UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

UM MÉTODO PARA ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS UTILIZANDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Yure Ouriques Oliveira

Orientador
Gleison dos Santos Souza

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2017

UM MÉTODO PARA ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS UTILIZANDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Yure Ouriques Oliveira

DISSERTAÇÃO APRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE PELO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (UNIRIO). APROVADA PELA COMISSÃO EXAMINADORA ABAIXO ASSINADA.

Aprovada por:

_____

Gleison dos Santos Souza, D.Sc (Orientador) – UNIRIO

_____

Claudia Cappelli Aló, D.Sc – UNIRIO

_____

Cristina Teles Cerdeiral, D.Sc – UNIRIO

_____

Marcos Kalinowski, D.Sc – PUC-Rio

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
SETEMBRO DE 2017

Oliveira, Yure Ouriques
O48 Um método para análise de causa e resolução de problemas utilizando a Teoria das Restrições / Yure Ouriques Oliveira. -- Rio de Janeiro, 2017.
228 f

Orientador: Gleison dos Santos Souza.
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Programa de Pós-Graduação em Informática, 2017.

1. Análise de Causa Raiz. 2. Resolução de Problemas. 3. Teoria das Restrições. 4. Processos de Pensamento. 5. TOC. I. Souza, Gleison dos Santos, orient. II. Título.

À minha família que sempre torceu pelo meu sucesso.

AGRADECIMENTOS

A Deus por ter me concedido, além de saúde e sabedoria, a força e a determinação necessárias para superar os momentos de dificuldade e de cansaço, e por me permitir concluir mais esta etapa na minha vida.

Aos meus pais, Helder e Marise, por estarem sempre ao meu lado me apoiando nos momentos de dificuldade. Pelos conselhos e orações da minha mãe. Por tudo que eles abdicaram, e ainda abdicam, em prol da minha educação e da minha irmã. Pela compreensão nos momentos em que estive ausente e pelo amor incondicional que têm por mim.

À minha irmã, Mariana, pelo carinho e amizade que, mesmo à distância, não deixam de existir. Pela disposição em me ouvir e me ajudar sempre que preciso.

À minha noiva, Nayanna, pelo amor e pela tranquilidade que me passou durante este período de estudo. Por compreender a minha ausência e estar sempre ao meu lado. Pelo companheirismo e por me ajudar a ser uma pessoa melhor.

Ao meu orientador, Gleison, pelos ensinamentos e pelos conselhos transmitidos ao longo do mestrado. Pela dedicação e perfeccionismo empregado em suas revisões, sempre em busca do melhor. Pela visão crítica que me fez amadurecer como pesquisador e profissional.

Ao Bruno por contribuir com a execução do estudo de viabilidade, pela paciência e pelo tempo dedicado em busca de um estudo bem feito.

Aos colegas do grupo de pesquisa do PPGI que buscaram contribuir com este trabalho nos diversos seminários realizados e pelos conhecimentos compartilhados no decorrer do mestrado. Em especial Douglas, Rafaela, Mônica, Diego, Raphael, Eliezer, Bianca, Cristina, Denize, Ana Patrícia, que me acompanham desde o início desta pesquisa.

Aos membros da banca Cristina, Cláudia e Marcos que aceitaram o convite prontamente e pela contribuição à pesquisa.

A todos que torceram e colaboraram com esta pesquisa, muito obrigado!

OLIVEIRA, Yure Ouriques. **Um método para análise de causa e resolução de problemas utilizando a Teoria das Restrições.** UNIRIO, 2017. 214 páginas. Dissertação de Mestrado. Departamento de Informática Aplicada, UNIRIO.

RESUMO

Diversas situações indesejadas podem ser observadas ao longo de um projeto de desenvolvimento de software, incorrendo em diferentes tipos de problemas. Problemas de menor complexidade podem ser resolvidos pontualmente, ou por meio de técnicas de análise de causa mais simples, demandando um baixo esforço de análise. Problemas de maior complexidade, que eventualmente afetem outros projetos, são de difícil inferência e demandam um esforço maior de análise por meio de técnicas mais complexas. Além disso, nem sempre todos os fatores que causam um problema complexo têm o mesmo grau de impacto na causa raiz do problema. Saber identificar de maneira correta a verdadeira causa raiz dos problemas é fundamental para evitar a recorrência em projetos futuros.

Com o propósito de auxiliar a análise de causa e resolução de problemas, nesta dissertação foi criado um método que utiliza o processo de raciocínio humano de forma a reduzir o viés dos envolvidos com a análise durante a fase de identificação da causa raiz, considera a validação dos relacionamentos de causa e efeito estabelecidos, e direciona o tratamento das causas identificadas. A fim de alcançar estes objetivos, os Processos de Pensamento da Teoria das Restrições são utilizados durante as tarefas do método proposto, denominado CARTOC. Este método foi avaliado por um estudo de viabilidade que constatou a sua aplicabilidade, assim como a viabilidade dos Processos de Pensamento no contexto da análise de causa e resolução de problemas.

Palavras-chave: Análise de Causa Raiz, Resolução de Problemas, Teoria das Restrições, Processos de Pensamento, TOC.

ABSTRACT

Several undesired situations can be observed in a software development project, including different types of problems. Less complex problems can be solved punctually, or by applying simple Cause Analysis techniques which typically requires a low analysis effort. Problems of greater complexity, which occasionally affect other projects, are difficult to infer and require more extensive analysis effort possibly using more complex techniques. In addition, not all factors that cause a complex problem have the same degree of impact on the root cause of the problem. Knowing how to properly identify the root cause of the problem is critical to avoid its recurrence.

This dissertation presents a method that structures the process of human reasoning in order to reduce the bias of those involved with the analysis during the root cause identification phase, validate established cause and effect relationships, and direct treatment of the identified causes. In order to achieve these objectives, the Thinking Processes of the Theory of Constraints are used in proposed method, called CARTOC. This method was evaluated by a feasibility study that verified its applicability as well as the viability of Thinking Processes in the context of cause analysis and problem solving.

Keywords: Root Cause Analysis, Problem Resolution, Theory of Constraints, Thinking Process, TOC.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO 1
1.1. Motivação 1
1.2. Objetivo 4
1.3. Estratégia de Pesquisa 5
1.4. Organização da Dissertação 7
2. ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS 9
2.1. Introdução 9
2.2. Normas e Modelos de Maturidade 10
2.2.1 ISO/IEC 33020 11
2.2.2 ISO/IEC 12207 11
2.2.3 CMMI-DEV 12
2.2.4 MR-MPS-SW 13
2.3. Técnicas aplicadas no âmbito da Análise de Causa e Resolução de Problemas 14
2.3.1 Diagrama de Ishikawa 14
2.3.2 Brainstorming 15
2.3.3 Gráfico de Pareto 16
2.3.4 Five Whys 17
2.4. Análise de Causa Raiz em Engenharia de Software 18
2.4.1 Abordagem para a Identificação de Causas de Problemas utilizando Grounded Theory 18
2.4.2 Abordagem DPPI 20
2.4.3 Reunião de Post Mortem 22
2.5. Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas 24
2.5.1 Descrição das etapas e práticas obrigatórias 26
2.5.2 Descrição das etapas e práticas recomendadas 31
2.6. Considerações Finais 33
3. TEORIA DAS RESTRIÇÕES 34
3.1 Introdução 34

3.2 Teoria das Restrições 35
3.3 Processos de Pensamento 38
3.3.1 Árvore da Realidade Atual (ARA) 39
3.3.2 Evaporação das Nuvens (EN) 40
3.3.3 Árvore da Realidade Futura (ARF) 41
3.3.4 Árvore de Pré-Requisitos (APR) 41
3.3.5 Árvore de Transição (AT) 41
3.4 Trabalhos Relacionados 42
3.5 Considerações Finais 43
4. MÉTODO PARA ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS UTILIZANDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES 45
4.1 Introdução 45
4.2 Método CARTOC 48
4.3 Definir Problema para Análise 52
4.3.1 Elaborar Planejamento para Análise 52
4.3.2 Coletar Indícios do Problema 53
4.4 Analisar e Identificar as Causas Raiz 53
4.4.1 Desenvolver Diagrama de Causa 53
4.4.2 Avaliar Diagrama de Causa 54
4.4.3 Identificar Causa Raiz 55
4.5 Propor e Priorizar Soluções 55
4.5.1 Elaborar Proposta de Solução 56
4.5.2 Analisar Proposta de Solução 56
4.5.3 Priorizar Soluções Propostas 57
4.5.4 Elaborar Plano de Ação 57
4.6 Encerrar Execução do Método 57
4.6.1 Reportar Resultados Obtidos 58
4.6.2 Registrar Artefatos 58
4.6.3 Registrar Lições Aprendidas 58
4.7 Considerações Finais 59
5. AVALIAÇÃO DO MÉTODO 61

