

ANÁLISE NO DOMÍNIO DO PROBLEMA COM TÉCNICAS DE ENGENHARIA DE SISTEMAS & REQUISITOS

Autor

Filipe Wiltgen¹

Resumo

Na engenharia tradicional, os engenheiros são conduzidos a encontrar uma solução e aplicar esta solução o quanto antes para minimizar ou sanar um determinado tipo de problema. Dessa forma, o foco está na solução técnica do problema, o que se chama Domínio da Solução. Em Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR), estes domínios estão bem definidos, assim como, a sua sequência de execução. Para que um determinado problema seja devidamente sanado, ou seja, que a solução encontrada (em linguagem matemática) pertença a região de mínimo global (permanente) e não mínimo local (paliativa) é necessário analisar o problema de forma coerente e profunda, para tanto utiliza-se de técnicas que ajudam a determinar o contorno do problema em questão e construir regras e requisitos que aliados as técnicas de análise permitem expandir o conhecimento a respeito do problema de forma coerente e completa, o que em ESR é chamado de Domínio do Problema. Este artigo apresenta as formas de análise no Domínio do Problema aplicando as consagradas técnicas de ESR para ajudar engenheiros a conhecer melhor o problema e só depois disso migrar para o Domínio da Solução, e encontrar soluções técnicas que permitam “atacar” o problema de forma eficaz e definitiva.

Palavras-chave: Engenharia de sistemas e requisitos. Domínio do problema. Requisitos. Modelo em V. Técnica IDEF0.

PROBLEM DOMAIN ANALYSIS WITH TECHNIQUES SYSTEMS & REQUIREMENTS ENGINEERING

Abstract

In traditional engineering, engineers are led to find a solution and apply this solution as soon as possible to minimize or remedy a certain type of problem. Thus, the focus is on technical solution of problem, which is called Domain of Solution. In Systems & Requirements Engineering (SRE), these domains are well defined, as well as their sequence of execution. For a given problem to be properly resolved, that is, that the solution found (in mathematical language) belongs to region of global minimum (permanent) and not local minimum (palliative) it is necessary to analyze the problem in a coherent and profound way, for both it uses techniques that help to determine outline of problem in question and build rules and requirements that, together with analysis techniques, allow to expand the knowledge about problem in a coherent and complete way, which in SRE is called the Problem Domain. This article presents the forms of analysis in the Domain of Problem applying renowned techniques of SRE to help engineers to better understand problem and only after that migrate to the Domain of Solution, and find technical solutions that allow to “attack” problem effectively and definitive.

Keywords: Systems & Requirements Engineering. Problem Domain. Requirements. V-Model. IDEF0 Technique.

¹ Doutorado em Engenharia Eletrônica e Computação para Fusão Termonuclear Controlada pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica – ITA e docente na Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - FATEC Pindamonhangaba e Cruzeiro. ORCID 0000-0002-2364-5157. E-mail: Filipe.Wiltgen@fatec.sp.gov.br ou ProfWiltgen@gmail.com

INTRODUÇÃO

Na formação em engenharia os estudantes são condicionados a fornecer respostas rápidas para todas as dificuldades, falhas, panes ou problemas. Voltar a operar uma máquina é sempre uma questão de tempo e de versatilidade na condução das soluções técnicas viáveis. Entretanto, quando o problema pode ser devidamente estudado, quase sempre as soluções técnicas também podem ser melhor desenvolvidas, o que permite achar uma solução específica para cada problema de forma mais permanente.

Quase sempre no dia a dia, se você for um engenheiro de manutenção corretiva, não poderá dispor de muito tempo para analisar o problema e encontrar uma solução ótima. Porém, na engenharia de projetos, principalmente, existe a oportunidade para aplicar conceitos e técnicas que permitem explorar os problemas de forma mais eficiente, assumindo suas causas e suas características mais profundamente, e assim, absorver o Domínio do Problema (Wiltgen, 2020; Loucopoulos; Karakostas, 1995).

Quase sempre é necessário encontrar a raiz do problema para então propor soluções técnicas que possam resolver de forma permanente, e não paliativa, um determinado problema em engenharia.

A principal ferramenta de análise de problemas em engenharia está em entender o problema, conhecer suas causas e seus impactos podem auxiliar no caminho a ser percorrido usando as consagradas técnicas de Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) como via que indicará a formalização necessária na forma de requisitos técnicos específicos que possam delimitar e delinear a maneira de conduzir e solucionar um problema.

Em ESR aplicar técnicas que permitam o estudo e a delimitação de um problema conduzem a construção de requisitos que permitem descrever como uma determinada solução deve ser conduzida na forma e no estilo apropriado para pavimentar um caminho para a melhor solução técnica a ser empregada como pode ser visto na correlação apresentada na Figura 1.

Na Figura 1 a correlação entre o conhecimento adquirido de um determinado problema e a ponte que permite esse conhecimento só é possível com a utilização de técnicas de ESR que levam o conhecimento ao Domínio do Problema. Dispor de tempo para a aplicação de técnicas para conduzir os resultados dessas análises sem dúvida vai permitir à engenharia elaborar uma solução mais eficaz e robusta, quem sabe definitiva.

O Domínio do Problema é o ambiente de desenvolvimento do conhecimento em ESR para elaboração e condução de projetos em desenvolvimento e com maturidade tecnológica progressiva TRL (*Technology Readiness Level*) (Sausser *et al.*, 2010; Straub, 2015) e o planejamento e utilização de procedimentos de testes que devem ser conduzidos de forma a

atender um projeto do micro (componentes) ao macro (sistemas de sistemas) (WILTGEN, 2020).

Figura 1 – Análise no Domínio do Problema em ESR.



Fonte: Próprio Autor

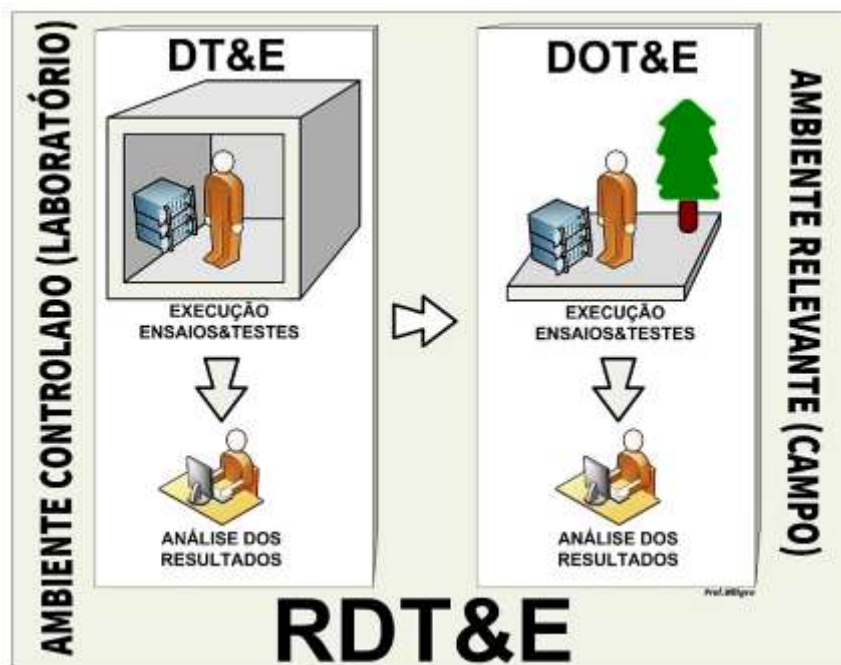
Uma forma de conhecer um problema é com a aplicação de hipóteses a serem comprovadas por Testes-Resultados-Análises. A fim de entender e conhecer um determinado problema devem ser conduzidos testes teórico-analíticos, similares aos realizados para reduzir incertezas em projetos no início do desenvolvimento. Entretanto, os testes realizados para a compreensão de um problema devem sempre determinar o seu contorno e suas limitações de investigação (Fabrycky, 2010; França Jr., 2018).

As hipóteses devem ser descritivas a respeito do procedimento de teste teórico-analítico, e o que esperar dos resultados a serem obtidos, além de quais as técnicas devem ser empregadas e a ordem de aplicação de cada técnica para a condução da análise. Em ESR utilização, o planejamento e a realização de testes permite investigar melhor incertezas de natureza técnica, e assim, suprimir parte de problemas inerentes a essas incertezas.

