto didático do documento. Os estudos de caso são apresentados no Apêndice B, e a Tabela 6 resume suas características.

**Tabela 6 -** Resumo das características dos casos estudados

| Caso | Tipo de Projeto | Problema Identificado | Impacto | Solução |
|---|---|---|---|---|
| **1** | Metrô | Problemas na interface espaço-temporal entre o sistema de ventilação e a realização de ensaios | Atraso de 3 semas | Executar o trabalho faltante |
| **2** | Metrô | Problemas na interface espaço-temporal entre o sistema centralizado de controle e a realização de ensaios | Atraso de 2 meses | Começo das operações do metro sem a realização de todos os testes |
| **3** | Metrô | Problemas na interface entre a via férrea e a infraestrutura | Redução das condições de segurança e manutenção | Concepção e realização de uma estrutura metálica especial |

| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **4** | Metrô | Problemas na interface entre a rede elétrica de alta tensão e a infraestrutura | Atraso de 2 meses | Concepção e realização de reforços estruturais |
| **5** | Metrô | Problemas na interface entre a rede elétrica de alta tensão e de baixa tensão | Redução das condições de acesso e manutenção | - |
| **6** | Metrô | Mal planejamento da interface entre os equipamentos eletromecânicos e a infraestrutura | Atraso de 2 meses | Concepção e realização de reforços estruturais |
| **7** | Metrô de Superfície | Mal planejamento da interface entre o material rolante e as plataformas | Custo de 50 milhões de euros | Modificação em 1300 plataformas |
| **8** | *Tram* | Problemas na interface entre o sistema de sinalização e a infraestrutura | Frequentes interrupções no tráfego durante chuvas fortes | Reexecução do trabalho |
| **9** | *Tram* | Problemas na interface entre o sistema de sinalização e a via férrea | Necessidade de reexecução do trabalho | Reexecução do trabalho |
| **10** | *Tram* | Má definição das interfaces físicas contratuais | Necessidade de reexecução do trabalho | Reexecução do trabalho |

Fonte: Autor

## 4.4. Desenvolvimento das Atividades do Projeto

### 4.4.1. Plano de Gestão do Desenvolvimento do Modelo IBIS

A redação do Plano de Gestão do Desenvolvimento do Projeto, embora não constasse no PDA, se mostrou benéfica por visar documentar e especificar os procedimentos operacionais e os recursos com os quais o modelo IBIS seria desenvolvido, além de esclarecer os resultados esperados. Além disso, ele tem grande importância por validar oficialmente a base teórica e os documentos (entre eles o FBS, o FDR e o PDA) com os quais o projeto finalmente pôde iniciar seu desenvolvimento propriamente dito. Entre os principais tópicos deste documento estavam o contexto, os objetivos, o orçamento e o cronograma do projeto, além das entregas esperadas, a equipe envolvida seu processo de coordenação, as responsabilidades de cada membro e o processo de produção e validação dos entregáveis.

Este Plano de Desenvolvimento também esclarecia que era necessário possuir flexibilidade para o caso de haver modificações do escopo, já que, dadas as incertezas e riscos identificados anteriormente, era importante estar preparado para se adaptar às alterações.

### 4.4.2. Plano de Gestão do Modelo IBIS

O Plano de Gestão do Modelo IBIS se trata de um dos principais documentos relativos à implementação do método, pois ele visa a ser o “documento pai” da implementação da metodologia IBIS em um projeto metro-ferroviário, contento completamente todos procedimentos e governança a serem implementados no projeto. Esse documento é de suma importância tendo em vista que seu uso é o primeiro passo na direção da utilização do modelo IBIS dentro de um projeto, servindo como referência para a equipe e apontando para todos os documentos referentes ao IBIS que deverão ser igualmente implementados, como por exemplo os planos de gestão específicos aos requisitos

contratuais, ao BIM e à Integração. As informações principais que deveriam ser definidas pelo plano são:

- Os objetivos e definição do modelo IBIS;
- Os processos envolvidos na aplicação do modelo;
- As principais ferramentas disponíveis e os resultados esperados dos processos;
- Adaptabilidade às características do projeto e do contrato;
- As funções de cada membro da equipe IBIS;
- O processo de coordenação do projeto;
- Referência a outros documentos importantes para a gestão do projeto.

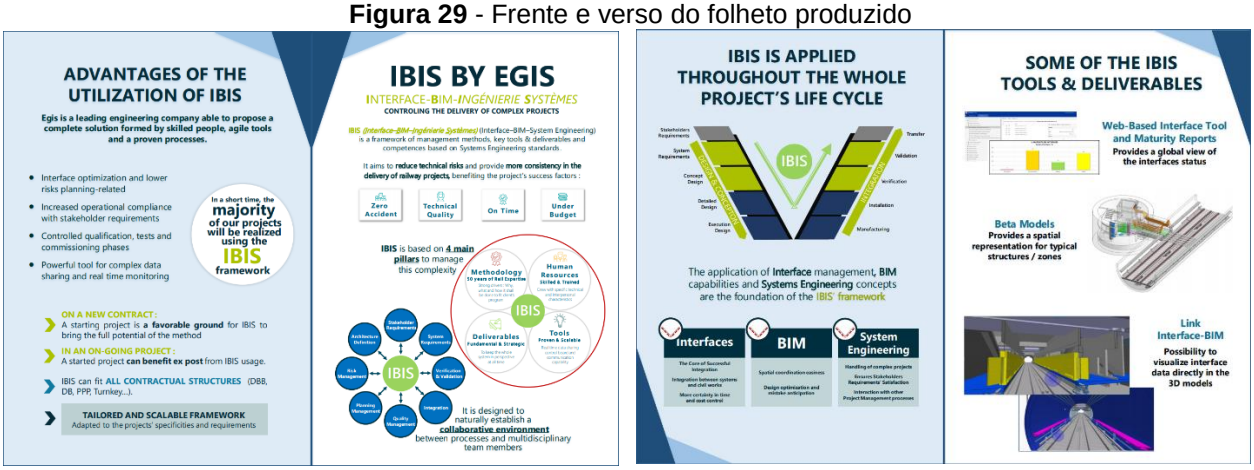
Embora o Plano de Gestão do Modelo IBIS só possa de fato estar completamente terminado ao final do desenvolvimento total da metodologia, a redação de uma versão inicial do documento em um esforço contínuo se fez importante por constantemente mostrar certos aspectos de um método de gestão que não haviam sido anteriormente pensados, mas por serem frequentes em documentos do tipo usualmente usados na empresa, foram adicionados ao processo de concepção dos entregáveis aos quais eles eram relativos. Um exemplo disso é que além de buscar os meios e ferramentas para realizar certos processos, era preciso definir desde o princípio em quais etapas do processo ele seria utilizado, de forma a especificar de maneira mais precisa de as formas de usá-lo e a quais entregáveis eles estariam relacionados.