5.1 Introdução 61
5.2 Estudo de Viabilidade 62
5.3 Projeto do Estudo 62
5.4 Planejamento 64
5.5 Execução 65
5.6 Análise e Interpretação dos Dados 72
5.7 Lições Aprendidas 77
5.8 Considerações Finais 79

6. CONCLUSÃO 81
6.1 Considerações Finais 81
6.2 Contribuições 83
6.3 Limitações 83
6.4 Perspectivas Futuras 84

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 85
APÊNDICE I – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas 90
I.1. Protocolo de pesquisa 90

I.1.1. Contexto 90
I.1.2. Objetivo 92
I.1.3. Questões de pesquisa 93
I.1.4. Escopo 94
I.1.5. Idiomas 94
I.1.6. Métodos de busca de publicações 94
I.1.7. Procedimentos de seleção e critérios 95
I.1.8. Procedimentos para extração de dados 96
I.1.9. Procedimentos para análise 96
I.2. Execução da Pesquisa 97

I.2.1. Análise do resultado da pesquisa 99
I.2.2. Resultados da pesquisa 116
I.3. Referências 156

APÊNDICE II – Procedimentos para Desenvolvimento dos Processos de Pensamento 160
II.1 – Termos Básicos 160
II.2 – Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Atual (ARA)

..... 165
II.3 – Procedimentos para Construção da Evaporação de Nuvens (EN) 170
II.4 – Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Futura (ARF)
..... 173

APÊNDICE III – Modelos de Formulário do Método 179
III.1 – Planejamento para Análise do Problema (PAP)..... 179
III.2 – Formulário de Registro do Problema (FRP)..... 181
III.3 – Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP) 182

APÊNDICE IV – Descrição das Atividades e Tarefas do Método CARTOC .. 186
APÊNDICE V – Modelos de Formulário para Estudo de Viabilidade..... 195
V.1 – Modelo do Termo de Consentimento 195
V.2 – Modelo de Formulário de Avaliação 197

APÊNDICE VI – Artefatos do Estudo de Viabilidade..... 200
VI.1 – Planejamento para Análise do Problema (PAP)..... 200
VI.2 – Formulário de Registro do Problema (FRP)..... 203
VI.3 – Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP)..... 204
VI.4 – Formulário de Avaliação – Participante P1 210
VI.5 – Formulário de Avaliação – Participante P2 212

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 – Visão geral da metodologia (CONTE, 2009) 6
Figura 2 – Exemplo de gráfico de Pareto (JAYSWAL et al.,2011) 17
Figura 3 – Visão Geral da Abordagem DPPI (KALINOWSKI, 2011)..... 21
Figura 4 – Diagrama de EN (COX III e SCHLEIER, 2013). 40
Figura 5 – Método CARTOC – Causal Analysis and Resolution with Theory of Constraints 49
Figura 6 – Árvore da Realidade Atual finalizada 68
Figura 7 – Árvore da Realidade Futura finalizada 70
Figura 8 – Quantidade e percentual de publicações que consideraram as etapas desde a coleta até o tratamento dos problemas..... 106
Figura 9 – Percentual de processos, técnicas e ferramentas utilizadas nas publicações para identificar a causa raiz 108
Figura 10 – Técnicas mais utilizadas nas etapas de priorização..... 109
Figura 11 – Comparativo do percentual das publicações que avaliaram as medidas de tratamento 110
Figura 12 – Ilustração dos relacionamentos de suficiência – entre X e Y – e necessidade – entre A e B (adaptado) (COX III e SCHLEIER, 2013) 161
Figura 13 – Estrutura proposta (adaptado) (DETTMER, 2007)..... 166
Figura 14 – Estrutura lógica dos grupos de causa (adaptado) (DETTMER, 2007)..... 166
Figura 15 – Conexão lateral (adaptado) (DETTMER, 2007)..... 167
Figura 16 – Detalhamento dos grupos de causa e formação da árvore (adaptado) (DETTMER, 2007)..... 168
Figura 17 – ARA com pontos de entrada numerados 169
Figura 18 – Estrutura geral de uma nuvem com pressupostos e injeções (COX III e SCHLEIER, 2013)..... 171
Figura 19 – Figura em formato de diamante (COX III e SCHLEIER, 2013) 173
Figura 20 – Mapeamento da ARA e EN para a ARF (adaptado) (DETTMER, 2007) . 174
Figura 21 – Mapeamento EI para ED (DETTMER, 2007) 175
Figura 22 – Início da construção da ARF (adaptado) (DETTMER, 2007) 175
Figura 23 – Preencha os espaços da ARF (adaptado) (DETTMER, 2007) 176
Figura 24 – Laço de reforço positivo e causa adicional na ARF (adaptado) (DETTMER,

2007)..... 177
Figura 25 – Exemplo de ramificação negativa (adaptado) (DETTMER, 2007) 178
Figura 26 – Exemplo de ramificação negativa neutralizada (adaptado) (DETTMER, 2007)..... 178

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas 25
Tabela 2 - Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas x Tarefas previstas no método 47
Tabela 3 – Planejamento da Execução do Estudo de Viabilidade 65
Tabela 4 – Responsáveis e Papéis desempenhados no estudo 66
Tabela 5 – Propostas de Solução: Causa Raiz x Injeção 69
Tabela 6 – Plano de Ação para as Soluções Propostas 71
Tabela 7 – Lista final das publicações obtidas após a execução da pesquisa 97
Tabela 8 – Dados extraídos das publicações referente aos itens de I a VI 101
Tabela 9 – Etapas consideradas desde a coleta até o tratamento dos problemas 104
Tabela 10 – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas 116
Tabela 11 – Listagem dos resultados da pesquisa 116
Tabela 12 – Exemplo de Matriz de Causas (adaptado) (DETTMER, 2007) 165
Tabela 13 – Matriz de dependência da causa raiz 169
Tabela 14 – Tarefas e papéis da análise de causa e resolução de problemas 180
Tabela 15 – Responsáveis e papéis 180
Tabela 16 – Cronograma planejado x realizado 181
Tabela 17 – Estrutura de custo planejada x realizada 181
Tabela 18 – Tarefas e papéis da análise de causa e resolução de problemas 201
Tabela 19 – Responsáveis e papéis 202
Tabela 20 – Cronograma planejado x realizado 202
Tabela 21 – Estrutura de custo planejada x realizada 202

LISTA DE SIGLAS

APR – Árvore de Pré-Requisitos
ARA – Árvore da Realidade Atual
ARF – Árvore da Realidade Futura
AT – Árvore de Transição
CMMI-DEV – *Capability Maturity Model for Development*
CRL – Categorias de Ressalva Legítima
EA – Equipe de Análise
EI – Efeito Indesejado
EN – Evaporação de Nuvens
EO – Etapa Obrigatória
EP – Equipe de Projeto
ER – Etapa Recomendada
FAP – Formulário de Análise e Resolução do Problema
FRP – Formulário de Registro do Problema
GQM – *Goal, Question, Metric*
ISO/IEC – *International Standard Organization and International Electrotechnical Commission*
MR-MPS-SV – Modelo de Referência MPS para Melhoria de Processos de Serviços
MR-MPS-SW – Modelo de Referência MPS para Melhoria de Processos de Software
PAP – Planejamento para Análise do Problema
PO – Prática Obrigatória
PR – Prática Recomendada
RA – Responsável pela Análise
RG – Responsável do Grupo de Processo
RRN – Ressalva de Ramificação Negativa
TI – Tecnologia da Informação
TOC – *Theory of Constraints*

1. INTRODUÇÃO

Neste capítulo são apresentadas as principais questões que motivaram o desenvolvimento deste trabalho, o objetivo principal a ser alcançado com a sua elaboração, a metodologia de pesquisa empregada e a forma como está organizada esta dissertação.

1.1. Motivação

Para BEZERRA *et al.* (2010), a necessidade de reduzir custos e retrabalho, bem como o aumento na produtividade e na satisfação dos clientes, aliada à busca contínua por produtos e serviços cada vez melhores, têm motivado as organizações a aplicarem ferramentas, técnicas e padrões a fim de prover produtos/serviços aderentes aos padrões de qualidade desejados. Os modelos de maturidade CMMI-DEV (SEI, 2010) e MR-MPS-SW (SOFTEX, 2016) são exemplos de padrões de qualidade.

Independente do padrão de qualidade adotado em um projeto ou na organização, a maioria dos profissionais de engenharia de software concordaria que a presença de defeitos indica uma falta de qualidade (CARD, 2005). Ao longo do processo de desenvolvimento de software, muitos defeitos são encontrados e muitos problemas são apresentados. Segundo SCHOTS (2010), defeitos são desvios de qualidade relacionados ao produto de software e problemas são desvios identificados na execução dos processos ou dentro do contexto organizacional, por exemplo: desvio de cronograma, problemas de comunicação. Quando não tratados, os desvios comprometem o processo de desenvolvimento bem como os processos inerentes ao ambiente organizacional, ocasionando: baixa qualidade no produto, baixa satisfação dos clientes, maior esforço/custo devido ao retrabalho, potencial atraso no projeto, dentre outros fatores (SCHOTS, 2010; CARD, 2005).