Os Ensaios e Testes em Ambiente Controlado (*DT&E – Developmental Test and Evaluation*), são aqueles realizados em um laboratório sob condições restritas e controladas, diferentemente dos Ensaios e Testes em Ambiente Relevante (*DOT&E – Developmental Operational Test and Evaluation*), que são aqueles realizados em campo sob condições adversas e sem opções de controle. Esses conjuntos diferentes de ensaios e testes compõem o plano de Pesquisa, Desenvolvimento, Teste e Avaliação (*RDT&E – Research, Development, Test & Evaluation*) que permitem agrupar e contemplar o DT&E e o DOT&E em um

documento único, e de forma mais ampla, o que passa a ser o programa de Ensaaios & Testes de desenvolvimento (Wiltgen, 2020), como pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Composição do programa completo de Ensaaios & Testes em ESR.



Fonte: Próprio Autor

Teste reais permitem evoluir na maturidade, e assim necessariamente no conhecimento de um problema. Um conhecimento sólido a respeito de um problema faz com que o desenvolvimento mude de estágio, do Domínio do Problema, para o Domínio da Solução, o que permite seguir nos testes em campo (*DOT&E*), e executar soluções técnicas de forma consistente o qual permite a um projeto ter sucesso (Ulrich; Eppinger, 2000).

Conforme pode ser visto na Figura 2, os testes em ambiente controlado (*DT&E*) são executados de forma exaustiva e completa, o que significa que para seguir no plano *RDT&E* é necessário obter sucesso nos testes prévios. Isso se mostra importante na evolução do conhecimento de um problema. Muitas vezes o conhecimento do problema vem da redução das incertezas (INCOSE, 2015; NASA, 2018; DoD, 2001; Hampton, 1995; Sutcliffe; Maiden, 1998; Tahera *et al.*, 2018; França Jr., 2018).

No decorrer desse artigo, tem-se a descrição do ambiente conhecido como o domínio do problema, são apresentadas as técnicas e modelos de análise empregados em ESR, e por fim, tem-se uma discussão a respeito do conhecimento de um problema para obter soluções duradouras ou permanentes.

2 METODOLOGIA APLICADA, OBJETIVO, JUSTIFICATIVA E PROPÓSITO

A metodologia aplicada é do tipo exploratória qualitativa baseada em estudo bibliográfico. De tal forma que a pesquisa permite argumentar o estudo por meio de análises e percepções qualitativas investigando um determinado problema apresentando hipóteses baseadas na busca de pesquisa bibliográfica para facilitar a compreensão do tema abordado.

O objetivo dessa pesquisa é apresentar de forma clara, objetiva e simples maneiras diferentes de aplicar as técnicas de ESR em problemas reais, e obter através de análises e testes, o entendimento necessário de seus mecanismos e características, com o propósito único de conhecer com a maior profundidade possível o comportamento e o contorno de um problema no Domínio do Problema. E após analisar e entender o comportamento, assim como, as causas do problema, conseguir propor soluções técnicas que possam ser permanentes, eficientes e sólidas.

A justificativa e o propósito desse artigo é concatenar as principais técnicas de ESR em um documento único capaz de servir como guia para ajudar pesquisadores, engenheiros, projetistas, é claro qualquer outra pessoa que tenha interesse em abordar e lidar um problema de forma incisiva, robusta e investigativa. É sempre baseada no levantamento do conhecimento, análise do comportamento e dos efeitos de um problema, de tal forma, a emergir diversas soluções técnicas a serem experimentadas como possíveis respostas definitivas.

Difundir o conhecimento da Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) mais amplamente, permite entender e aplicar as técnicas de análise de problemas e de soluções com eficácia. A ESR não se limita a simples aplicação em programação de computadores como infelizmente é sempre relacionada. Isso torna carente suas valiosas implicações na engenharia e na sociedade. A sociedade poderia conduzir investigações de problemas, acidentes, catástrofes, pandemias, falhas e panes de forma mais inteligente e proativa com o uso da ESR.

3 ANALISANDO PROBLEMAS NO AMBIENTE DO DOMÍNIO DO PROBLEMA

O Domínio do Problema é o estudo completo do problema de forma científica e investigativa, é como entender o mecanismo de operação dos fatores que somados na ordem correta formam o problema em questão. As técnicas de análise de problemas são sucessivamente crescentes em sua complexidade e nos resultados obtidos com as análises (Naikar; Sanderson, 2001).

A solução de um problema é sempre um alívio, isso provavelmente é um dos maiores inimigos de uma solução duradoura para um problema em engenharia. Tendo em vista que eliminar um problema é algo sempre interessante, a maioria das pessoas prefere aplicar algum tipo de solução, mesmo que paliativa, para se livrar de um problema. A natureza de um problema sempre remete a impressão de ser algo complicado e chato, os quais quase sempre se traduzem em perder prazos (tempo) e elevar custos (dinheiro). Sempre que um problema é tratado de forma superficial, ou seja, com soluções temporárias e instáveis, isso apenas posterga uma solução duradoura ou permanente (Wiltgen, 2020) o que implica em ter que lidar com o mesmo problema novamente.

Em Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) os problemas são tratados como desafios, e isso impõe ao desafiado ser competente em entender profundamente o que causa o problema, além do porquê isso se torna um problema, os efeitos (Fabrycky, 2003; França Jr; Galdino, 2019). Problemas devem ser tratados sempre como um objeto de pesquisa científica, no qual a investigação é apenas a primeira etapa, seguindo de análises, hipóteses, experimentação e resultados que devem levar ao conhecimento do problema.

A única forma efetiva de tratar um problema com soluções técnicas permanentes é entender o problema, o ambiente necessário para que isso ocorra é no Domínio do Problema. No Domínio do Problema, o problema é o centro da pesquisa investigativa, dedica-se a explorar e devassar com múltiplas ferramentas, modelos e técnicas de análise, as origens dos problemas, obtendo indicativos de quais os mecanismos que iniciam o problema, além de conhecer suas características e limites de contorno.

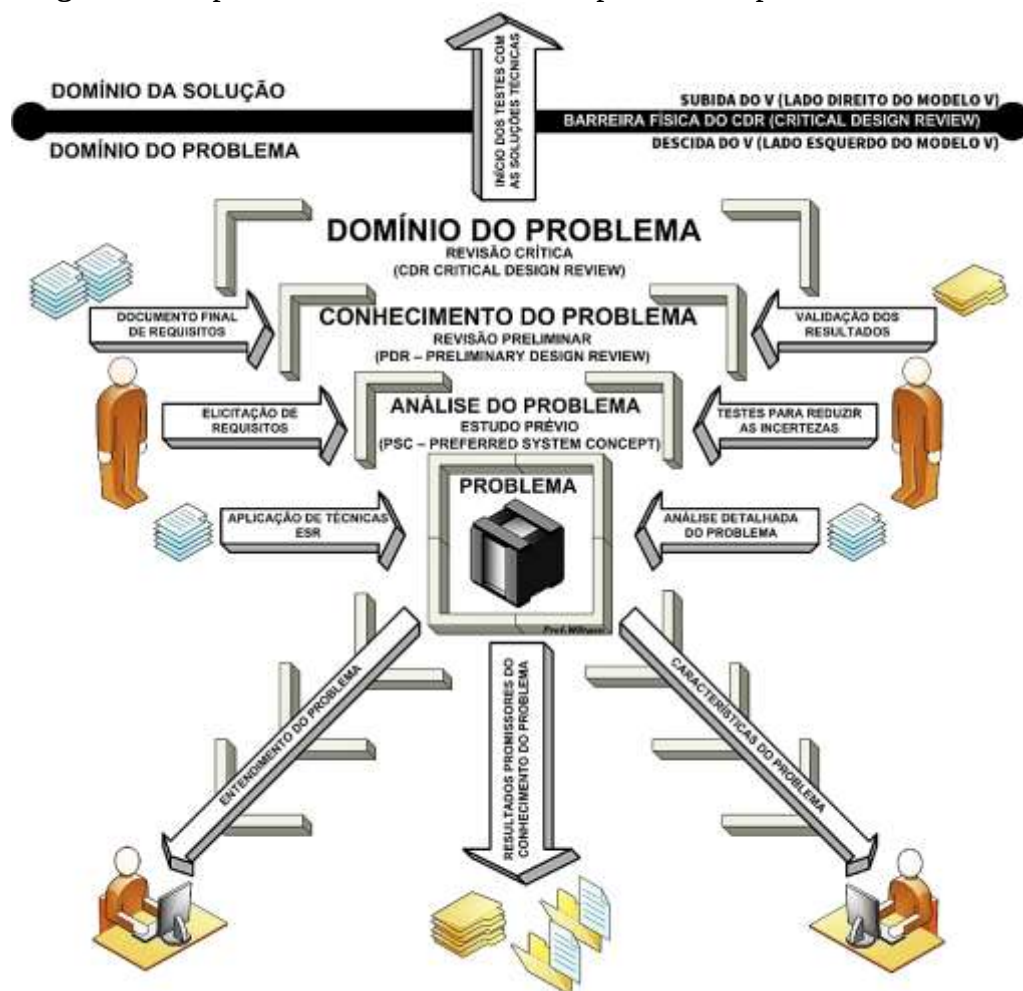
Os problemas quase sempre se apresentam de forma complexa, mesmo sem ser. Entretanto, sua aparente complexidade está em não ser completamente decifrado. Ao decifrar os problemas eles se desconstroem, e assim, é possível encontrar formas de os minimizar e até mesmo eliminar um problema.