Para ilustrar esse exemplo, a Matriz de Interfaces, planilha com todas as interfaces entres os sistemas de um projeto e suas características, é usada durante todas as fases do projeto, porém ela também pode fornecer suporte para a criação de entregáveis como as Folhas de Especificação de Interfaces e a Folha de Especificações Detalhada. No entanto, a primeira é usada em etapas mais iniciais da concepção e a última é utilizada após o processo de licitação, na fase de concepção detalhada. Esse tipo de informação ajuda a entender o encaminhamento de certos processos e a encaixá-los no contexto da metodologia IBIS como um todo.

### 4.4.3. Produção de Entregáveis Comerciais

Apoiando a área comercial do projeto, foram produzidas um folheto comercial e de uma apresentação de slides sobre o modelo IBIS, assim como preconizado pelo Plano de Ação. O folheto, contendo os principais conceitos e vantagens do modelo, tem o objetivo de proporcionar um primeiro contato do IBIS com potenciais clientes, enquanto a apresentação, explicando o método mais detalhadamente, poderá ser utilizada promover o projeto em eventos, prospectar interesses e buscar um *feedback* do mercado. A versão do folheto com o conteúdo validado pode ser vista na Figura 29.

**Figura 29** - Frente e verso do folheto produzido




Fonte: Autor

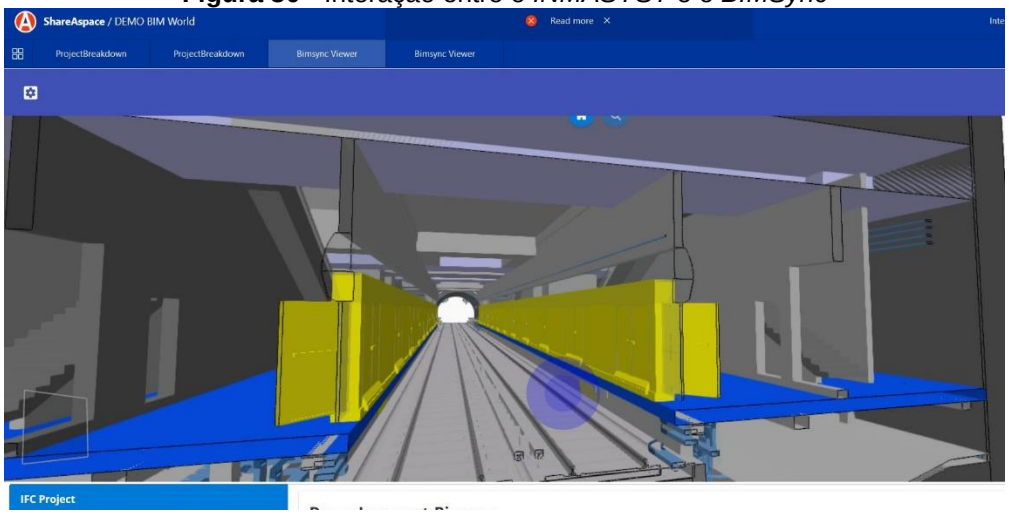
### 4.4.4. Identificação de Ferramentas e Entregáveis Chave

A primeira tarefa da área “produto” era a “identificação e busca de ferramentas e entregáveis chave”. Sabendo que a maior parte das ferramentas e entregáveis a serem implementados na estrutura do modelo IBIS já são utilizados usualmente na Egis Rail, porém dispersos entre diferentes equipes e filiais, deve-se realizar um trabalho de coletar os recursos já existentes, analisá-los e identificar aqueles relevantes ao IBIS. Esta tarefa era a primeira do PDA relacionada ao aspecto “produto” e pôde ser iniciada ainda durante o estágio do autor, com o estudo dos meios próximos à equipe principal e ao projeto da Linha 18. O próximo passo dessa ação é entrar em contato com profissionais de outras missões e projetos para explorar diferentes procedimentos e ferramentas utilizadas.

Algumas das ferramentas e entregáveis que puderam ser inicialmente identificados foram:

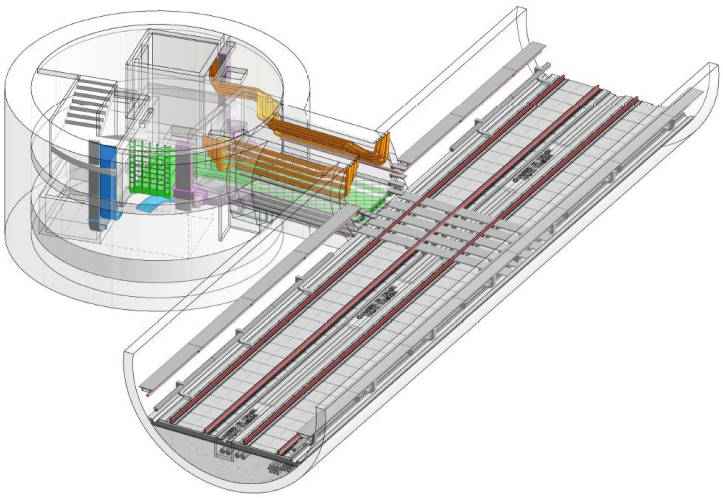
- *INMASYST*: um software produzido pela Egis Rail que permite a identificação e gestão de todas as interfaces de um projeto. Com a integração recente de uma funcionalidade que permite a comunicação entre o *INMASYST* e o *BIMSync*, é possível visualizar interfaces de dados diretamente no modelo digital. Esta interação pode ser vista na Figura 30.
- Modelos Beta 3D: modelos digitais que visam oferecer um design otimizado para estruturas e zonas típicas em áreas sensíveis do ponto de vista das interfaces. Esses entregáveis facilitam assim a coordenação espacial entre os atores do projeto e aumentar a padronização e duplicabilidade das estruturas. Um exemplo pode ser visto na Figura 31.
- Matriz de Interfaces: planilha que contém todas as informações de cada interface do projeto, gerando Relatórios de Maturidade automaticamente. Ele fornece uma visão geral de todos os dados das interfaces e facilita o gerenciamento do processo em todo o ciclo em V do projeto, gerando entregáveis importantes relacionados a interfaces.
- Relatório de Maturidade de Interfaces: documento importante para o acompanhamento das interfaces e serve como recurso de comunicação para a equipe de gestão de projetos, o cliente e outras partes interessadas, fornecendo uma visão concisa do estado de cada interface.
- *EXEGIS*: é um software desenvolvido pelo Grupo Egis com o objetivo de ser uma ferramenta de gestão de requisitos de projetos, fornecendo estatísticas, propriedades e referências para cada exigência. Espera-se que em um futuro próximo ele seja capaz de suportar arquivos IFC, interagindo com modelos digitais das interfaces.

**Figura 30** - Interação entre o *INMASYST* e o *BIMSync*




Fonte: Egis Rail (não publicado)

**Figura 31** – Exemplo de um Modelo Beta 3D de uma zona de instalações técnicas



Fonte: Egis Rail (não publicado)

### 4.4.5. Níveis de Formação do Modelo IBIS

Já a primeira atividade relacionada a área “formação era a ”definição do perfil de equipe do modelo IBIS”. Para sua realização foi desenvolvida uma versão inicial do que seriam os níveis de treinamento do modelo. Neste documento foram descritos o nível do

conhecimento do profissional quanto aos métodos do modelo e o seu grau de atuação na sua implementação e monitoramento durante sua aplicação nos projetos.

O diagrama produzido encontra-se completo no Apêndice C. No entanto é possível explicar os níveis de formação em termos gerais. O profissional no nível 1 terá normalmente um conhecimento mais superficial dos métodos, porém será capaz de comunicá-los e propor maneiras de implementá-los. No nível 2, o profissional tem uma visão mais detalhada do método e pode trabalhar de forma concreta para sua aplicação. No nível 3, o profissional tem um conhecimento profundo de todos os processos e pode implementar e apoiar totalmente o método em projetos, sendo frequentemente o principal responsável pelo IBIS nos projetos.

Também buscou-se identificar quais tipos de profissionais potencialmente interessantes para cada nível. Nos primeiros níveis a presença de chefes de projeto e representantes comerciais é importante, como forma de sensibilizar os envolvidos no projeto e dar suporte à sua implementação. Nos níveis finais, é necessário que os especialistas em sistemas e engenheiros de interfaces cumpram o papel, realizando a parte com maior grau técnico de sua implementação. Um último ponto a se ressaltar é que esta divisão em níveis de formação, com uma descrição do nível e conhecimento em cada nível facilita o processo de definição do material de treinamento para cada nível.

## 4.5. Discussão dos Resultados

Os resultados obtidos pelo desenvolvimento do projeto apontaram para um aprendizado multidisciplinar e contribuíram para um entendimento holístico do processo de gestão de uma empresa de engenharia e da execução de projetos metro-ferroviários. Além disso, ao cumprir com os objetivos estipulados, os resultados foram considerados satisfatórios e foram capazes de criar uma estrutura robusta apara garantir a término do desenvolvimento do projeto.

A definição do escopo do projeto exigiu uma discussão com profissionais de diversas áreas. Isso era fundamental pois frequentemente era recebido um *feedback* de situações recentes, ocorridas em projetos recentes ou na produção de documentos de resposta a licitações abertas. Dessa forma era possível identificar pontos fortes e fracos dos processos implementados e saber que tipos de abordagem tomar em casos específicos.

Em empresas de grande porte também é necessário entender que projetos e pesquisa e desenvolvimento ocorrem com frequência. Dessa forma é essencial que se apresente resultados efetivos das atividades sendo realizadas, para que se justifique o direcionamento de recursos para o projeto. Mesmo que não se tratem de atividades do desenvolvimento propriamente dito, é necessário dar a devida atenção para atividades de prestação de contas e relatórios de desempenho. Nesse sentido, as funcionalidades da Ficha de Acompanhamento foram muito úteis ao facilitar a visualização da performance do projeto nas apresentações mensais de resultados que eram feitas às hierarquias superiores.

A coleção de estudos de caso também obteve respostas muito interessantes. Nas ocasiões em que foi apresentada, era sempre frequente que se discutisse outras possíveis causas para os problemas identificados, além daquelas apontadas pelo documento. Esse aspecto é muito interessante ao colaborar para uma visão macroscópica da execução das obras, no entanto indicava para a necessidade de ser cauteloso ao tratar de estudos de caso, levando-se em conta a quantidade de partes envolvidas.

Por fim, a base teórica desenvolvida, especialmente ao tratar da Engenharias de Sistemas colaborou na produção de documentos para responder a licitações que ocorreram na época, o que indicava um interesse real do mercado no tema. Além disso, na parte comercial, a apresentação de slides criada se mostrou útil em diversas ocasiões. Adaptada e utilizada em reuniões e eventos, a mesma serviu como peça de comunicação relevante para a equipe.

# 5. CONCLUSÃO

Nas últimas décadas, problemas como orçamentos excedidos e cronogramas atrasados têm sido comumente identificados em projetos complexos de infraestrutura. Esse cenário tem sido estudado pela academia e por grandes empresas de engenharia ao redor do mundo, apontando para a necessidade do aprimoramento dos métodos de gestão para que se adequem a complexidade crescimento dos projetos. Respondendo a esta necessidade, no presente trabalho buscou-se fundamentar e iniciar o desenvolvimento do modelo IBIS, baseado na utilização da Engenharia de Sistemas, BIM e na gestão de Interfaces e Integração.