Segundo GRADY (1996), muitas organizações tendem a responder aos problemas

de maneira reativa, ou seja, tão logo um problema seja detectado, ele é corrigido de maneira rápida a fim de minimizar o impacto nas soluções de negócio do cliente. Entretanto, a solução simplesmente reativa, sem uma análise detalhada dos dados que permeiam o problema, não leva à identificação da causa raiz, o que pode desencadear problemas como: alto custo de atualização após a release do produto; necessidade contínua de reparo de defeitos; um produto de má qualidade (GRADY, 1996).

Em meio a isso, alguns modelos de melhoria de processos ressaltam a importância da análise da causa raiz. No CMMI-DEV (SEI, 2010), o nível 5 de maturidade contempla uma área de processo dedicada à análise e resolução de causa de problemas em processos de software. O propósito dessa área de processo é identificar a causa dos problemas selecionados e prover alguma ação para melhorar o desempenho do processo onde foi detectado o problema. As seguintes práticas específicas são contempladas nessa área de processo: Seleção dos Resultados para Análise; Análise das Causas; Implementação das Ações Propostas; Avaliação do Efeito das Implementações; Armazenagem dos Dados da Análise de Causa. No MR-MPS-SW (SOFTEX, 2016), não há um processo específico para análise de causas, pois as práticas desejadas estão incorporadas nos atributos de processo do nível A (que têm equivalência ao nível 5 do CMMI-DEV). A análise de causas raiz também é prevista no nível 4 do CMMI-DEV no contexto da área de processo Gerência Quantitativa do Projeto, assim como na evolução de Gerência de Projetos do MR-MPS-SW no nível B, apesar de não ser exigido nesses níveis a definição de um processo formal para tal.

Segundo ECKERTE e HUGHES (2010), diversas organizações realizam análise de causa raiz, mas poucas fazem da maneira correta. Dentre essas, raríssimas têm um programa sustentável e efetivo de análise de causa raiz. Durante décadas as organizações têm utilizado diferentes ferramentas e metodologias para a análise e tratamento de problemas, obtendo diferentes níveis de eficácia. Apesar de muitas dessas ferramentas estarem disponíveis, a falta de disciplina, coerência e uma metodologia uniforme, especialmente no que se refere a problemas de desenvolvimento de software, levam a falhas na adoção dessas alternativas (GONÇALVES *et al*., 2008).

As causas dessas falhas também podem ser observadas por meio dos livros de gestão, os quais descrevem que as organizações possuem uma série de fraquezas no que se refere à capacidade de resolução de problemas e tomada de decisões dos gestores. Dentre essas fraquezas, destacam-se: a incapacidade de estruturar problemas decisórios ou situações problemáticas; tendência a precipitar-se e agir abruptamente; incapacidade

de gerenciar as influências e necessidades dos grupos de interesse; incapacidade de aprender com resultados anteriores; incapacidade de reconhecer ou lidar com dilemas éticos ou a importância dos valores éticos, etc. (RUSSO e SCHOEMAKER, 1989; SENGE, 1990; BAZERMAN, 1996; NUTT, 2002 citado por COX III e SCHLEIER, 2013). Dessa forma, percebe-se a predominância de uma mentalidade de combate a incêndios e o uso preponderante de algumas ferramentas difundidas na área de qualidade, como os círculos de qualidade, o *just-in-time*, a reengenharia de processos de negócio, o Seis Sigma, dentre outras. A partir da utilização dessas ferramentas/processos, os gestores anseiam que os problemas mais complexos serão solucionados e riquezas serão geradas no presente e no futuro (COX III e SCHLEIER, 2013).

Dado o cenário apresentado, observa-se que as organizações tendem a adotar os métodos/técnicas que estão na moda, haja vista a necessidade de melhoria na qualidade dos seus processos. Entretanto, nem sempre esses métodos/técnicas são adequados à realidade de todas as organizações, podendo incorrer em uma carga burocrática desnecessária. Assim, revela-se a necessidade de um método eficiente e menos burocrático que viabilize de maneira estruturada a execução da análise de causa e resolução de problemas. Nesse sentido, os seguintes argumentos endossam essa necessidade (BANAS QUALIDADE, 2007 citado por GONÇALVES *et al.*, 2008): evitar que os responsáveis por resolver os problemas proponham uma solução sem analisá-los; assegurar que a causa real seja analisada; desmistificar o processo de resolução de problemas; estabelecer o uso de ferramentas analíticas e as situações onde cada uma pode ser usada.

Vale destacar que, durante um processo de análise de causa, os desvios de qualidade em um projeto podem estar associados tanto à dimensão do produto do projeto como também à dimensão dos processos internos do projeto. Assim, a qualidade geral do projeto será um reflexo da qualidade dessas duas dimensões. Logo, falhas em qualquer uma delas repercutirão negativamente nos resultados e no gerenciamento do projeto como um todo (JUNIOR *et al.*, 2007). Portanto, durante a aplicação de um método para análise de causa e resolução de problemas, ambas as dimensões devem ser consideradas e analisadas.

Em suma, dada a situação apresentada, para que um processo de análise de causa e resolução de problemas seja efetivo, nem sempre a aplicação das técnicas mais difundidas e da moda será suficiente. Muitas dessas não são aderentes à realidade das organizações de software, a qual envolve uma série de variáveis relacionadas tanto ao

processo de desenvolvimento de software quanto ao produto que está sendo desenvolvido e que não poderiam ser mapeadas utilizando apenas, por exemplo, um Diagrama de Ishikawa (JUNIOR *et al.*, 2007), dada a subjetividade e simplicidade dessa técnica. Para esse contexto, necessita-se de uma metodologia sistemática que seja capaz de auxiliar os envolvidos nesse processo a estruturar e validar os relacionamentos de causa e efeito que emergem dessas variáveis, conduzindo-os à identificação da causa raiz. Desta forma, a capacidade de resolução de problemas em uma organização seria aprimorada, uma vez que a metodologia seria um meio para estruturar o processo de raciocínio utilizado na análise de causa.

1.2. Objetivo

O objetivo desta dissertação é propor um método para análise de causa e resolução de problemas que: estruture o processo de raciocínio humano de forma a reduzir o viés dos envolvidos com a análise durante a fase de identificação da causa raiz, ou seja, que diminua a tendência automática dos envolvidos de deduzir o que poderia ser o problema sem uma análise prévia; considere a validação dos relacionamentos de causa e efeito estabelecidos, a fim de evitar a validação de relacionamentos inexistentes e/ou incoerentes; e direcione o tratamento das causas identificadas, apoiado por um plano de ação estruturado. Além disso, esta dissertação também estabelece um conjunto de requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas, respaldado a partir de um mapeamento sistemático da literatura.

Este método é voltado para organizações que busquem analisar a causa raiz de problemas críticos e complexos que não possam ser atendidos por meio de técnicas mais simples e subjetivas como um Diagrama de Ishikawa. Tais organizações podem utilizar o método proposto para, dentre outros objetivos: melhorar os níveis de qualidade nos projetos de software; evitar a recorrência de problemas em diversos projetos de software; identificar a causa raiz de desvios de indicadores de projeto de software.

A construção do método proposto foi embasada no conjunto de requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas. Doravante o cumprimento deste conjunto de requisitos, constatou-se que para conseguir cumprir com o objetivo apresentado, o método proposto nesta dissertação deveria possuir as seguintes características: mitigação da análise de fatores menos relevantes frente a fatores de maior relevância durante o processo de análise de causa raiz; validação do nexo de causalidade

nos relacionamentos de causa e efeito, evitando a análise de relacionamentos inexistentes e/ou incoerentes; direcionamento da resolução das causas identificadas de forma estruturada, a fim de prover um plano de ação para os envolvidos no processo.

As etapas e práticas que compõem o conjunto de requisitos supracitado, são comuns na maioria das abordagens voltadas para o processo de análise de causa e resolução de problemas de software, também sendo identificadas em abordagens de melhoria contínua de processos de software, conforme nos trabalhos relacionados (BEZERRA, 2010; COSTA, 2012; SCHOTS, 2010). Todavia, o diferencial do método proposto reside na adaptação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições (COX III e SPENCER, 2008) em determinadas atividades deste método. Por meio da aplicação dos Processos de Pensamento é possível exteriorizar de forma clara a lógica de causa e efeito desenvolvida na mente humana e que direciona as nossas decisões no dia a dia, validando os pressupostos que são levados em consideração durante uma tomada de decisão.

Para atender às premissas elencadas, além de um procedimento para a construção das ferramentas do Processo de Pensamento, este método também contempla um conjunto de atividades e tarefas que descrevem o desenvolvimento de cada etapa do método e um conjunto de formulários para a coleta das informações necessárias para o desenvolvimento das tarefas, a fim de sustentar o processo de análise de causa e resolução de problemas.