Na Figura 3 pode ser visto um esquema que apresenta o mapeamento do Domínio do Problema no qual é possível perceber a expansão do problema e as ações resultantes da aplicação das técnicas de análise em ESR. A cada estágio de expansão do conhecimento a respeito do problema é acompanhado por um relatório específico.

Na Figura 4 no estágio de análise do problema ou estudo prévio é a etapa no qual as técnicas de ESR são selecionadas. O conjunto básico dessas técnicas é apresentado na Figura 4 (INCOSE, 2015; NASA, 2018; DoD, 2001; Boehm, 1988; Ishikawa, 1986; Ishikawa, 2012). Observa-se que estão separados em 3 grupos de complexidade crescente.

O grupo A é composto pelas técnicas mais simples (5W2H e SWOT) que permitem observar os limites do problema, dando indicações de como atuar nas incertezas. O grupo B é composto por técnicas que permitem conhecer o problema do seu comportamento (WATERFALL) e seus riscos (ESPIRAL DE BOEHM).

Figura 3 – Expansão do conhecimento a respeito de um problema com ESR.



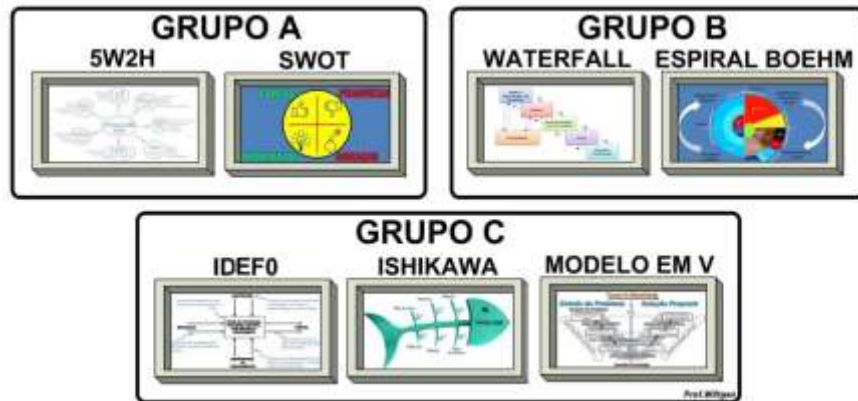
Fonte: Próprio Autor

O grupo C atua de forma enfática no formato do problema aprofundando do macro ao micro (IDEF0), depois determinar as causas e os efeitos em cada estágio de investigação (ISHIKAWA). Por fim, utiliza-se da elicitação dos requisitos (Wiltgen, 2022 D) para determinar a dimensão do problema realizando e organizando o mapeamento de ações com base em relatórios de maturidade do conhecimento (Modelo em V). Cada uma dessas técnicas de ESR será apresentada separadamente no decorrer das próximas seções deste artigo.

Elicitar requisitos é uma tarefa difícil, e algumas vezes intrincada e melindrosa, pois depende de uma simplicidade, clareza e objetividade ímpar da equipe (Wiltgen, 2022; Loucopoulos; Karakostas, 1995; Goguen; Linde, 1998; Madhavji *et al.*, 1994; Lee; Zhao, 2006;

Zowghi; Coulin, 2005). Requisitos bons levam a resultados bons, e o contrário também é verdadeiro.

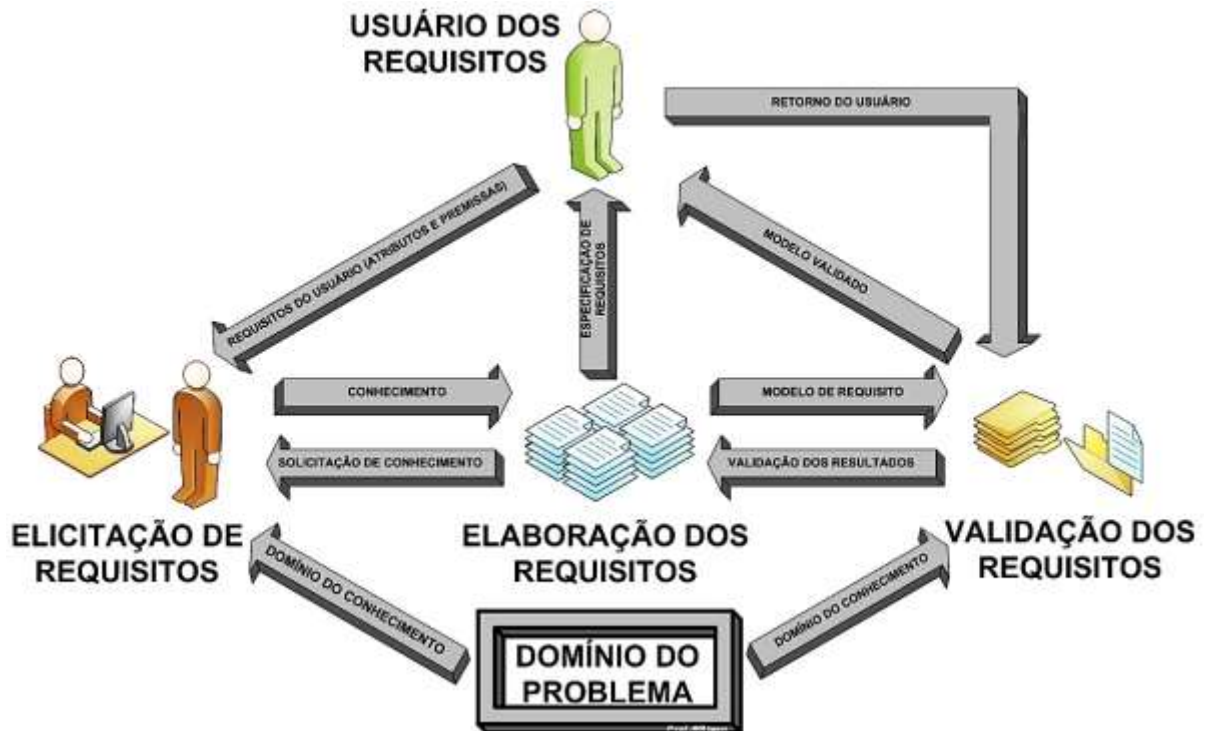
Figura 3 – Principais técnicas de análise em ESR.



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 5 é possível observar a clareza de elicitar, elaborar e validar requisitos envolvendo a equipe de análise, os *Stakeholders* (clientes e usuários). Note a importante contribuição do conhecimento prévio vindo das análises básicas (Grupos A e B) do ambiente no Domínio do Problema.

Figura 5 – Processamento de Requisitos em ESR.



Fonte: Adaptado de Loucopoulos e Karakostas, 1995

Existem inúmeras técnicas para análise de problemas que podem ser aplicadas de diversas formas para deduzir as características de um problema. As análises mais básicas das técnicas de ESR substanciam a compreensão e permitem a elicitação e elaboração de requisitos sobre o conhecimento do problema (Wiltgen, 2022 B; Jarke; Lyytinen, 2015; Houdek; Pohl, 2000). A elicitação é a fase em que as premissas e atributos do problema são coletados e separados para que a equipe possa dar início a elaboração dos requisitos (Mobasher; Cleland-Huang, 2011; Cheng; Atlee, 2007).

A elaboração sintética dos requisitos é de muita importância para obter sucesso na continuidade da validação, no qual são necessários testes teóricos-analíticos que permitem verificar se os requisitos são aplicáveis e consistentes. Fazem parte da etapa inicial de elicitação de requisitos as análises básicas em ESR (*5W2H* e *SWOT*).

Na continuidade deste artigo serão apresentadas as técnicas e metodologias em ESR na mesmo ordem sequências da Figura 4 acompanhando os grupos A, B e C: *5W2H*, *SWOT*, *Waterfall* Expandida; *Espiral de Boehm*, *IDEF0*, *Ishikawa* e Modelo em V.