Tendo em vista uma previsão de dois anos para o desenvolvimento do IBIS, o projeto pôde avançar significativamente nesta etapa inicial. O desenvolvimento de sua base teórica e filosofia, fundamentada em uma revisão bibliográfica, se tratou da parte mais importante do presente trabalho, na medida que, além de fundamentar todas as próximas etapas do desenvolvimento do modelo, igualmente concebeu conceitos que dialogam com a forma específica com que a Egis Rail atua nos projetos.

Os estudos de caso realizados são pertinentes pois mostram situações reais que poderiam ser evitadas com uma gestão de interfaces e de integração de sistemas mais efetiva. Ainda dialogam com os colaboradores da empresa, que em sua experiência profissional podem relacionar tais casos com as situações vivenciadas por eles mesmos, trazendo uma sensibilização em torno do tema e suportando a relevância do desenvolvimento do modelo.

As diretrizes e atividades do projeto foram bem estabelecidas pelos entregáveis produzidos: a Decomposição Estrutura de Funções (FBS), o Roteiro de Ação (FDR) e o Plano de Ação (PDA). Com esses documentos, as funções que deveriam fazer parte do modelo foram definidas por toda a equipe e o caminho a se seguir tomou forma concreta, o que contribuirá para garantir a continuidade do projeto de forma coerente.

Ainda foi possível iniciar o desenvolvimento das tarefas do PDA e a produção de determinados entregáveis. Entre as primeiras atividades realizadas dizem respeito ao aspecto comercial do desenvolvimento, porém atividades das áreas relacionadas ao produto e à formação também foram tratadas. Dessa forma, ao fim do estágio do autor o desenvolvimento propriamente dito modelo era palpável e já prenunciava a execução das atividades restantes.

Integrando a equipe do desenvolvimento do IBIS na função de Engenheiro de Projetos, foi possível compreender melhor a realização das atividades de gestão de um projeto, não só as estudando minuciosamente, mas igualmente colaborando com a gestão do desenvolvimento do modelo. Por meio de uma discussão transversal sobre o escopo do projeto, foi possível aproximar diferentes perspectivas dentro da empresa e estabelecer uma definição mais clara do modelo. Além disso, a multidisciplinaridade inerente ao projeto contribuiu para o aprendizado em diversas áreas da engenharia, especialmente aplicados à área metro-ferroviária.

O projeto também mostrou que um amplo diálogo entre as diferentes equipes dentro da empresa em projetos como este é essencial. Ter o *feedback* de colaboradores envolvidos em diferentes projetos é imprescindível para entender as necessidades reais a refletirem nos métodos de gestão. Esse diálogo é também uma oportunidade de reunir procedimentos eficientes já aplicados.

## 5.1. Trabalhos Futuros

Este trabalho possibilita imaginar a aplicação de uma metodologia semelhante em empresas brasileiras. Para isso seria necessário a adaptação dos métodos utilizados ao contexto do país. As diferenças entre as práticas contratuais do Brasil e França pediria uma revisão das reponsabilidades em cada etapa dos processos, sabendo que as mesmas podem alterar a atuação das partes interessadas. Além disso, a alteração escala do modelo também deveria considerada de acordo com a realizada da empresa a interessada em implementar a metodologia. O modelo IBIS produzido busca apoiar

projetos metro-ferroviários em uma empresa de escala global, que possui ampla infraestrutura e recursos humanos para desenvolver a abordagem engenharia de sistemas de forma rigorosa. Um superdimensionamento dos processos a serem adotados pode inviabilizar o método em empresas de menor porte, o que demandaria uma adaptação dos procedimentos utilizados às práticas consideradas fundamentais à empresa.

Além disso, é possível refletir quanto ao desenvolvimento de softwares que possam relacionar de forma mais direta cada interface com seus requisitos e seu modelo digital. A criação de uma base de dados nesse sentido contribuiria significativamente para os processos de gestão de interfaces e da integração de sistemas, aumentando a fluidez e eficiência do modelo.

# 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRIL, M.; BARBER, F.; INGOLOTTI, L.; SALIDO, M.A.; TORMOS, P.; LOVA, A. **An Assessment of Railway Capacity.** Transportation Research Part E 44. Valência, Espanha. 2007.

AL-ASHMORI, Y.Y.; OTHMAN, I.; RAHMAWATI, Y.; AMRAN, Y.H.M.; SABAH, S.H.A.; RAFINDADI, A.D.R.; MIKIC, M. **BIM benefits and its influence on the BIM implementation in Malaysia.** Ain Shams Engineering Journal. Ain Shams, Malásia. 2020.

APPICHARLA, S. K. **System for Investigation of Railway Interfaces.** Rail Safety Standards Board. Londres, Reino Unido. 2006.

ARCHIBALD, R. **Managing High-Technology Programs and Projects.** Terceira Edição. Nova Jersey, EUA: Editora: John Wiley & Sons, Inc., 2003.

AUTODESK. **Innovation at Istanbul Metro.** Blogs Autodesk. 2017. Disponível em <https://blogs.autodesk.com/infrastructure-reimagined/innovation-at-istanbul-metro/>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

BAI, C.E.; QIAN Y. **Infrastructure development in China: The cases of electricity, highways, and railways.** Journal of Comparative Economics. Beijing, China. 2009.

BANISTER D.; BERECHMAN Y. **Transport Investment and the Promotion of Economic Growth.** Journal of Transport Geography. Tel Aviv, Israel. 2001.

BIS - DEPARTMENT FOR BUSINESS INNOVATION & SKILLS. **A report for the Government Construction Client Group, Building Information Modelling (BIM) working party strategy.** Open Government Licence v3.0. Londres, Reino Unido. 2011.

BOSWELL J. W.; ANBARI F. T.; VIA J. W. **Systems Engineering and Project Management.** PICMET17: Technology Management for Interconnected World. 2017.

CHAPMAN, W. L.; BAHILL, A. T.; WYMORE A. W. **Engineering Modeling and Design.** Boca Raton, FL: Editora: CRC Press, 1992.