Espera-se que o método proposto seja menos burocrático e onere menos a etapa de execução da análise de causa que outras abordagens identificadas na literatura, como a apresentada por (SCHOTS, 2010).

1.3. Estratégia de Pesquisa

A estratégia de pesquisa adotada no desenvolvimento do método proposto nesta dissertação pode ser comparada a três etapas (estudos secundários, proposta inicial e estudo de viabilidade) da metodologia originalmente proposta por SHULL *et al.* (2001) e estendida por MAFRA *et al.* (2006). A extensão dessa metodologia propõe a condução de revisões sistemáticas para a definição inicial da tecnologia, já a metodologia original prevê o refinamento dessa tecnologia desde a sua definição até a sua transferência para a indústria (MAFRA *et al.*, 2006).

A metodologia é composta por seis etapas, divididas em duas partes, conforme

apresentado na Figura 1 e descrita a seguir:

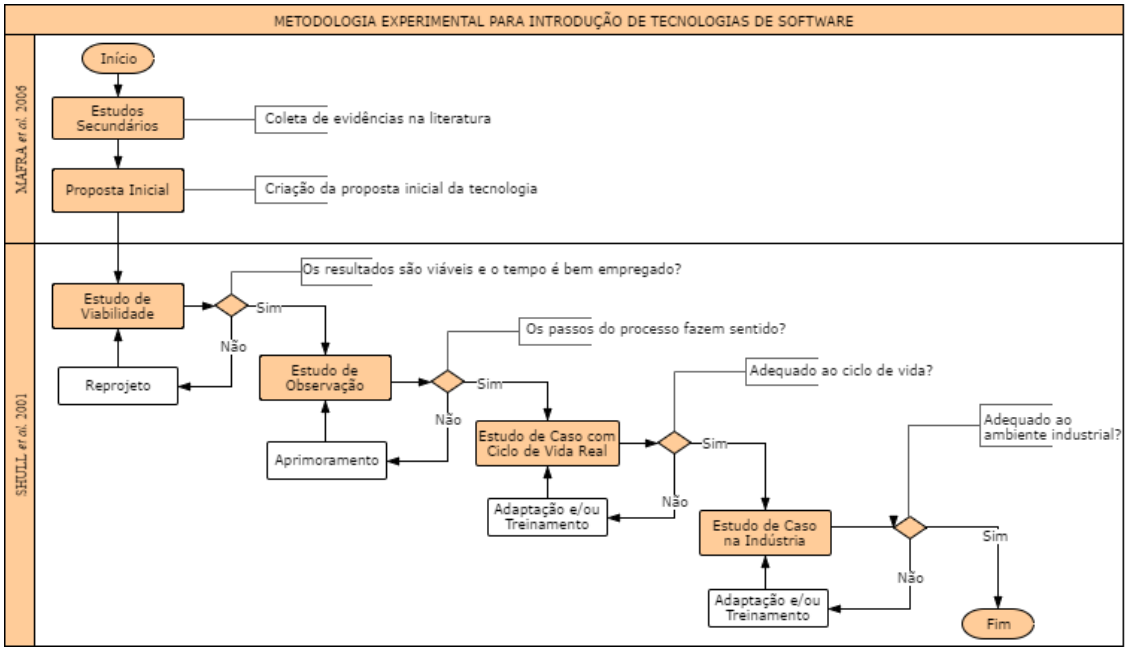


Figura 1 – Visão geral da metodologia (CONTE, 2009)

A primeira parte da metodologia, referente à definição da tecnologia (MAFRA *et al.*, 2006), é composta pelas seguintes etapas:

- **Estudos Secundários:** etapa responsável por identificar e caracterizar uma determinada evidência existente na área de pesquisa por meio de uma revisão sistemática da literatura. Tal procedimento visa reduzir os riscos associados à definição da tecnologia, incorporando lições aprendidas e evitando repetir erros passados.
- **Proposta Inicial:** etapa na qual a proposta é criada, com base nos conhecimentos obtidos nos estudos secundários.

Já a segunda parte da metodologia, referente ao refinamento da tecnologia (SHULL *et al.*, 2001), visa avaliar a tecnologia de forma iterativa em diversos estudos experimentais, antecipando a identificação dos problemas e corrigindo-os o mais cedo possível. Ela é composta pelas seguintes etapas:

- **Estudo de Viabilidade:** etapa na qual a viabilidade da tecnologia é avaliada a fim de verificar se os objetivos inicialmente definidos foram atendidos, justificando ou não a continuação da pesquisa. Além de verificar se o processo proveu bons resultados, visa também avaliar a sua eficiência com relação ao tempo gasto

durante a sua execução.

- **Estudo de Observação:** etapa na qual a aplicação prática da tecnologia é avaliada por pesquisadores. Os dados obtidos durante essa etapa podem auxiliar os pesquisadores no refinamento da tecnologia.
- **Estudo de Caso utilizando um Ciclo de Vida:** nesta etapa há indícios de que a tecnologia é efetiva, entretanto, necessita-se avalia-la em conjunto com outras tecnologias no contexto de um ciclo de vida de desenvolvimento. Os dados obtidos durante essa etapa podem auxiliar os pesquisadores no refinamento da tecnologia.
- **Estudo de Caso na Indústria:** nesta etapa supõe-se que a tecnologia tenha atingido um grau de maturidade razoável que viabilize a sua aplicação em um contexto industrial. Dessa forma, ela será avaliada em um cenário real e os dados obtidos poderão ser utilizados no refinamento da tecnologia.

Embora esta metodologia não tenha sido aplicada de forma completa nesta dissertação, é possível realizar um paralelo entre algumas de suas etapas com as atividades desenvolvidas neste trabalho:

- **Estudos Secundários:** realizada por meio de um mapeamento sistemático que serviu como base para parte do conteúdo apresentado no Capítulo 2 e que é descrito por completo no Apêndice I.
- **Proposta Inicial:** desenvolvimento e fundamentação do método, apresentado no Capítulo 4, a partir dos dados obtidos nos estudos secundários e nos trabalhos correlatos.
- **Estudo de Viabilidade:** execução do estudo de viabilidade, apresentado no Capítulo 5, para avaliação inicial e refinamento do método.

1.4. Organização da Dissertação

Esta dissertação está organizada em 6 capítulos. Este capítulo apresentou a motivação para o trabalho, o objetivo a ser alcançado, a metodologia de pesquisa utilizada e a estrutura da dissertação. As próximas sessões da dissertação estão organizadas da seguinte forma:

- *CAPÍTULO 2 – Análise de Causas*: apresenta os principais conceitos relacionados ao processo de análise de causa e resolução de problemas, algumas das técnicas mais aplicadas para este processo, e os resultados obtidos a partir do mapeamento sistemático presente no Apêndice I.
- *CAPÍTULO 3 – Teoria das Restrições*: apresenta os principais conceitos relacionados à Teoria das Restrições, a motivação para a adaptação dessa técnica ao contexto da análise de causa e resolução de problemas, e as ferramentas que serão utilizadas no método proposto por esta dissertação, bem como os trabalhos correlatos.
- *CAPÍTULO 4 – Método para análise de causa e resolução de problemas utilizando a Teoria das Restrições*: apresenta os procedimentos que compõem o método proposto nesta dissertação para auxiliar a análise de causa e resolução de problemas em projetos de software, por meio da aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições.
- *CAPÍTULO 5 – Avaliação do Método*: apresenta o estudo de viabilidade proposto na metodologia de pesquisa desta dissertação. Esta avaliação buscou verificar se os objetivos propostos para o método foram alcançados, bem como a sua eficiência quanto ao tempo e aos resultados obtidos.
- *CAPÍTULO 6 – Conclusão*: apresenta as considerações finais desta dissertação, suas contribuições, suas limitações e as perspectivas futuras para esta pesquisa.

2. ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Neste capítulo são apresentadas algumas das principais referências relacionadas ao processo de análise de causa e resolução de problemas. A forma como este processo é tratado nos modelos de maturidade e nas normas relacionadas ao tema, além das principais técnicas identificadas na literatura, serão discutidas no decorrer do capítulo. Ao final, será apresentado o resultado de um mapeamento sistemático que permitiu consolidar um conjunto de requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas.