4.1 Metodologia da Técnica 5W2H

Uma técnica muito simples e útil é a aplicação da metodologia *5W2H* (*What, Why, Who, Where, When, How and How Much*) que é baseada em respostas óbvias a respeito de perguntas muito simples sobre o conhecimento prévio a respeito de um determinado problema (Figura 6). As perguntas constroem um panorama preliminar que permite visualizar as fronteiras do problema. As perguntas O QUÊ, PORQUÊ e QUEM ajudam a determinar do que se trata o problema, as perguntas ONDE e QUANDO determinam a localização temporal do problema, e as perguntas COMO e QUANTO explicitam a forma, e também, os possíveis valores envolvidos.

A aplicação dessa metodologia é muito utilizada em projetos, e a investigação de um problema deve ser interpretada como um projeto em desenvolvimento. E assim, toda e qualquer aplicação das técnicas de ESR servem tanto para entender um problema, quanto para desenvolver um projeto, ou um plano de ação.

A metodologia *5W2H* surgiu no Japão na década de 50 e foi empregada em gestões relativas de planejamento de projetos automotivos no qual surgiram também vários processos de gestão industrial estudados desde então.

O uso da técnica 5W2H permite investigar as possíveis causas de um problema, mas não são definitivas e nem mesmo exatas, são indicativos médios obtidos da somatória dos esforços inicialmente individuais, e posteriormente coletivos de uma equipe inteira de análise. Mesmo assim, são importantes e devem ser realizados no conjunto de análises.

Figura 6 – Técnica 5W2H em ESR.



Fonte: Autor Desconhecido

As aplicações progressivas de técnicas mais robustas no decorrer das análises permitem o amadurecimento do conhecimento a respeito do projeto, problema ou produto.

4.2 Metodologia da Técnica da Matriz de Análises SWOT

Os primórdios do que viria a ser uma Matriz de Análise SWOT teve início na década de 60 com o Prof. Albert S. Humphrey no Instituto de Pesquisas de Stanford. Sua ideia foi aprimorada incluindo o conceito estratégico por dois professores da Universidade Harvard, Prof. Roland Christensen e Prof. Kenneth R. Andrews (Valentin, 2001; Helms; Nixon, 2010; Gürel; Tat, 2017), ver Figura 7.

Figura 7 – Técnica SWOT em ESR.



Fonte: Próprio Autor

O nome dado a metodologia SWOT foi devido aos quatro aspectos analisados pela técnica, e na língua inglesa, que são: *Strength* (Força), *Weakness* (Fraqueza), *Opportunities* (Oportunidade) e *Threat* (Ameaça). Como pode ser visto na Figura 7 (PORTER, 1998; GRANT, 2008).

Essa técnica de análise permite observar quatro aspectos de um problema sob a óptica de quatro dimensões diferentes. No início de sua aplicação apenas as três primeiras dimensões (Propósito, Ambiente Interno e Ambiente Externo) eram observadas e analisadas. A quarta dimensão analisada (Estratégia) foi observada pelo próprio autor desse artigo em suas aulas na disciplina de ESR aplicadas desde 2017.

A primeira dimensão observada é a do “Propósito”, no qual destaca-se o próprio propósito da análise do problema, ou seja, observando os aspectos de Força e Fraqueza, que compõem a dimensão Propósito, é possível entender o que são forças ou fraquezas a respeito do problema. Por exemplo: como forças tem-se os aspectos relevantes para uma intervenção que reduza os efeitos ou as incertezas. E como fraquezas, os aspectos que não ajudam na possível diminuição do problema em análise.

A segunda dimensão é a da análise do “Ambiente Interno”, no qual podem ser identificados os aspectos mais relevantes para uma ação imediata ou planejada com o que se agrega conhecimento, ou seja, observa-se os aspectos de Força e Oportunidade, que compõem a dimensão Ambiente Interno. São as “vantagens” obtidas das experiências e do conhecimento acumulados, e que permitem avançar no conhecimento do problema. Por exemplo: como em Oportunidades no qual aspectos relevantes para serem testados e que no passado obtiveram resultados promissores e que permitem a rápida adaptação.

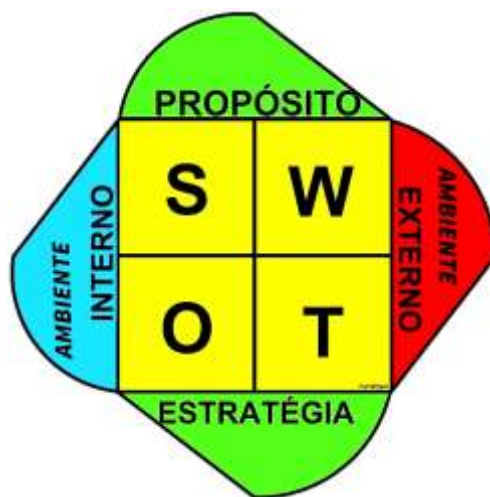
A terceira dimensão é a da análise do “Ambiente Externo”, no qual tem-se pouco ou nenhum controle, visto que são aspectos próprios de um determinado problema os quais podem ser monitorados, mas pouca, ou nenhuma, ação pode ser realmente aplicada com sucesso, ou seja, nesse caso são observados os aspectos Fraqueza e Ameaças, que compõem a dimensão Ambiente Externo. São elementos a serem identificados e monitorados com a finalidade de não permitir que se expandam, e assim, possam piorar os efeitos de um problema. As mudanças no ambiente externo, sempre afetam de maneira homogênea toda a análise do problema. Por exemplo: como Ameaças nos quais aspectos podem ser utilizados a favor de uma possível solução técnica se aplicado na forma de uma estratégia.

A quarta, e última, dimensão de SWOT é a “Estratégia”, no qual existe a oportunidade de mudanças de rumos permitindo escolher estratégias e táticas para o enfrentamento do problema, com conhecimento e ações, ou seja, nesse caso são observados os aspectos de

Oportunidade e Ameaça, que compõe a dimensão Estratégia. São os elementos que irão subsidiar o planejamento de ações efetivas para a obtenção do conhecimento do problema, e assim, ideias de como sanar ou reduzir seus efeitos. Por exemplo: como a análise de oportunidade versus ameaças no sentido de observar os efeitos para a adequação de uma estratégia de conhecimento ou soluções técnicas, e em momentos diferentes da análise. Primeiramente na formulação de táticas de conhecimento, e depois estratégias para testar soluções técnicas, finalmente transformar ameaças em oportunidades.

Na Figura 08 é possível observar as quatro dimensões (Propósito, Ambiente Interno, Ambiente Externo e Estratégia) e os quatro aspectos (Força, Fraqueza, Oportunidade e Ameaça) da análise da matriz *SWOT* conforme foi explicado anteriormente.

Figura 8 – As quatro dimensões de análise dos quatro aspectos de *SWOT* em ESR.



Fonte: Próprio Autor

É importante notar que as dimensões “Propósito” e “Estratégia” estão na cor verde, dado que são sempre benéficas na análise e conhecimento de um problema e passam a ser importantes para seu conhecimento e possíveis soluções. A mesma observação vale para a dimensão “Ambiente Externo” que está na cor vermelha, visto que devem ser identificados e monitorados de perto, pois não se tem controle algum do ambiente externo e mudanças podem impactar muito nas análises. Para a dimensão “Ambiente Interno”, que está na cor azul, como existe forte aspecto de controle e ganho de conhecimento, devem ser aplicadas ações com cautela, e testados efetivamente para sempre determinar e verificar a aderência do conhecimento acumulado com a experiências passadas, e os resultados efetivos obtidos sobre os efeitos do problema em análise.

Ao construir a matriz de análise *SWOT*, unem-se aos quatro aspectos juntos e sobrepostos, os quais permitem visualizar o estado atual da análise, e levantar proposições que

ajudem a obter indicativos e sugestões referentes a tomada de decisões. A análise detalhada e profunda da matriz *SWOT* sempre sugere uma escolha estratégica que pode conduzir a maximização das oportunidades e a minimização das ameaças.

A característica atemporal da matriz *SWOT* torna a análise dinâmica, ou seja, é possível observar e confrontar a situação dos aspectos do passado, e entender a evolução presente e futura. As condições básicas para o sucesso de uma análise *SWOT* são:

- *Visão estratégica para avaliar corretamente os aspectos e as dimensões de análise;*
- *Possuir todos os recursos necessários (Temporal, Humano, Material e Financeiro) para executar as ações;*
- *Reagir e atuar com rapidez e com propósito claro para sempre converter as forças, as fraquezas e as ameaças em oportunidades efetivas.*

4.3 Metodologia da Técnica Waterfall (Cascata Iterativa)

Apesar de parecer absolutamente natural para homens e máquinas, agir na forma sequencial, a técnica *Waterfall* (Cascata) foi desenvolvida para estruturar aplicações na área de computação para ser uma metodologia de desenvolvimento de grandes e complexos programas de computador para projetos de naves espaciais. Foi o professor Winston Walker Royce, que na década de 70 apresentou formalmente e desenhada na forma de um diagrama a técnica *Waterfall* em um artigo científico (Royce, 1970).