CHAREF R.; ALAKA H.; EMMIT S. **Beyond the Third Dimension of BIM.** Journal of Building Engineering. 2018.

DAU - DEFENSE ACQUISITION UNIVERSITY. **Defense Acquisition Guidebook (DAG).** U.S. Department of Defense. Belvoir, VA, EUA. 19 de fevereiro de 2010.

DEHOFF B.; LEVACK D. J. H.; RHODES R. E. **The Functional Breakdown Structure (FBS) and Its Relationship to Life Cycle Cost**. 45th AIAA / ASME / SAE / ASEE Joint Propulsion Conference. Denver, Colorado, EUA. 2009.

EASTMAN C.; TEICHOLZ P.; SACKS R.; LISTON K. **BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers and Contractors.** Second Edition. Nova Jersey, EUA: Editora John Wiley & Sons, Inc., 2011.

EISNER, H. **Essentials of Project and Systems Engineering Management.** Second Edition. Washington, EUA: Editora John Wiley & Sons, Inc., 2002.

EUROPEAN COMISSION. **Study on the Cost and Contribution of the Rail Sector.** European Commission Directorate General for Mobility and Transport. Bruxelas, Bélgica. 2015.

FIRESMITH V. D. **Using V Models for Testing.** Carnegie Mellon University - Software Engineering Institute Blogs, 2013. Disponível em: < https://insights.sei.cmu.edu/sei_blog/2013/11/using-v-models-for-testing.html/>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

FLYVBJERG B.; HOLM M. K. M.; BUHL S. L. **What Causes Cost Overrun in Transport Infrastructure Projects?** Transport Reviews, vol. 24. 2004.

FOSSE E.; DELP C. L. **Systems Engineering Interfaces: A Model Based Approach.** California Institute of Technology. Pasadena, USA. 2013.

HAUGHEY, D. **Project Management Tools.** Project Smart. 2015. Disponível em <https://www.projectsmart.co.uk/project-management-tools.php/>. Acesso em: 28 de nov. de 2020

INTERNATIONAL COUNCIL ON SYSTEMS ENGINEERING - INCOSE. **INCOSE Systems Engineering Handbook.** Version 3. Junho de 2006.

INTERNATIONAL STANDARDISATION ORGANISATION. **ISO/IEC/IEEE 15288:2015 – Systems and Software Engineering – Systems Life Cycle Processes.** Genebra, Suíça. 2015.

INTERNATIONAL STANDARDISATION ORGANISATION. **ISO/IEC/IEEE 24748:2018 – Systems and Software Engineering — Life Cycle Management.** Genebra, Suíça. 2018.

JOHANNES M. **BIM Software Tools for all Occasions**. e-Zigurat. 2019. Disponível em <https://www.e-zigurat.com/blog/en/bim-software-tools-for-all-occasions/>. Acesso em: 20 de nov. de 2020

MABELO, P.B.; SUNJKA B.P. **Application of Systems Engineering Concepts to Enhance Project Lifecycle Methodologies.** 28th Annual Conference of the Southern African Institute for Industrial Engineering. Vanderbijlpark, África do Sul. 2017.

MOREAU, V. **Les Parties Prenantes au Projet.** MySCENARI. 2020. Disponível em <https://moreauva.scenari-community.org/MP_01-ConceptsFormalisation_web/co/partiesPrenantes.html>. Acesso em: 21 de nov. de 2020

NUTTENS, T.; DE BREUCK, V.; CATTOOR, R.; DECOCK, K.; HEMERYCK, I. **Using BIM Models for the Design of Large Rail Infrastructure Projects: Key Factors for a Successful Implementation.** International Journal of Sustainable Development and Planning. Ghent, Bélgica. 2018.

PRADHAN, R.P.; BAGCHI, T.P. **Effect of transportation infrastructure on economic growth in India: The VECM approach.** Research in Transportation Economics. Mumbai, India. 2012.

PRODANOV, C.C.; FREITAS, E.C. **Metodologia do Trabalho Científico: Métodos e Técnicas da Pesquisa e do Trabalho Acadêmico.** Segunda Edição. Novo Hamburgo, Brasil: Editora: Feevale. 2013.

RAJABALINEJAD, M. **System Integration: Challenges and Opportunities for Rail Transport.** 3th Annual Conference on System of Systems Engineering (SoSE). Paris, França. 2018.

RISPOLI, F.; CASTORINA, M.; NERI, A.; FILIP, A. **Recent progress in application of GNSS and advanced communications for railway signaling.** 23th Conference Radioelektronika, 2013, Pardubice, República Checa.

SAGE, A.P. **Systems Engineering for Risk Management.** Em: BEROGGI G.E.G., WALLACE W.A. Computer Supported Risk Management. Topics in Safety, Risk, Reliability and Quality, vol 4. Dordrecht, Holanda: Editora Springer, 1995.

SHOKRI, S. **Interface Management for Complex Capital Projects.** University of Waterloo. Ontario, Canada. 2014.

SOCIÉTÉ DU GRAND PARIS. **Le Grand Paris Express en résumé.** Grand Paris Express. 2017. Disponível em <https://www.societedugrandparis.fr/gpe/le-grand-paris-express-en-resume>. Acesso em: 25 de nov. de 2020.

SYSTEMS ENGINEERING BODY OF KNOWLEDGE. **Life Cycle Models**. SEBoK Wiki v. 2.3. 2020. Disponível em < www.sebokwiki.org/wiki/Life_Cycle_Models>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

SYSTEMS ENGINEERING BODY OF KNOWLEDGE. **System Integration**. SEBoK Wiki v. 2.3. 2020. Disponível em <www.sebokwiki.org/wiki/System_Integration>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

SYSTEMS ENGINEERING BODY OF KNOWLEDGE. **System Life Cycle Process Models: Vee**. SEBoK Wiki v. 2.3. 2020. Disponível em <https://www.sebokwiki.org /wiki/System_Life_Cycle_Process_Models:_Vee>. Acesso em: 20 de nov. de 2020.

YEH, H. H. **Preventive Interface Management for Complex Capital Projects A Case Study of Mass Rapid Transit Project Construction.** National Central University. Jhongli, Taiwan. 2019.