2.1. Introdução

Pode-se dizer que causa raiz é o fator, ou conjunto de fatores, mais básico que, se removido ou corrigido, previne a recorrência do problema (DEW, 1991). Já o processo de análise de causa raiz pode ser definido como uma variedade de técnicas, informais ou estruturadas, que podem ser utilizadas para determinar causas raiz (WILSON *et al.*, 1993 citado por DORSCH *et al.*, 1997). Vale mencionar que uma parte chave desse processo é garantir que as recomendações que foram desenvolvidas para conter a causa raiz identificada sejam implementadas (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Na análise de causa raiz, um problema é definido como uma situação onde o desempenho do sistema não atende às expectativas do usuário/organização (DEW, 1991). Nesse contexto, ROONEY e HEUVEL (2004) frisam que um processo de análise de causa raiz pode ajudar a identificar não somente o "quê" e "como" um evento ocorreu, mas também o "porquê" ele ocorreu. Segundo os autores, um processo de análise de causa raiz

deve levar em consideração os seguintes aspectos:

- Causas raiz são causas ocultas que necessitam de uma investigação mais específica para chegar a recomendações que evitem a recorrência do problema.
- Causas raiz podem ser razoavelmente identificadas com o auxílio de um processo estruturado de análise de causa raiz.
- Causas raiz são passíveis de serem gerenciadas e controladas.
- Causas raiz devem ser tratadas por meio de recomendações diretas e eficazes.

Para GRADY (1996), apesar do comportamento reativo fazer parte do sucesso de um projeto, o tratamento das causas raiz é importante para qualquer estratégia de negócio, dado que não faz sentido criar uma ação para cada erro que surge ao longo do desenvolvimento de software, pois grande parte dos erros tem sintomas de uma causa raiz comum (SHENVI, 2009). Alguns perigos podem ser ressaltados quanto à falta de um método proativo para tratamento de defeitos (GRADY, 1996):

- As pessoas podem adquirir o hábito de dar ênfase ao raciocínio reativo.
- Os gerentes podem adquirir o hábito de premiar o comportamento reativo, o que pode levar a um aumento de custos de correções futuras após a release do produto.
- As pessoas podem atribuir a culpa ao estresse e à pressão em ambientes altamente reativos. Todavia, grande parte das causas raiz dos problemas está relacionada a uma deficiência de treinamento, processo ou documentação, e nem sempre de competência individual.

A partir de um processo estruturado para análise e tratamento das causas raiz, o processo de aprendizagem acaba saindo do âmbito individual e migrando para o organizacional, por meio de treinamentos e processos de mudança que mitigam a ocorrência dos mesmos erros no futuro (GRADY, 1996). Para que isso aconteça, é fundamental que os erros sejam compartilhados a fim de gerar conhecimento de experiências negativas para outros membros (SHENVI, 2009).

2.2.Normas e Modelos de Maturidade

Algumas normas e modelos de maturidade, no âmbito da engenharia de software, destacam a importância de um processo de análise de causa e resolução de problemas

como uma forma de evitar a recorrência de problemas e melhorar a qualidade dos serviços e produtos de software. Como exemplos, podemos citar os modelos CMMI-DEV (*Capability Maturity Model Integration for Development*) (SEI, 2010) e MR-MPS-SW (Modelo de Referência para Melhoria de Processos do Software Brasileiro) (SOFTEX, 2016), bem como as normas ISO/IEC 12207 (ISO/IEC, 2008) e ISO/IEC 15504 (ISO/IEC, 2003).

2.2.1 ISO/IEC 33020

A norma internacional ISO/IEC 33020 – Avaliação de Processos – Framework para Medição e Avaliação da Capacidade de Processo (ISO/IEC, 2015), assim como o CMMI-DEV (SEI, 2010) e o MR-MPS-SW (SOFTEX, 2016), fornece um *framework* para medição de processo que suporta a avaliação da capacidade dos processos, definindo níveis de capacidade para cada processo implementado em uma organização. Os níveis de capacidade representam a capacidade que um determinado processo tem para alcançar o seu objetivo. Esta norma é composta pelos seguintes níveis: nível 0 – Incompleto, nível 1 – Executado, nível 2 – Gerenciado, nível 3 – Estabelecido, nível 4 – Previsível, nível 5 – Em otimização.

O nível 4 desta norma pressupõe que os processos estejam bem definidos e são gerenciados quantitativamente. Como parte dos requisitos para que isso aconteça, deve-se atender ao atributo de processo 4.1 (Análise Quantitativa) que prevê, entre outras coisas, a execução de análise de causa para identificar pontos de melhoria do processo (ISO/IEC, 2015). Esta prática é utilizada para identificar dois tipos de causas: causas especiais, referentes a eventos que não fazem parte da execução normal do processo, ocorrem de maneira esporádica e acidental; e causas comuns, as quais são variações rotineiras e problemas comuns que acontecem em uma certa frequência durante a execução de determinado processo (FLORAC e CARLETON, 1999).

2.2.2 ISO/IEC 12207

A norma internacional ISO/IEC 12207 (ISO/IEC, 2008) trata dos processos do ciclo de vida de software aplicáveis tanto para tarefas relacionadas à aquisição de um produto ou serviço de software, bem como durante o fornecimento, desenvolvimento, operação e manutenção de produtos de software. Dentre o conjunto de processos que compõem essa norma, existe um processo específico para Resolução de Problemas.

Este referido processo visa analisar e resolver os problemas que surgem ao longo das etapas de desenvolvimento, operação e manutenção de software, de maneira tempestiva e responsável, a fim de garantir que todos os problemas encontrados sejam analisados e resolvidos, e suas tendências identificadas (ISO/IEC, 2008). Para isso, este processo é composto pelas seguintes atividades: (i) Implementação do Processo e (ii) Resolução do Problema.

A primeira atividade (i) é composta pelas seguintes tarefas (ISO/IEC, 2008): relatar todos os problemas detectados, acionando as partes relevantes quando necessário; analisar e identificar as causas e, se possível, eliminá-las; toda a situação deve ser rastreada e relatada; os problemas devem ser registrados durante um tempo determinado; recomenda-se a categorização e priorização dos problemas para facilitar a análise; as resoluções de problemas devem ser verificadas e as tendências dos problemas analisadas, a fim de evitar a introdução de novos problemas.

A segunda atividade (ii) recomenda que à medida que os problemas forem detectados, um relatório do problema deve ser preparado descrevendo cada situação detectada (ISO/IEC, 2008). Este relatório deve ser utilizado durante todo o ciclo de análise, identificação e resolução do problema.

2.2.3 CMMI-DEV

O modelo de maturidade CMMI-DEV (SEI, 2010) é um modelo que agrupa as melhores práticas no âmbito da engenharia de software no que diz respeito aos processos de desenvolvimento e manutenção de software. É composto por 22 áreas de processos, cada uma com um propósito, objetivos e práticas específicas (da área de processo relacionada), e objetivos e práticas genéricas (referentes à diversas áreas de processo).

Existem duas formas de implementar melhorias em uma organização através desse modelo (SEI, 2010): por níveis de capacidade (0 – Incompleto, 1 – Realizado, 2 – Gerenciado, 3 – Definido) ou por níveis de maturidade (1 – Inicial, 2 – Gerenciado, 3 – Definido, 4 – Gerenciado quantitativamente, 5 – Em otimização). Os níveis de capacidade representam uma evolução contínua de uma ou mais áreas de processo em uma organização, de forma independente. Já os níveis de maturidade pressupõem que a organização obtenha um determinado nível de capacidade em um conjunto de processos, a avaliação é realizada considerando todos os processos do nível almejado pela organização que está sendo avaliada.

Embora a área de processo Gerência Quantitativa de Projetos, do nível 4 de maturidade, apresente algumas subpráticas relacionadas ao tratamento de causas especiais encontradas no âmbito do controle estatístico do processo, a área de processo responsável por organizar um conjunto de objetivos e práticas específicas relacionadas à análise e resolução de causas de problemas é a área de Análise Causal e Resolução, presente no nível 5 de maturidade (SEI, 2010).

O propósito desta área de processo é identificar a causa do problema que prejudica um determinado processo e prover alguma ação para melhorar o desempenho deste processo. Em suma, as atividades que permeiam esta área de processos visam: identificar e analisar a causa dos problemas selecionados; remover e prevenir as causas encontradas; analisar os dados proativamente a fim de identificar a recorrência dos problemas e incorporar as causas de sucesso com o objetivo de promover melhorias de desempenho de processo no futuro (SEI, 2010).

Esta área de processo é composta por dois objetivos específicos onde (SEI, 2010): (1) As causas raiz dos problemas selecionados são sistematicamente determinadas; (2) As causas raiz dos problemas selecionados são sistematicamente tratadas. O primeiro objetivo é composto pelas seguintes práticas: (1.1) Selecionar os problemas para análise; (1.2) Executar análise de causa dos problemas selecionados e propor ações para endereçá-los. Já o segundo objetivo é composto pelas seguintes práticas: (2.1) Implementar as propostas de ação selecionadas desenvolvidas na análise de causa; (2.2) Avaliar o efeito das ações implementas no desempenho dos processos; (2.3) Registrar os dados da análise de causa e resolução para uso em projetos e na organização.