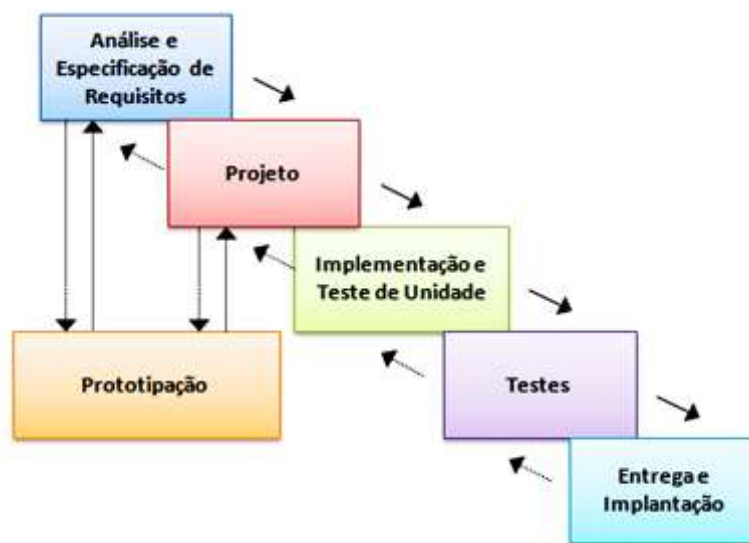
Apesar de existirem controvérsias a respeito da “paternidade” do Prof. Royce, o fato de conter em seu artigo pela primeira vez a forma e com a opção de realizar testes em protótipos (Cascata Iterativa), parece comprovar o domínio do autor sobre a metodologia em questão. A principal dúvida a respeito do seu desenvolvimento surgiu no artigo do Prof. Herbert D. Benington (*Semi-Automatic Ground Environment – SAGE*) do final da década de 50 (BENINGTON, 1956) apresentou a “receita” para realizar o modelo em cascata descrito na forma de um fluxograma e não na forma de um diagrama. Foi sem dúvida uma boa aproximação do que foi feito pelo Prof. Royce, no entanto, sem a forma de um diagrama não prosperou.

O diagrama do Prof. Royce não tinha nome, o termo *Waterfall* foi utilizado pela primeira vez no final da década de 70 no artigo dos professores Thomas E. Bell e Thomas A. Thayer (Bell; Thayer, 1976). Na Figura 9 pode ser observado um exemplo do diagrama da técnica *Waterfall* proposta pelo Prof. Royce.

Note que na verdade foi demonstrado que, embora o desenvolvimento de grandes sistemas de programação exigisse uma abordagem mais completa, havia um risco inerente em uma abordagem sequencial de passagem única. Por isso, o modelo de diagrama proposto foi com uma abordagem iterativa, mais de uma passagem.

O Prof. Royce defendeu que as análises e projetos deveriam ser circulantes ao menos duas vezes para serem eficazes e possuírem o caráter iterativo (Royce, 1970; Bell; Thayer, 1976).

Figura 9 – Técnica *Waterfall* (Cascata Iterativa) em ESR.



Fonte: Autor Desconhecido

Muito embora o modelo em cascata utilize um processo do tipo passo a passo em série, é essa estrutura simples e rígida que faz com que o processo seja preciso. A estrutura limitada do modelo em cascata iterativo com a fase de prototipação foi desenvolvida com ênfase na flexibilidade de forma disciplinar. Isso cria um ambiente de desenvolvimento e análise no qual os projetos prosperam de acordo com os cronogramas estruturados e permitem a capacidade de resposta fluida aos problemas.

3.4 Metodologia da Técnica Modelo em Espiral de Boehm (Análise de Risco)

O modelo em espiral de Boehm, foi desenvolvido pelo Prof. Barry Boehm (Boehm, 1988) na década de 80 com a finalidade de ajudar no desenvolvimento de programas de computador de forma incremental no qual integra o gerenciamento de risco em cada uma das fases de interação (ciclos) na forma de uma espiral, representado na Figura 10 (Boehm, 2000; Boehm; Hansen, 2001; Nilsson; Wilson, 2012).

Observe na Figura 10 que a espiral é dividida em quatro diferentes setores (Objetivos, Riscos, Desenvolvimento & Testes e Planejamento) e os dois eixos são chamados de X (Revisão) e Y (Progresso).

Cada novo ciclo na espiral representa uma determinada fase do processo. Portanto, a parte mais interna da espiral, que na verdade é o início da técnica, está relacionado à viabilidade e a concepção, o próximo ciclo é a definição e elicitação de requisitos (Wiltgen, 2020; Wiltgen, 2022 D), o próximo ciclo com a análise ou projeto e assim por diante.

O modelo em espiral combina prevenção de mudanças com tolerância de mudanças (Boehm; Hansen, 2001). O modelo em espiral assume que as mudanças que ocorrem a cada ciclo são resultados dos riscos inerentes à análise de um determinado projeto ou problema, o que inclui as atividades explícitas para o gerenciamento de risco com o intuito de conseguir reduzir esses riscos.

Figura 10 – Técnica Espiral de *Boehm* de ESR.



Fonte: Adaptado de Boehm, 1998 e 2000

A principal diferença entre o modelo em espiral é o seu reconhecimento explícito do risco. Como os riscos são situações, ou possíveis eventos, que podem atrapalhar os objetivos planejados, podem variar em níveis de impacto, de trivial até catastrófico. Um plano de gerenciamento de risco enumera os riscos e os prioriza em grau de importância, medida por uma combinação do impacto e da probabilidade de cada um ocorrer. Para cada risco, o plano também estabelece uma estratégia de mitigação para lidar com o risco, reduzi-lo ou evitá-lo.

A aplicação do modelo espiral de Boehm deve ser a fase de análise de um problema relacionado ao impacto dos riscos. Dessa forma, faz parte do domínio do problema avaliar os

riscos para cada situação do problema e determinar as ações a serem implementadas conforme a análise.

3.5 Metodologia da Técnica IDEF0

A metodologia IDEF0 foi desenvolvida pelo Prof. Douglas T. Ross (Ross, 1977) com a finalidade de ajudar em decisões, ações e atividades de uma organização ou sistema. Foi derivado da linguagem de modelagem gráfica estabelecida na técnica conhecida como *Structured Analysis and Design Technique* (SADT).

A técnica IDEF0 é um acrônimo de *Icam DEFinition for Function Modeling*, derivado do ICAM que é um acrônimo de *Integrated Computer Aided Manufacturing* (IDEF0 Standard, 1993; Ross, 1977; Presley; Liles, 1995; Waissi et al., 2015; Šerifi et al., 2009; Menzel; Mayer, 2005; Buede, 1997).

Em sua forma original, a modelagem *IDEF0* inclui a definição de uma linguagem na forma gráfica (sintaxe e semântica) e uma descrição na forma de uma metodologia abrangente para o desenvolvimento de modelos. A Força Aérea dos EUA solicitou aos projetistas do sistema SADT desenvolver um novo método capaz de analisar e comunicar de forma visual e clara a perspectiva funcional de um sistema completo. O *IDEF0* foi projetado para auxiliar na organização da análise de projetos e promover uma comunicação eficaz entre os analistas e os usuários por meio de dispositivos gráficos simplificados e objetivos, como pode ser observado na Figura 11.

O diagrama de bloco de fluxo funcional do *IDEF0* é usado para mostrar o comportamento do fluxo de dados de cada atividade, permitindo representar graficamente uma ampla variedade de problemas em qualquer nível de detalhe, fornecendo uma descrição rigorosa e precisa, que promove a consistência de uso gráfico interpretativo.

A metodologia *IDEF0* foi testada e comprovada por muito tempo pelo governo, e pela indústria privada, além de permitir ser gerado por uma variedade de ferramentas de computação gráfica disponíveis.

Na Figura 11 é possível observar que todas as atividades (blocos) inseridas no IDEF0, independentes de serem atividades pais ou filhos, possuem quatro ações de dependência (Entradas, Saídas, Controles e Mecanismos (Ferramentas)) que compõem o fluxo de dados funcional. São essas ações que permitem rastrear o fluxo de informações de dependência entre as atividades que compõem um projeto ou um determinado problema. Esse processo leva ao conhecimento amplo do problema analisado.