UDDIN A.; KHAN M. K.; CAMPEAN F. **Development of an Interface Analysis Template for System Design Analysis.** International Conference on Engineering Design. Milão, Itália. 2015.

USA FAA - FEDERAL AVIATION AGENCY. **FAA Systems Engineering Manual.** Washington, DC, EUA. Versão 1.0.1, 19 de junho de 2014.

# APÊNDICE A – Ficha de Acompanhamento

A aba principal da Ficha de Acompanhamento, abordada na subseção 4.2.4, é apresentada pela Figura 32. A coluna 1 contém o nome da tarefa, enquanto as colunas 2 até 8 foram apresentadas pela Figura 25. As colunas 9 até 12 foram apresentadas na Figura 26.

**Figura 32** - Aba principal da Ficha de Acompanhamento

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Action | CALENDRIER | | | PROGRESS | | | | PROD / VERIF / VALIDATION | | | |
| | Début | Fin | Durée | Progress Attendu | Status | Progress Réel | Ecart | Pilote | Validation Interne | Validation Externe | Status |
| **1 Commercial aaa** | **01/06/2020** | **30/09/2020** | **4 Mois** | **70%** | | **68%** | **-2%** | | | | |
| **1.1 : Rédaction d'un package générique (ou plusieurs) pour offre ciblée** | **01/06/2020** | **31/07/2020** | **60** | | | | | | | | |
| Présentation générique à propos du modèle IBIS FR/EN | 01/07/2020 | 31/07/2020 | 30 | 100% | en cours | 100% | 0% | LCA | FVE | IMO | Validated |
| Plaquette générique à propos du modèle IBIS FR/EN | 01/07/2020 | 31/07/2020 | 30 | 100% | en cours | 100% | 0% | LCA | FVE | IMO | Validated |
| Plan de Management IBIS modèle pour Offre FR / EN | 01/06/2020 | 31/07/2020 | 60 | 80% | en cours | 90% | 10% | LCA | - | - | Under work |
| **1.2 : Définition des cible(s) commerciales** | | | | | | | | | | | |
| Identification des cibles | 01/07/2020 | 31/07/2020 | 30 | 56% | en cours | 60% | 4% | LCA | - | - | Under work |
| **1.3 : Participation à actions commerciales** | **01/08/2020** | **30/09/2020** | **60** | | | | | | | | |
| Identification des actions potentielles | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 10% | à demarrer | 50% | 40% | - | - | - | Under work |
| Préparation du matériel de communication pour les actions | 01/09/2020 | 30/09/2020 | 29 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | - | - | - | Under work |
| **2 Produit** | **01/08/2020** | **31/12/2020** | **5 Mois** | **16%** | | **0%** | **-16%** | | | | |
| **2.1 : Diagnostic - Identification paquet outils et livrables IBIS** | **01/08/2020** | **30/08/2020** | **29** | | | | | | | | |
| Collecte / Récensement d'Outils et Livrables Clés | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 0% | en cours | 0% | 0% | LCA | - | - | Under work |
| Etat des Lieux "Vision versus Réel" | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | FVE | - | - | Under work |
| Cahier de Charges de Développement d'Outils | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | LCA | - | - | Under work |
| **2.2 : Développement** | **01/08/2020** | **30/12/2020** | **151** | | | | | | | | |
| Plan du Développement sur la base du Cahier de Charges d'Outils | 01/08/2020 | 30/12/2020 | 151 | 16% | à demarrer | 0% | -16% | - | - | - | Under work |
| Rédaction du package outils et livrables à mettre en place dans les projets IBIS | 01/08/2020 | 30/12/2020 | 151 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | - | - | - | Under work |
| **2.3 : Définition des passerelles de processus** | **01/10/2020** | **15/12/2020** | **75** | | | | | | | | |
| Définition de méthodes et moyens d'echange entre l'IBIS et les processus externes | 01/10/2020 | 15/12/2020 | 75 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | - | - | - | Under work |
| **2.4 : Certification d'outils IBIS** | | | | | | | | | | | |
| **2.5 : Certification de livrables IBIS** | | | | | | | | | | | |
| **3 Formation** | **01/08/2020** | **15/10/2020** | **3 Mois** | **32%** | | **0%** | **-32%** | | | | |
| **3.1 : Définition d'un Profil d'équipe IBIS et des Profils individuels associées** | **01/08/2020** | **31/08/2020** | **30** | | | | | | | | |
| Identification des rôles individuels et profils associées | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 80% | à demarrer | 0% | -80% | - | - | - | Under work |
| Définition des Profils d'équipe | 01/08/2020 | 31/08/2020 | 30 | 80% | à demarrer | 0% | -80% | - | - | - | Under work |
| **3.2 : Identification des opportunités de formation Clients / Partenaires** | | | | | | | | | | | |
| **3.3 : Elaboration des Parcours IBIS** | **01/09/2020** | **15/10/2020** | **44** | | | | | | | | |
| Définition des Parcours IBIS | 01/09/2020 | 20/09/2020 | 19 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | - | - | - | Under work |
| Elaboration des formations qui composeront les Parcours IBIS | 20/09/2020 | 15/10/2020 | 25 | 0% | à demarrer | 0% | 0% | - | - | - | Under work |
| **3.4 : Réalisation des Supports de Formation interne** | | | | | | | | | | | |
| **3.5 : Réalisation des Supports de Formation externe** | | | | | | | | | | | |
| **4 Divers (autres actions à mener pour le projet IBIS)** | **01/03/2020** | **31/12/2020** | **5 Mois** | **58%** | | **100%** | **42%** | | | | |
| Organigramme Equipe projet IBIS | 01/04/2020 | 17/04/2020 | 16 | 100% | en cours | 100% | 0% | IMO | - | - | Validated |
| Présentation / Doucument Sensibilisation | 01/03/2020 | 17/03/2020 | 16 | 100% | en validation | 100% | 0% | LCA | FVE | - | Validated |
| Plan de Management du projet d'entreprise IBIS Modèle (FR uniquement) | 01/04/2020 | 17/04/2020 | 16 | 100% | en validation | 100% | 0% | LCA | - | - | Internal Validation Pending |
| Développement d'un modèle de reporting + actions associées de reporting | 01/04/2020 | 17/04/2020 | 16 | 100% | approuvé | 100% | 0% | IMO | - | - | Validated |
| Etat des Lieux Concurrents / Literature | 15/07/2020 | 31/07/2020 | 16 | 100% | en validation | 100% | 0% | LCA | - | - | Internal Validation Pending |
| Pilotage projet IBIS, coordination, ... | 01/03/2020 | 31/12/2020 | 305 | | | | | IMO | - | - | Under work |