2.2.4 MR-MPS-SW

O MPS.BR (SOFTEX, 2016) é um programa de melhoria de processo de software brasileiro voltado principalmente para micro, pequenas e médias empresas. O modelo de maturidade MR-MPS-SW, pertencente ao MPS.BR, compreende sete níveis de maturidade, dentre os quais: A (Em Otimização), B (Gerenciado Quantitativamente), C (Definido), D (Largamente Definido), E (Parcialmente Definido), F (Gerenciado) e G (Gerenciado Parcialmente).

Semelhante ao que ocorre no CMMI-DEV, neste modelo a análise de causa e resolução de problemas é abordada por meio dos resultados de atributos de processo nos níveis mais altos de maturidade, A e B. No nível B são tratadas as causas especiais,

observadas durante o controle estatístico dos processos; e no nível A são tratadas as causas comuns, a fim de melhorar continuamente o desempenho dos processos para atingir os objetivos de negócio da organização (SOFTEX, 2016).

Embora não exista um processo específico para análise de causas e resolução de problemas no MR-MPS-SW, a análise de causa raiz é prevista como um resultado esperado da evolução do processo de Gerência de Projetos (GPR), a partir do nível B, para questões que afetem os objetivos de qualidade e desempenho do processo do projeto. Além disso, vale destacar o atributo de processo (AP) 4.2, que prevê o tratamento de causas especiais para processos controlados quantitativamente; o AP 5.1 prevê a classificação, análise e identificação das causas comuns que influenciam o desempenho dos processos; e o AP 5.2 prevê a implementação das ações para resolução dos problemas identificados, o acompanhamento das melhorias implementadas e o armazenamento dos dados utilização na análise e resolução dos problemas para situações futuras (SOFTEX, 2016).

2.3. Técnicas aplicadas no âmbito da Análise de Causa e Resolução de Problemas

A fim de se identificar as principais técnicas utilizadas na execução do processo de análise de causa e resolução de problemas, foi realizada uma revisão informal da literatura e um mapeamento sistemático detalhado no Apêndice I. Dada a frequência com que foram utilizadas nas publicações analisadas no mapeamento sistemático, as técnicas descritas abaixo foram consideradas as mais relevantes. O objetivo desta seção é descrever tais técnicas, esclarecendo o seu objetivo e de que forma elas devem ser conduzidas.

2.3.1 Diagrama de Ishikawa

O diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa ou diagrama de espinha de peixe, é uma ferramenta de representação das possíveis causas que levam a um determinado efeito. As causas são agrupadas por categorias previamente estabelecidas, ou levantadas ao longo do processo de classificação. A grande vantagem dessa técnica é que se pode atuar de modo mais específico e direcionado no detalhamento das causas possíveis (JUNIOR *et al.*, 2007).

Segundo CARD (2005), o Diagrama de Ishikawa contempla as seguintes

categorias de causas de problema: métodos, ferramentas/ambiente, pessoas, entradas/requisitos e organização (KALINOWSKI *et al.*, 2012). Todavia, as categorias de classificação podem variar em função da característica de cada organização.

Em virtude da complexidade do diagrama, talvez seja necessário desdobrar algumas causas em um novo diagrama de causa e efeito, com um nível de profundidade e detalhamento maior, para viabilizar uma abordagem mais minuciosa (JUNIOR *et al.*, 2007).

As seguintes etapas são utilizadas durante a elaboração do diagrama de causa e efeito (JUNIOR *et al.*, 2007):

- Discussão do assunto a ser analisado pelo grupo, contemplando seu processo, como ocorre, áreas envolvidas e escopo;
- Descrição do efeito (problema ou condição específica) no lado direito do diagrama;
- Levantamento das possíveis causas e seu agrupamento por categorias no diagrama;
- Análise do diagrama elaborado e coleta de dados para determinar a frequência de ocorrência das diferentes causas.

2.3.2 Brainstorming

O *Brainstorming* (tempestade de ideias) é um processo de grupo em que os indivíduos emitem ideias de forma livre, sem críticas, no menor espaço de tempo possível. Os grupos devem ter entre cinco e doze pessoas. Recomenda-se que a participação seja voluntária, com regras claras e por prazo determinado. Para lidar com os grupos, facilitadores adequadamente treinados devem ser utilizados (JUNIOR *et al.*, 2007).

O propósito do *Brainstorming* é lançar e detalhar ideias com um certo enfoque, originais e em uma atmosfera sem inibições. O objetivo é obter a diversidade de opiniões a partir de um processo de criatividade grupal. Adicionalmente, é uma ferramenta que contribui para o desenvolvimento de equipes. Esta técnica destaca-se pelas seguintes características (JUNIOR *et al.*, 2007):

- Capacidade de autoexpressão, livre de inibições ou preconceitos da própria pessoa ou de qualquer outra do grupo;
- Liberação da criatividade;

- Capacidade de aceitar e conviver com diferenças conceituais e multidisciplinares;
- Ausência de julgamento prévio;
- Registro de ideias;
- Capacidade de síntese;
- Delimitação de tempo;
- Ausência de hierarquia durante o processo.

De forma resumida, segundo JUNIOR *et al.* (2007), existem três fases típicas no brainstorming:

- Clareza e subjetividade na apresentação do assunto, problema ou situação;
- Geração e documentação de ideias;
- Análise e seleção.

2.3.3 Gráfico de Pareto

O gráfico de Pareto é um gráfico de barras, construído a partir de um processo de coleta de dados, utilizado quando se deseja priorizar problemas ou causas relativas a um determinado assunto. O princípio de Pareto (Vilfredo Pareto, economista italiano do século XIX) foi desenvolvido com base no estudo sobre desigualdade na distribuição de riquezas, cuja conclusão era de que 20% da população (poucos e vitais) detinha 80% da riqueza, enquanto o restante da população (muitos e triviais) detinha apenas 20%. Essa relação é também conhecida como a regra dos 80/20 (JUNIOR *et al.*, 2007).

Segundo JAYSWAL *et al.* (2011) o princípio de Pareto define que, para a maioria dos eventos, por volta de 80% dos efeitos/problemas provem de 20% das causas. A análise de Pareto foca a atenção nas causas mais importantes ao invés de perder tempo e energia com as menos importantes. Para isso, utiliza-se uma combinação de um gráfico de linhas e barras, conforme Figura 2. Segundo SURHONE *et al.* (2010) citado por JAYSWAL *et al.* (2011), os seguintes passos devem ser seguidos para a elaboração desse gráfico:

1) Uma tabela é preparada apresentando todas as causas com o percentual de seus impactos;
2) A tabela é organizada de forma descendente pelo percentual;
3) Uma terceira coluna é adicionada para apresentar o percentual cumulativo;
4) Um gráfico de linha é preparado. As causas são colocadas no eixo "X" e o

percentual cumulativo é colocado no eixo "Y";

5) No mesmo gráfico, um gráfico de barra é acrescentado para as causas no eixo "X" e o percentual dos impactos no eixo "Y";
6) Uma linha horizontal é desenhada em 80%. Na interseção dos 80% com a curva do gráfico de linha, uma linha vertical é desenhada;
7) O ponto de interseção da linha vertical e o eixo "X" separa as principais causas do lado esquerdo e as menores causas do lado direito.

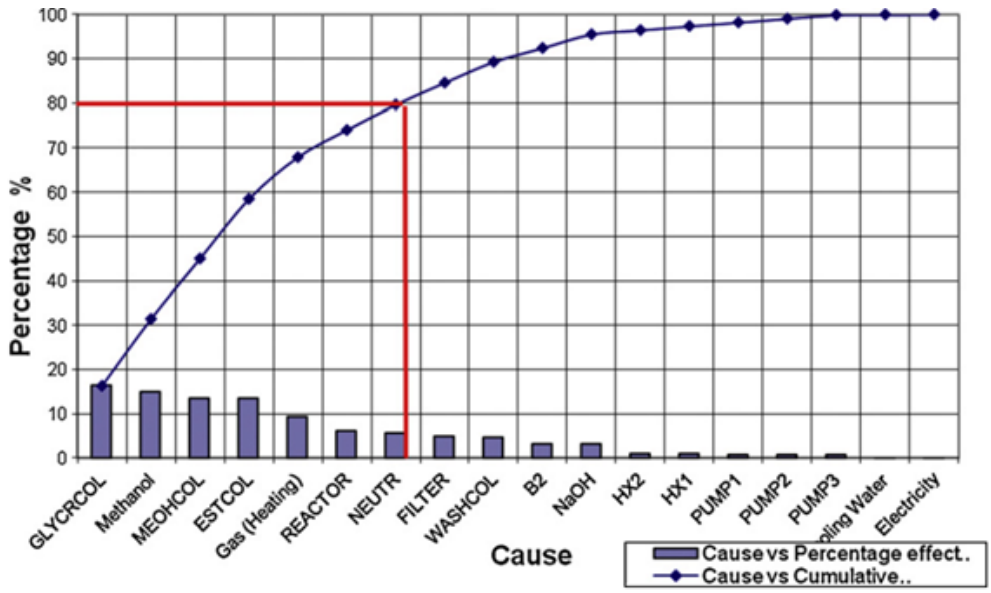


Figura 2 – Exemplo de gráfico de Pareto (JAYSWAL *et al*.,2011)

2.3.4 Five Whys

Sakichi Toyoda (o fundador da Toyota Motor Corporation) desenvolveu em 1958 um processo chamado de "Five Whys", utilizado para compreender a causa potencial para um problema. Em suma, deve-se perguntar ao menos cinco vezes “por que” um determinado problema aconteceu. (ROMANO *et al.*, 2013).