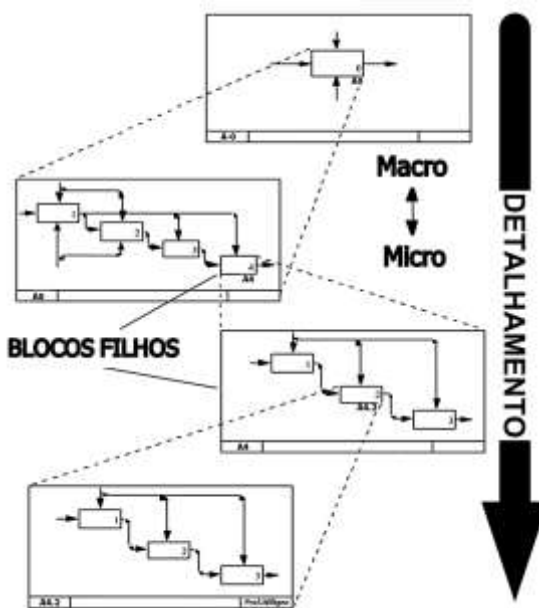
Figura 11 – Técnica *IDEF0* em ESR.



Fonte: Autor Desconhecido

A utilização da metodologia *IDEF0* permite detalhar estruturadamente um problema, iniciando sempre da atividade principal, chamada de bloco pai, e subdividindo em diversas outras atividades chamadas de blocos filhos. Esse formato permite progredir no conhecimento do problema uma vez que a cada novo detalhamento a análise pode ser mais precisa, e mostrar de forma explícita as interligações e interdependências em todos os estágios e atividades do nível macro até o nível micro (Ross, 1977), como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Hierarquia da Técnica *IDEF0* em ESR.



Fonte: Próprio Autor

Na Figura 12 tem-se a hierarquização da metodologia *IDEF0* no qual a cada novo nível de detalhamento as atividades de cada nível são desenhadas em blocos em um quadro. Note que a cada novo quadro, existe um novo aprofundamento no detalhamento. Atividades pais geram atividades filhos, e assim, sucessivamente a cada novo nível hierárquico inverso, ou seja, do sistema completo (macro) até cada componente (micro).

A equipe de análise precisa ser cuidadosa para encontrar todas as dependências corretas entre cada atividade do *IDEF0*, além do nível de detalhamento das atividades micro que sejam necessárias para o conhecimento e entendimento completo e amplo de um problema.

O *IDEF0* quando concluído permite avançar na análise expandindo o entendimento das dependências no formato causa e efeito utilizando técnicas como *Ishikawa* (Ishikawa, 1986), a ser discutida e apresentada no próximo tópico deste artigo.

A aplicação da metodologia *IDEF0* ajuda a analisar o problema todo, e em pequenas ou diminutas partes, de forma simples, clara, objetiva e estruturada para cada atividade e respectivas ações.

3.6 Metodologia da Técnica Ishikawa (Causa & Efeito, Espinha de Peixe ou 6“Ms”)

O diagrama *Ishikawa*, também conhecido como diagrama Causa & Efeito, Espinha de Peixe (*Fishbone*) ou 6 "Ms" é uma ferramenta de análise capaz de identificar de forma sistemática os efeitos (consequências) e suas respectivas causas (origens). Essa técnica foi desenvolvida durante as décadas de 40 a 60 pelo Prof. Kaoru Ishikawa (Ishikawa, 1986) matemático e estatístico responsável pelo controle de qualidade na indústria japonesa *Kawasaki Steel*. O diagrama *Ishikawa* representa principalmente um modelo na forma de tópicos para as correlações entre um evento (efeito) e suas múltiplas causas. A estrutura fornecida pelo diagrama auxilia os membros da equipe de análise a pensarem de maneira amplamente sistemática (Ishikawa, 2012; Watson, 2004).

Alguns dos principais benefícios na utilização de um diagrama *Ishikawa* é na ajuda em determinar as causas raízes de um problema usando uma abordagem estruturada que incentiva a participação da equipe e utiliza o conhecimento do processo estabelecendo um tratamento de prioridades, identificando as áreas nas quais os dados devem ser coletados para estudos aprofundados (Ilie; Ciocoiu, 2009; Hillson, 1997).

O desenho do diagrama se parece muito com o esqueleto de um peixe, o que sem dúvida é engenhosamente simples. A representação do diagrama *Ishikawa* é através de segmentos de linha que se inclinam sobre um eixo horizontal, sugerindo a distribuição das múltiplas causas que as produzem podendo inclusive se subdividir em outras causas, e assim, outras linhas

sucessivamente aumentando a complexidade e o conhecimento a respeito do problema (Hillson, 1997). Na Figura 13 existe uma ilustração didática do diagrama de *Ishikawa* na forma de um esqueleto de peixe. O diagrama *Ishikawa* pode analisar os riscos que caracterizam as causas e sub-causas, com elementos que mostram uma sucessão de formas diferentes para tratar os riscos locais e determinar o risco global.

A técnica de *Ishikawa* pode ser usada para efetivamente desmembrar qualquer problema em uma matriz de relações causais. Apresenta melhores resultados quando utilizado na identificação de causa, uma vez que existe clara definição do problema em que uma equipe com vários indivíduos pode fornecer sugestões e opiniões sobre a natureza dos fatores causais mais influentes levando ao efeito ou problema geral observado (Ishikawa, 1986; Ilie; Ciocoiu, 2009).

Figura 13 – Técnica *Ishikawa* (6”Ms”) de ESR.



Fonte: Adaptado de Ishikawa, 1986

A metodologia *Ishikawa* deve ser usada para considerar todas as causas potenciais e não apenas as triviais. É importante notar que os diagramas de causa e efeito são ferramentas estruturadas de debate de ideias (*brainstormings*) no qual a equipe precisa coletar dados para verificar quais causas potenciais são a contribuição real para o problema.

3.7 Metodologia da Técnica do Modelo em V

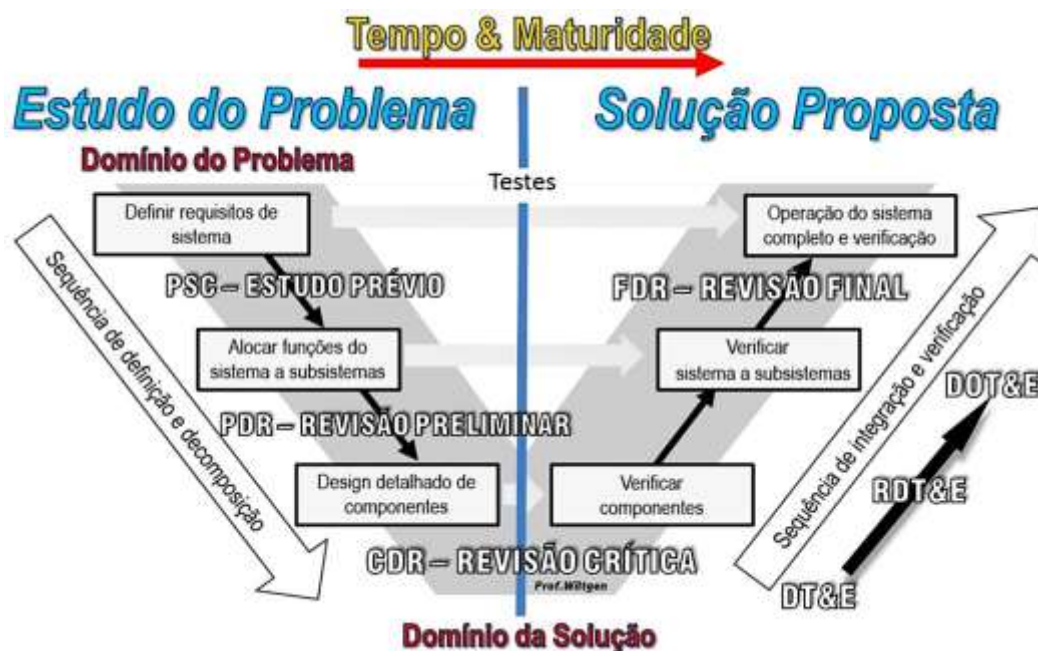
Essa técnica famosa e muito difundida de ESR foi desenvolvida na década de 80, mas os primórdios do modelo em V são da década de 70. O modelo em V foi pela primeira vez apresentado na forma que tem hoje pelo Prof. Paul Rook (Rook, 1986) e as aplicações mais relevantes surgiram ao mesmo tempo em dois países diferentes uma década depois. A história diz que a *National Council on Systems Engineering* (NCOSE depois chamado de INCOSE) nos EUA em 1991 apresentou o modelo em V como técnica para desenvolvimento de sistemas de

satélites. Quase no mesmo período, a companhia IABG (*Industrieanlagen-Betriebsgesellschaft mbH*) uma empresa alemã de análise e testes em engenharia em cooperação com o ministério de defesa alemão apresentou em 1992 uma aplicação militar do modelo em V (Yadav, 2012; Haberfellner *et al.*, 2019; Buede, 1997).