Fonte: Autor

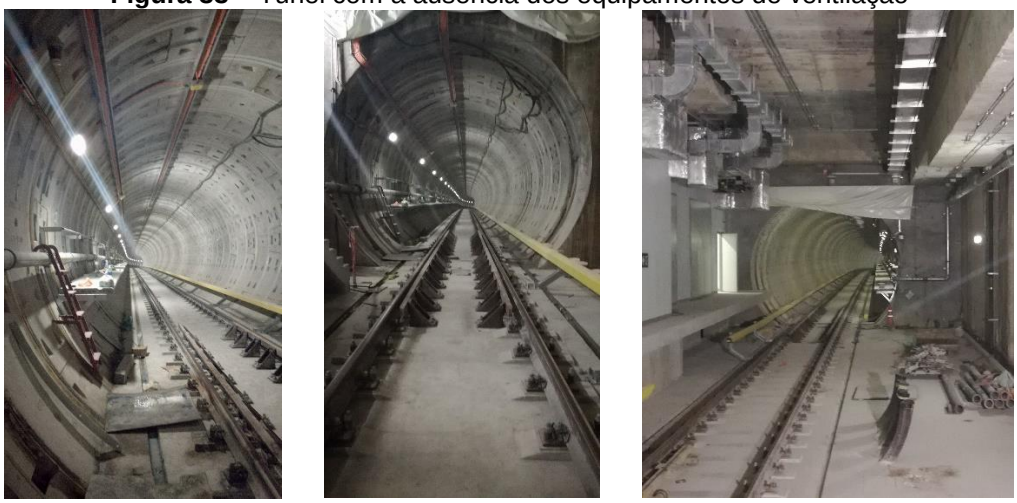
# APÊNDICE B – Coleção de Estudos de Caso

Os Estudo de Caso coletados durante o desenvolvimento do projeto e resumidos pela Tabela 6 são brevemente apresentados a seguir.

## B.1. Caso 1

O primeiro caso ocorreu durante as obras de um metro, por uma falha na interface espaço-temporal entre a fase de testes e a instalação de equipamentos eletromecânicos. A falta de uma interface bem definida resultou na má definição das datas de instalação do sistema de ventilação. No momento em que as obras alcançaram a fase de realização de testes de usina dos equipamentos, a instalação dos ventiladores não havia sido iniciada. Isso causou um atraso de 3 semanas no processo de realização de testes. A Figura 33 ilustra a situação.

**Figura 33 –** Túnel com a ausência dos equipamentos de ventilação



Fonte: Egis Rail (não publicado)

## B.2. Caso 2

O segundo caso ocorreu igualmente durante as obras de um metro, por uma falha na interface espaço-temporal entre as diferentes fases de testes dos equipamentos do Sistema de Controle Centralizado. O problema ocorreu pela falta dos testes de usina dos

equipamentos, que ocorrem antes da instalação dos equipamentos, no momento de iniciar os testes *in loco* do sistema. Isso causou um atraso de 2 meses nos testes *in loco,* que não foram finalizados antes do início da operação da linha. É importante ressaltar que os testes faltantes no momento do início da operação não diziam respeito a segurança do sistema.

### B.3. Caso 3

O terceiro caso também ocorreu durante as obras de um metro, onde foram detectados conflitos entre a infraestrutura de um viaduto e o sistema da via férrea. O problema foi que o *design* do viaduto não previa a instalação do motor da chave do aparelho de mudança de via (AMV), também conhecida como agulha. A situação demandou o estudo e a realização de um projeto de base metálica customizada (Figura 34) para mitigar a falta de acessibilidade ao equipamento. Atraso total foi de 3 meses e mesmo após a implementação de medidas paliativas, as condições de segurança ainda não eram as ideais.

**Figura 34 -** Base metálica produzida para o AMV

Fonte: Egis Rail (não publicado)

## B.4. Caso 4

O caso 4 se trata de um conflito entre o sistema de alta tensão e a infraestrutura da estação nas obras de um metrô, que foi explicado e utilizado como exemplo na 36

## B.5. Caso 5

O caso 5 se trata de um conflito entre o sistema de alta tensão e o sistema de baixa tensão nas obras de um metrô. O poste da linha aérea de contato foi instalado em conflito com o suporte das bandejas de cabos de baixa tensão. Neste caso foi considerado que uma correção adequada seria muito custosa e por isso nenhuma alteração foi feita. No entanto, esse conflito continua presente e tem impactos nas condições de acesso e manutenção dos cabos. O conflito pode ser visto na Figura 35.

**Figura 35 -** Conflito entre a base do poste da LAC e os suporte das bandejas

Fonte: Egis Rail (não publicado)

## B.6. Caso 6

O Caso 6 também ocorreu nas obras de um metrô, com uma falha considerada na interface entre os equipamentos eletromecânicos e a infraestrutura da estação. O problema foi causado pela incompatibilidade entre as especificações da instalação dos transformadores e a carga máxima tolerável da laje. As salas técnicas desta estação estão localizadas em uma laje de concreto cruzando um canal da cidade. As portas que permitem o encaminhamento dos transformadores para as instalações estão localizadas nas faces internas, e não na face externa, de fácil acesso pela rodovia (Figura 36). Portanto, para realizar a entrega dos transformadores, o caminhão deve que estacionar na laje. Por outro lado, a carga admissível da laje não era compatível com o peso adicional, considerando caminhão, grua móvel e transformador. Foi necessário realizar estudos estruturais e reforçar a laje de concreto para poder suportar o peso adicional. Isso causou um atraso de 2 meses a partir da data de entrega originalmente programada.