A série de perguntas poderia continuar até a identificação da causa raiz, desde que haja um consenso entre os indivíduos que estão aplicando o método. Todavia, este consenso depende do conhecimento dos envolvidos, assim sendo, o treinamento destes é fundamental para que o método produza os efeitos desejados (TOYOTA, 2003 citado por SCHOTS, 2010).

Segundo HONDA e YAMADA (2012), a técnica "5 whys" ou "why-why analysis" é aplicável para análise de causa raiz em diversas áreas. Os objetivos da técnica variam

bastante, dependendo da sua aplicação. Dada a existência de diversas causas raiz para serem identificadas em um determinado contexto, a técnica "5 whys" necessita de um objetivo específico para que a real causa raiz seja alcançada, caso contrário, diversas causas serão encontradas incluindo causas específicas e causas comuns. Neste sentido, observa-se que o problema deste método é a falta de controle sob a granularidade das respostas, o que pode levar a uma causa raiz muito genérica (que não permita um direcionamento em prol de ações corretivas) ou muito específica (que não represente efetivamente a raiz do problema) (WILSON, 2006 citado por SCHOTS, 2010).

Quando utilizam essa técnica, os usuários necessitam constantemente estarem atentos aos objetivos a serem alcançados, em vez de simplesmente questionarem repetidamente a fim de alcançar a real causa raiz (HONDA e YAMADA, 2012). Além disto, a aplicação do 5-Whys sugere que há apenas uma única causa em cada "nível" de "por que", entretanto, verifica-se na prática que normalmente um conjunto de causas produz um determinado problema (WILSON, 2006 citado por SCHOTS, 2010).

2.4. Análise de Causa Raiz em Engenharia de Software

Após a apresentação das técnicas de análise de causa mais difundidas, vale destacar algumas abordagens específicas aplicadas na engenharia de software. Nesta seção serão apresentadas algumas dessas abordagens, o contexto no qual são aplicadas e as limitações identificadas.

2.4.1 Abordagem para a Identificação de Causas de Problemas utilizando *Grounded Theory*

A abordagem para identificação de causas de problemas utilizando *Grounded Theory*, apresentada por SCHOTS (2010), tem como objetivo principal melhorar a qualidade das informações coletadas e minimizar a subjetividade do processo de coleta e análise dos dados de problemas relacionados ao desenvolvimento de software. Para alcançar esse propósito, SCHOTS (2010) utiliza um conjunto de passos fundamentados nos conceitos da *Grounded Theory* e um processo definido para análise de causas, composto por atividades e modelos de documentos necessários para a sua execução.

Segundo SCHOTS (2010), a *Grounded Theory* é um método de pesquisa qualitativa que permite realizar uma análise profunda dos dados e identificar as relações

entre as informações coletadas. O foco desse método reside no desenvolvimento de conceitos e teorias fundamentadas a partir das palavras e ações dos indivíduos, viabilizando a identificação da relação entre estes conceitos até formar uma teoria. Desta forma, optou-se por utilizá-la durante a análise de causas da abordagem proposta, pois, conforme mencionado por SCHOTS (2010), a identificação das causas poderá ser mais eficiente se houver a captura dos conhecimentos implícitos dos indivíduos sobre os problemas.

Dado que esse método é parcialmente dependente do conhecimento do pesquisador, a abordagem fornece um conjunto de passos da *Grounded Theory* para auxiliar a equipe de análise durante a execução da análise. Desta forma, mesmo que a equipe não tenha domínio completo do método, o conjunto de passos será suficiente para a utilização dos conceitos da *Grounded Theory*. A abordagem apresenta também um conjunto de modelos (*templates*) de documentos para auxiliar a captura das informações relevantes sobre os problemas.

A abordagem proposta por SCHOTS (2010) é dividida em cinco atividades, composta por um conjunto de tarefas, as quais são resumidas a seguir:

1) Identificação do Problema para a Análise de Causas – Atividade na qual as informações de contexto do problema são documentadas, por meio dos *templates* fornecidos, e o problema é recomendado para análise de causas;
2) Preparação para a Análise de Causas – Atividade composta pelas tarefas de planejamento da análise de causas e a coleta de informações complementares sobre o problema;
3) Execução da Análise de Causas – Atividade que consiste na análise das informações fornecidas por meio da *Grounded Theory*, com o objetivo de identificar uma ou mais possíveis causas para o problema. Esta atividade prevê também uma revisão por pares, a qual visa garantir a conformidade nos passos da *Grounded Theory* e a confiabilidade do resultado da análise;
4) Validação do Resultado da Análise de Causas – Atividade na qual os resultados da análise de causas são validados pelas pessoas que forneceram os dados do problema, a fim de verificar a coerência do resultado obtido. Além disso, esta atividade visa também reportar o resultado para todos os interessados no problema e a decisão sobre o que fazer após a avaliação do resultado;
5) Encerramento – Atividade que contempla o armazenamento do conhecimento

obtido durante a execução da análise de causa no repositório da organização.

A abordagem proposta por SCHOTS (2010) foi avaliada em duas etapas: a primeira ocorreu por meio de uma revisão por pares no conjunto de passos da *Grounded Theory*; e a segunda por meio de um estudo de viabilidade.

No tocante ao estudo de viabilidade, verificou-se que existem indícios da viabilidade da abordagem, tendo em vista que a causa raiz identificada para o problema analisado foi aceita pelos interessados na organização. Embora a abordagem tenha sido considerada viável, a execução da análise de causas exigiu bastante tempo da equipe devido ao uso da *Grounded Theory*. Esta limitação justificaria a aplicação dessa abordagem apenas para problemas complexos e críticos, pois ela não é factível para problemas simples.

2.4.2 Abordagem DPPI

KALINOWSKI (2011) apresenta uma abordagem para análise causal de defeitos provenientes de inspeções para apoiar a melhoria dos processos de engenharia de software. Esta abordagem, denominada DPPI (*Defect Prevention-based Process Improvement*), permite a integração do conhecimento obtido em sucessivas reuniões de análise causal para prover um maior entendimento a respeito das relações de causa e efeito dos defeitos da organização. Essa integração permite estabelecer e manter modelos causais para a organização.

A abordagem DPPI deve ser aplicada dentro de um processo de desenvolvimento de software após as inspeções dos artefatos produzidos pelas principais atividades de engenharia de software. Conforme apresentado na Figura 3, a abordagem DPPI envolve quatro atividades: (I) Análise da Atividade de Desenvolvimento; (II) Preparação para Análise Causal; (III) Reunião de Análise Causal; (IV) Melhoria da Atividade de Desenvolvimento. Observa-se que, para cada atividade de engenharia de software, é mantido um modelo causal com informações das relações de causa e efeito dos defeitos da organização. Estes modelos causais são estabelecidos e mantidos ao alimentar redes Bayesianas.

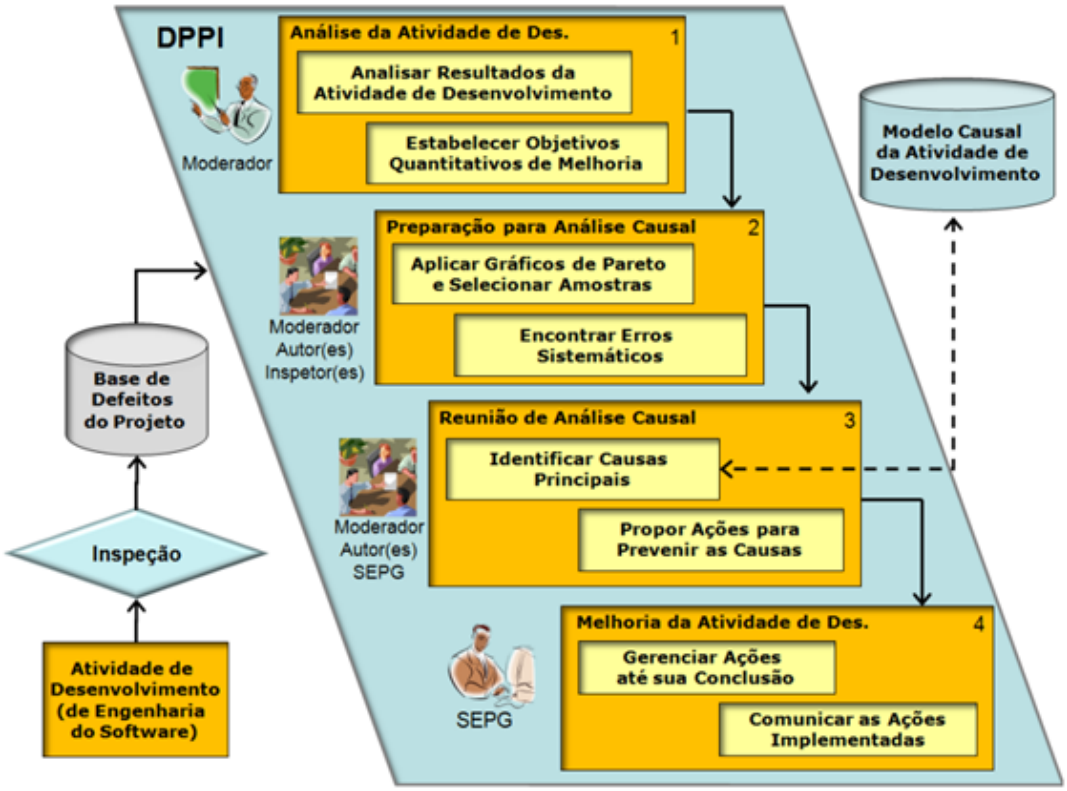


Figura 3 – Visão Geral da Abordagem DPPI (KALINOWSKI, 2011)