O modelo em V é uma técnica de modelagem de sistemas projetado para simplificar a compreensão da complexidade intrínseca associada ao desenvolvimento de projetos em engenharia de sistema. Essa técnica é uma evolução do modelo *Waterfall*. O modelo em V demonstra as relações entre cada fase de desenvolvimento e a respectiva fase associada aos testes. É um método bem estruturado no qual cada fase do desenvolvimento pode ser implementada seguindo o detalhamento documentado da fase anterior. O objetivo do modelo em V é melhorar a eficiência e a eficácia do desenvolvimento de projetos (INCOSE, 2015; DoD, 2001; NASA, 2018).

Na Figura 14 é possível observar o modelo em V detalhado, contendo as informações a respeito dos relatórios de progresso da maturidade tecnológica, ambientes do domínio do problema e da solução, além dos ensaios de integração.

Figura 14 – Modelo em V em ESR.



Fonte: Próprio Autor

É caracterizado pelo formato da letra V representando os elementos individuais de processos estruturados de acordo com sua posição temporal relativa e a profundidade de detalhes do projeto. O lado esquerdo descendente do V representa o “Domínio do Problema” e as etapas relativas ao conhecimento do problema na forma de requisitos que permitem realizar

iterações crescentes no detalhamento do sistema, subsistema e componente (Wiltgen, 2020; Wiltgen, 2022 D; Gräßler, 2017; Gräßler, 2018; Mathur; Malik, 2010; Forsberg; Mooz, 1991; Buede, 2009; Gorod *et al.*, 2008). Com isso aumentando e obtendo o nível de maturidade, consolidando os relatórios de comprovação de progresso. O lado direito crescente do V representa o “Domínio da Solução” com a integração dos componentes em subsistemas e em sistemas, através dos resultados da realização de testes de desenvolvimento (*RDT&E*), tanto em ambiente controlado (*DT&E*), quanto em ambiente relevante em campo (*DOT&E*), conforme apresentado na Figura 2.

Conforme pode ser observado na Figura 14, diversas são as etapas contidas no modelo em V, as quais muitas implícitas na forma estruturada de evolução contínua do desenvolvimento do projeto, o que permite o acompanhamento e consequentemente perseguir os objetivos e metas a serem alcançados. Como as metas são documentadas em relatórios (*PSC*, *PDR*, *CDR* e *FDR*) isso permite avaliar o nível de maturidade obtido em cada etapa (Wiltgen, 2022 C; Wiltgen, 2022 B; Wiltgen, 2022 D).

Observe que dos quatro principais relatórios de desenvolvimento em ESR aplicados no modelo em V e apresentados na Figura 14, que três desses relatórios estão concentrados no ambiente do Domínio do Problema e por razões óbvias. É nesse ambiente de desenvolvimento que está o crescimento do conhecimento do problema que permitirá extrair da equipe de análise as melhores soluções técnicas para “atacar” o problema no domínio da solução. Os relatórios são uma passagem acordada entre as equipes de desenvolvimento, análise, usuários e *Stakeholders*. Esses relatórios permitem verificar tudo que foi realizado até a presente data de entrega do mesmo, e assim, concedendo a continuação do desenvolvimento.

O relatório de “Estudos Prévios” (*PSC – Preferred System Concept*) apresenta o problema e seu contorno com a finalidade de elaborar uma estratégia para obter requisitos que permitam testar hipóteses e melhorar o entendimento do problema. O relatório de “Revisão Preliminar” (*PDR – Preliminary Design Review*) é responsável pela estruturação prévia do problema que levará a propostas de soluções para o problema. O relatório de “Revisão Crítica” (*CDR – Critical Design Review*) apresenta a passagem entre os ambientes do domínio do problema para o domínio da solução, é um dos principais marcos do modelo em V. Este relatório conduz todo o conhecimento adquirido do problema pelos testes e suas devidas análises. Concluindo assim, o domínio do problema e permitindo prosseguir para a integração que levará ao teste e escolha de uma, entre várias soluções técnicas disponíveis conforme o conhecimento do problema (WILTGEN, 2020).

5 DISCUSSÃO E CONCLUSÃO

É fato que a solução de um problema, necessita de um profundo conhecimento a respeito do problema para obter soluções eficazes e duradouras. Na Engenharia de Sistemas & Requisitos (ESR) as estratégias e táticas para realizar os estudos, testes e análises de problemas faz parte de um conjunto de ferramentas na forma de aplicação de técnicas que conduzem os desenvolvimentos no caminho de soluções técnicas melhores e que permitem encontrar os mínimos globais de um problema, e propor soluções técnicas robustas.

O presente estudo mostra um conjunto de metodologias capazes de ajudar no aprofundamento do conhecimento do problema, permitindo que equipes possam discutir ideias e elaborar planejamentos para suas execuções e tomadas de decisões.

Foram apresentadas técnicas de ESR que permitem as equipes de análises de problemas, no ambiente do Domínio do Problema, levantar hipóteses, elicitar requisitos, escrever requisitos claros e objetivos, realizar testes, analisar resultados, observar os efeitos e encontrar as suas causas. E tudo isso de forma estruturada, com progressivo conhecimento e complexidade de detalhamento que permite ações comprobatórias a respeito da absorção de conhecimento sobre o problema em análise.

Cada técnica apresentada possui uma abordagem para sua aplicação no domínio do problema seguindo a ESR, e sua apresentação na sequência descrita no estudo tem a função de progressivamente aumentar a complexidade de análise no qual a composição final é um resultado de todas as técnicas aplicadas em conjunto.

Durante os últimos anos tem-se observado uma necessidade crescente de análise de problemas mais complexos no mundo os quais técnicas tradicionais e separadas não são capazes de obter o contorno real desses problemas não permitindo o conhecimento necessário para ações eficazes.

A aplicação das técnicas de ESR podem ser o início do caminho para melhorar a atuação em problemas complexos, possivelmente com a evolução dessas técnicas, ou mesmo, de outras metodologias para abordar e contemplar melhores formas de solucionar problemas que permitam melhores análise e soluções técnicas.

Na engenharia e na ciência entender problemas e encontrar soluções é o dia a dia que proporciona a evolução na inovação em tecnologia e no conhecimento da fronteira em pesquisa científica.

REFERÊNCIAS

- Benington, H.D. Production of Large Computer Programs. **Proceedings ONR Symposium**. p.01-19, 1956.
- Bell, T. E.; Thayer, T. A. Software Requirements: Are they Really a Problem?. **Proceedings of the 2nd International Conference on Software Engineering**. IEEE Computer Society Press. p.62-68, 1976.
- Boehm, B. W. A Spiral Model of Software Development and Enhancement. **Computer**. v.21, p.61-72, 1988.
- Boehm, B. Spiral Development: Experience, Principles, and Refinements. **USC LA SPIN Presentation**, June 28, p.1-34, 2000.
- Boehm, B.; Hansen, W. J. The Spiral Model as a Tool for Evolutionary Acquisition. **Crostalk The Journal of Defense Software Engineering**, p.01-16, 2001.
- Buede, D.M. Developing Originating Requirements: Defining the Design Problem. **IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems**. v.33(2), p.596-609, 1997.
- Buede, D. M. The Engineering Design of Systems - Models And Methods. Second Edition, **John Wiley & Sons**, 2009. 524p.
- Cheng, B. H.; Atlee, J. M. Research Directions in Requirements Engineering. **International Conference on Software Engineering**, IEEE Computer Society, p.1-14, 2007.
- DoD System Engineering Fundamentals (Department of Defense – DoD 22060-5565). **Defense Acquisition University Press Fort Belvoir**, Virginia, 2001. 223p.
- Fabrycky, W. J. Evaluation in Systems Engineering. Article E1.28.04.05 in the **UNESCO Encyclopedia of Life Support Systems**, EOLSS Publishers, p.1-21, 2003.
- Fabrycky, W. J. Systems Engineering: Its Emerging Academic and Professional Attributes. **Proceedings ASEE Annual Conference and Exposition**, Louisville, KY, June 21-23, p.15.1162.1-15.1162.17, 2010.
- França Jr., J. A. The Coordination of Complex Product Systems Projects: A Case Study of an R&D Multi-Party Alliance. **International Journal of Innovation Management**. v.23(03), p.01-20, 2018.
- França Jr, J. A.; Galdino, J. F. Gestão de Sistemas de Material de Emprego Militar: O Papel dos Níveis de Prontidão Tecnológica. **Coleção Meira Mattos, Rev. Ciências Militares**. v.13(47), p.155-176, 2019.
- Goguen, J.; Linde, C. Techniques for Requirements Elicitation. **International Symposium on Requirements Engineering IEEE Recommended Practice for Requirements Specifications**, p.01-14, 1998.
- Gorod, A.; Sausser, B.; Boardman, J. System-of-Systems Engineering Management: A Review of Modern History and a Path Forward. **IEEE Systems Journal**. v.2(04), p.484-499, 2008.
- Gräßler, I. A **New V-Model for Interdisciplinary Product Engineering**. 59th Ilmenau Scientific Colloquium, Technische Universität Ilmenau, 11-15 September, p.1-6, 2017.
- Gräßler, I; HENTZE, J.; BRUCKMANN, T. **V-Models for Interdisciplinary Systems Engineering**. International Design Conference, p.1-10, 2018.
- Grant, R. M. Why Strategy Teaching Should Be Theory Based. **Journal of Management Inquiry**, v.17(04), p.276-281, 2008.