**Figura 36** - Estação sobre a laje de concreto reforçada

Fonte: Egis Rail (não publicado)

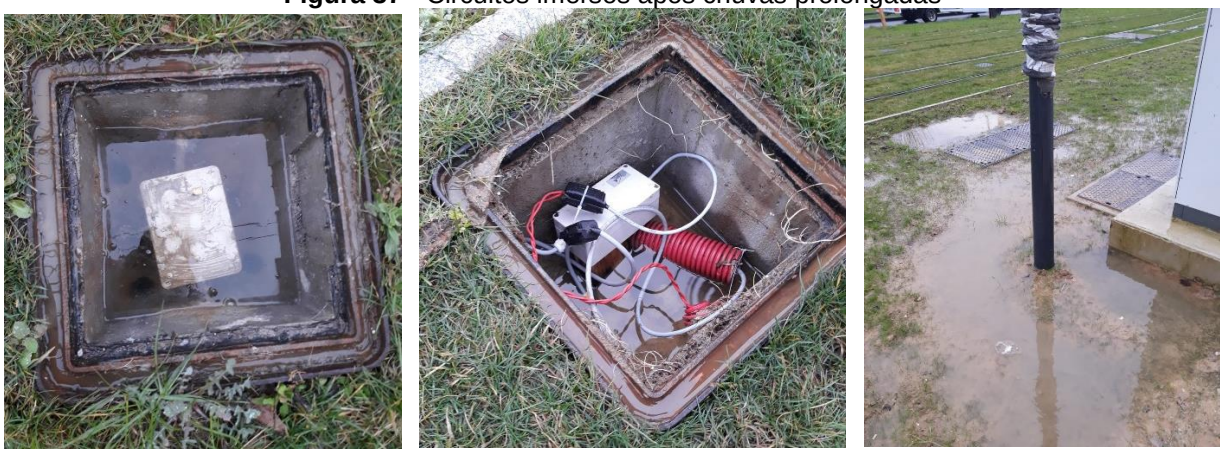
## B.7. Caso 7

O Caso 7, ocorrido em uma rede de metrô de superfície, se trata da falha no diálogo entre os sistemas de material rolante e a infraestrutura das plataformas das estações. Foi realizada a aquisição de mais de 340 novos trens de modelos que eram mais largos do que o permitido para certas estações da rede. As plataformas eram mais próximas dos trilhos do que o necessário para permitir a passagem de trens. Por conta desse erro, foi necessário modificar 1.300 plataformas, a um custo estimado de 50 milhões de euros.

## B.8. Caso 8

Ocorrido nas obras de um *tram,* o Caso 8 se trata da má execução de uma interface entre a infraestrutura da estação e do Sistema de sinalização da via férrea. A falta da realização de uma drenagem adequada causava falhas nos circuitos da sinalização. Dessa forma, ocorriam frequentes interrupções no tráfego do *tram* nos entornos dessa estação durante chuvas fortes. A Figura 37 mostra os circuitos imersos após uma chuva prolongada.

**Figura 37** - Circuitos imersos após chuvas prolongadas



Fonte: Egis Rail (não publicado)

## B.9. Caso 9

Ocorrido igualmente nas obras de um *tram*, no caso 9 a conflito era entre os sistemas de sinalização e o da via férrea. Um poste de sinalização foi instalado em conflito com o gabarito de passagem do *tram*, como pode ser visto na Figura 38. Embora o ocorrido não tenha causado atrasos, foi necessário a reinstalação do poste em um local adequado.

**Figura 38** - Poste de sinalização instalado em posição inadequada

Fonte: Egis Rail (não publicado)

## B.10. Caso 10

O Caso 10 ocorreu devido a uma má comunicação das interfaces físicas contratuais nas obras de um *tram*. Foram instalados circuitos de via (Figura 39) em um trecho estendido do trilho, que estava sob responsabilidade de outra entidade e que viria a ser cortada pela mesma. Graças à identificação prévia do problema, não houve impacto no planejamento, mas foi necessário reinstalar os circuitos antes que os trilhos pudessem ser cortados.

**Figura 39** - Circuitos de via instalados em um trecho inadequado do projeto

Fonte: Egis Rail (não publicado)

# APÊNDICE C - Níveis de Formação do Modelo IBIS

Os níveis de formação abordados na subseção 4.4.5 e suas características são apresentados na Figura 40.

**Figura 40** - Níveis de formação do modelo IBIS

| | IBIS L1 | IBIS L2 | IBIS L3 |
|---|---|---|---|
| Entendimento do "Método IBIS" e capacidade de comunicação acerca | Tem um entendimento geral do método IBIS e pode expressar sua importância e objetivos principais | Tem um entendimento preciso dos métodos e recursos. É capaz de explicar corretamente todos os princípios do IBIS | Tem um entendimento profundo dos métodos, processos, e ferramentas do IBIS. É capaz de treinar outros colaboradores nos meios do modelo |
| Implementando IBIS em um projeto | É capaz de estabelecer uma proposta inicial sobre a implementação do IBIS no projeto | É capaz de fornecer uma lista de ferramentas e métodos específicos a serem aplicados no projeto | Pode definir uma lista completa e ordem de prioridade de processos a serem aplicados em um projeto específico – levando em conta o contexto, contrato e equipe |
| Acompanhando um projeto utilizando IBIS | É capaz de verificar a aplicação do método de maneira geral e identificar eventuais disfunções | É capaz de verificar a aplicação adequada das ferramentas e entregáveis definidos e apoiar a equipe ao enfrentar obstáculos | É capaz de verificar a aplicação do modelo como um todo, de apoiar a equipe e de adaptar o modelo caso necessário |
| Alvos potenciais para este nível de formação | Chefes de Projeto e Representantes Comerciais | Chefes de Projeto, Representantes Comerciais, Especialistas de Sistemas e Engenheiros de Interfaces | Especialistas de Sistemas e Engenheiros de Interfaces |
| Formação a ser seguida para obter a "certificação" | Formação L1 | Formação L2 | Formação L3 |

Fonte: Autor