- Gürel, E.; Tat, M. SWOT Analysis: A Theoretical Review. **Journal of International Social Research**, v.10(51), p.994-1006, 2017.
- Haberfellner, R.; Weck, O.; Fricke, E.; Vössner, S. Systems Engineering Fundamentals and Applications. **Spring**, 2019. 458p.
- Hampton, J. A. Testing the Prototype Theory of Concepts. **Journal of Memory and Language**, v.34, p.686-708, 1995.
- Helms, M. M.; Nixon, J. **Exploring SWOT Analysis – Where are we Now?**. Journal of Strategy and Management, v.3(03), p.215-251, 2010.
- Hillson, D. Towards a Risk Maturity Model. **The International Journal of Project & Business Risk Management**, v.1(01), p.35-45, 1997.
- Houdek, F.; Pohl, K. Analyzing Requirements Engineering Processes: A Case Study. **Proceedings of the 11th International Workshop on Database and Expert Systems Applications**, Greenwich, UK, 6-8 September, p.983-987, 2000.
- IDEF0 STANDARD Announcing the Standard for Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). **Federal Information Processing Standards Publication** (183), 1993. 128p.
- Ilie, G.; Ciocoiu, C. N. Application of Fishbone Diagram to Determine the Risk of an Event with Multiple Causes. **Knowledge Management Research & Practice**, v.2(01), p.1-20, 2009.
- INCOSE Systems Engineering Handbook: A Guide for System Life Cycle Processes and Activities (INCOSE-TP-2003-002-04). Version 4, **Wiley**, 2015. 304p.
- Ishikawa, K. Guide to Quality Control. **Tokyo: Asian Productivity Organization**, 1986. 225p.
- Ishikawa, K. Introduction to Quality Control. **Springer**, 2012. 435p.
- Jarke, M.; Lyytinen, K. Complexity of Systems Evolution: Requirements Engineering Perspective. **ACM Transactions on Management Information System**, v.5(03), p.11.1-11.7, 2015.
- Lee, Y.; Zhao, W. Domain Requirements Elicitation and Analysis - An Ontology-Based Approach. **ICCS**, Part IV, LNCS, p.805-813, 2006.
- Loucopoulos, P.; Karakostas, V. System Requirements Engineering. **McGraw-Hill**, 1995. 160p.
- Madhavji, N. H.; Holtje D.; Hong W.; Bruckhaus, T. Elicit: A Method for Eliciting Process Models. **Proceedings CAS Conference**, Toronto, Canada, 31 October, 3 November, p.1-12, 1994.
- Martin, S.; Aurum, A.; Jeffery, R.; Paech, B. Requirements Engineering Process Models in Practice. **AWRE**. p.141-155, 2002.
- Mathur, S.; Malik, S. Advancements in the V-Model. **International Journal of Computer Applications**. v.1(12), p.29-34, 2010.
- Menzel, C.; Mayer, R. J. The IDEF Family of Languages. **Handbook on Architectures of Information Systems**, p.209-241, 2005.
- Mobasher, B.; Cleland-Huang, J. Recommender Systems in Requirements Engineering. **AI MAGAZINE**, p.81-89, 2011.
- Naikar, N.; Sanderson, P. M. Evaluating Design Proposals for Complex Systems with Work Domain Analysis. **Human Factors**, p.529-542, 2001.
- NASA Nasa Systems Engineering Handbook. **Revision 2 SP-6105**, 2018. 298p.

Nilsson, A. H.; Wilson, T. L. Reflections on Barry W. Boehm's - A Spiral Model of Software Development and Enhancement. **Int. Journal of Managing Projects in Business**. v.5(04), p.737-756, 2012.

Porter, M. E. Competitive Strategy: Techniques for Analyzing Industries and Competitors. **Free Press**. 1998. 432p.

Presley, A.; Liles, D. H. The Use of IDEF0 for the Design and Specification of Methodologies. **Proceedings of the 4th Industrial Engineering Research Conference**, Nashville, p.01-07, 1995.

Rook, P. Controlling Software Projects. **Software Engineering Journal**. p.7-16, 1986.

Ross, D. T. Structured Analysis (SA): A Language for Communicating Ideas. **IEEE Transactions On Software Engineering**, v.3(01), p.16-34, 1977.

Royce, W. W. Managing the Development of Large Software Systems. **IEEE WESCON**, p.01-09, 1970.

Sauser, B. J.; Gove, R.; Forbes, E.; Ramirez-Marquez, J. E. Integration Maturity Metrics: Development of an Integration Readiness Level. **Information Knowledge Systems Management**, v.9(01), p.17-46, 2010.

Šerifi, V.; Dašić, P.; Ječmenica, R.; Labović, D. Functional and Information Modeling of Production Using IDEF Methods. **Journal of Mechanical Engineering**. v.55(02), p.131-140, 2009.

Straub, J. In Search of Technology Readiness Level (TRL) 10. **Aerospace Science and Technology**, v.46, p.312-320, 2015.

Sutcliffe, A.; Maiden, N. The Domain Theory for Requirements Engineering. **IEEE Transactions on Software Engineering**. v.24(03), p.174-196, 1998.

Tahera, K.; Wynn, D. C.; Earl, C.; Eckert, C. M. Testing in the Incremental Design and Development of Complex Products. **Research in Engineering Design**, 2018.

Ulrich, K. T.; Eppinger, S. D. Product Design and Development. **McGraw-Hill**, 2000. 433p.

Valentin, E. K. SWOT Analysis from a Resource-Based View. **Journal of Marketing Theory and Practice**, v.9(02), p.54-69, 2001.

Yadav, R. S. Improvement in the V-Model. **International Journal of Scientific & Engineering Research**. v.3(02), p.01-08, 2012.

Waissi, G. R.; Demir, M.; Humble, J. E.; Lev, B. Automation of Strategy using IDEF0 - A Proof of Concept. **Operations Research Perspectives**. v.2, pp.106-113, 2015.

Watson, G. The Legacy of Ishikawa. **Quality Progress**, v.37(04), p.54-47, 2004.

Wiltgen, F. Técnicas de Ensaio de Sistemas Complexos com Metodologia de Engenharia de Sistemas & Requisitos. **Interfaces Científicas – Exatas e Tecnológicas**. v.4(01), p.51-60, 2020.

Wiltgen, F. Protótipos e Prototipagem Rápida Aditiva - Sua Importância no Auxílio do Desenvolvimento Científico e Tecnológico. **Engenharia - Construção de Conhecimentos** (ISBN: 978-65-84599-44-4). Uniesmero. Cap.3, p.36-47, 2022 A.

Wiltgen, F. Fabricação de Protótipos para Testes Experimentais. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.14(02), p.09-22, 2022 B.

Wiltgen, F. Prototypes are Important. **Transformation**. v.4(115), p.109-125, 2022 C.

Wiltgen, F. Projetos Baseados em Requisitos. **Revista de Engenharia e Tecnologia**. v.14(01), p.240-251, 2022 D.

Zowghi, D.; Coulin, C. **Requirements Elicitation: A Survey of Techniques, Approaches, and Tools**. Engineering and Managing Software Requirements, Springer: Germany, p.19-46, 2005.