No que tange à primeira atividade, Análise da Atividade de Desenvolvimento, o objetivo é realizar a medição e controle desta atividade em relação aos seus defeitos. Essa atividade é composta pelas seguintes tarefas:

- Analisar Resultados da Atividade – a qual visa analisar os resultados da atividade de desenvolvimento no tocante aos seus defeitos, comparando-os com dados históricos de resultados desta mesma atividade em projetos similares. Para isso, são utilizados gráficos de controle estatístico.
- Estabelecer Objetivos Quantitativos de Melhoria – a qual visa estabelecer objetivos para a atividade de desenvolvimento analisada.

A segunda atividade, Preparação para Análise Causal, compreende a preparação para a reunião de análise causal de defeitos, selecionando a amostra de defeitos a ser analisada e identificando os erros sistemáticos que levam a diversos destes defeitos. Essa atividade é composta pelas seguintes tarefas:

- Aplicar Gráficos de Pareto e Selecionar Amostras – destina-se a encontrar, por meio de gráficos de Pareto, as amostras de defeitos onde erros sistemáticos têm maior probabilidade de estarem presentes.

- Encontrar Erros Sistemáticos – destina-se a analisar as amostras de defeitos para encontrar erros sistemáticos. Os defeitos associados a estes erros sistemáticos devem ser considerados na reunião de análise causal.

A terceira atividade, Reunião de Análise Causal, é composta pelas seguintes tarefas:

- Identificar Causas Principais – propõe-se a identificar as principais causas dos erros sistemáticos com o auxílio do modelo causal existente, elaborado com base em reuniões anteriores de análise causal de projetos similares para a mesma atividade de desenvolvimento. Por meio de inferência na rede Bayesiana, é possível calcular a probabilidade de cada uma das causas ser responsável pelo tipo de defeito relacionado com o erro sistemático sendo analisado. Baseado nesse cálculo, as causas podem ser desenhadas em um diagrama de causa e efeito.
- Propor Ações para Prevenir as Causas – propõe a realização de um *brainstorm* na reunião de análise causal para identificar ações de melhoria para os ativos do processo de desenvolvimento visando a prevenção das causas identificadas.

Na quarta atividade, Melhoria da Atividade de Desenvolvimento, as melhorias devem ser implementadas e gerenciadas até a sua conclusão. Após a implementação das mudanças, a equipe de desenvolvimento deve ser comunicada. A conclusão das ações e o esforço para implementação deve ser registrado no repositório do sistema causal.

2.4.3 Reunião de *Post Mortem*

No que se refere à análise de causa raiz, vale destacar o conceito de reunião de *post mortem*, embora não seja uma técnica propriamente dita, é uma prática bastante usual na qual a análise de causa raiz tem sido empregada com frequência em projetos de desenvolvimento de software. Conforme LEHTINEN *et al.* (2014a), as retrospectivas, também conhecidas como reunião de *post mortem*, são atividades onde os membros do time compartilham experiências sobre problemas e suas causas, analisando um projeto encerrado recentemente e/ou uma iteração. A análise de causa raiz tem se destacado como uma prática usual em retrospectivas de projeto de software, sendo tipicamente empregada em reuniões síncronas realizadas pessoalmente (LEHTINEN *et al.*, 2014a).

Retrospectivas são conduzidas em reuniões presenciais, nas quais os membros da

equipe primeiramente identificam os problemas que ocorreram. Em seguida, eles conduzem uma análise de causa raiz de forma colaborativa criando um diagrama de causa e efeito para visualização da causa dos problemas (LEHTINEN *et al.*, 2014a).

Uma retrospectiva de projeto de software pode ser vista como um processo passo-a-passo (LEHTINEN *et al.*, 2014a): primeiramente os problemas referentes ao projeto, iteração ou entrega, são identificados; em seguida, os participantes colaboram para o processo de identificação da causa raiz por meio de um método de análise de causa raiz; ao identificar as causas dos problemas, ideias para a melhoria do processo são desenvolvidas.

Quanto à execução desse processo de retrospectiva, destaca-se o uso de sessões do método KJ para coleta de dados (KIM e KIM, 2014, citado por SANTOS, 2015). O objetivo deste método é definir questões que devem ser respondidas/discutidas sobre os projetos. Recomenda-se que essas questões sejam anotadas em *post-its* e debatidos com os participantes do projeto. Durante a etapa de análise e identificação da causa raiz, as informações obtidas na etapa de coleta de dados são tratadas e registradas (SANTOS, 2015).

DINGSØYR *et al.* (2007) citado por SANTOS (2015) destacam que, para evitar o risco de cometer falhas passadas, alguns aspectos necessitam de uma maior atenção em projetos futuros. Nesse sentido, afirmam que a chave para prevenção de problemas de maneira efetiva é o controle da causa dos problemas, dado que um problema não pode ser resolvido sem a resolução das suas causas. Logo, retrospectivas são um meio para auxiliar a identificação e prevenção da recorrência de problemas que ocorreram em projetos prioritários.

Por conseguinte, através deste tipo de retrospectiva é possível aprender com os sucessos ou fracassos passados com o objetivo de melhorar o desenvolvimento de software futuro, pois nessas retrospectivas os membros da equipe compartilham experiências sobre os problemas e as suas causas (LEHTINEN *et al.*, 2014a; SANTOS, 2015).

Haja vista as vantagens de se executar essa prática de reunião de retrospectiva como uma forma de se introduzir a análise de causa raiz dentro de um projeto, observa-se que, caso o processo de retrospectiva não seja leve, sob determinadas restrições de orçamento e tempo, raramente ela é conduzida (GLASS, 2002 citado por LEHTINEN *et al.*, 2014a).

2.5. Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas

Tendo em vista o grande número de técnicas e métodos existentes aplicáveis ao processo de análise de causa e resolução de problemas, não seria possível identificá-los apenas por meio de uma revisão informal da literatura, assim como não seria factível analisá-los sem observar as suas deficiências e limitações por meio de estudos que descrevem a aplicação prática dessas técnicas em engenharia de software.

Desta forma, decidiu-se por executar um mapeamento sistemático da literatura, apresentado de forma completa no Apêndice I, cujo objetivo foi o de identificar as etapas mais características de um processo de análise de causa e resolução de problemas, bem como as práticas mais recomendadas na sua execução. Não obstante a identificação dessas etapas e práticas, esse mapeamento visou identificar também quais os processos, técnicas, ferramentas e lições aprendidas aplicadas em cada etapa desse processo. O resultado final desse mapeamento proporcionou uma maior clareza sobre as etapas envolvidas nesse processo a partir da definição de um conjunto de requisitos para elaboração de um método para análise de causa e resolução de problemas.

O mapeamento sistemático contemplou uma análise, quantitativa e qualitativa, de 35 publicações desde 1975 até 2015. A partir da execução da expressão de busca na base de dados da Scopus, os critérios de seleção definidos foram aplicados e essas publicações foram extraídas. O detalhamento do protocolo de pesquisa e os resultados obtidos, os quais foram revisados por um segundo pesquisador, estão discriminados no Apêndice I deste trabalho. A consolidação das informações obtidas durante a análise das publicações viabilizou o entendimento das etapas mais importantes para a construção de um método para análise de causa e resolução de problemas, da mesma maneira que permitiu uma maior compreensão das práticas mais utilizadas durante a execução de cada uma das etapas identificadas.

Quanto às etapas mais importantes, as quais foram mais utilizadas e/ou mencionadas através de cada publicação analisada, estas foram definidas como obrigatórias para um processo de análise de causa e resolução de problemas e estão associadas aos seguintes requisitos: (I) Coletar os indícios relacionados ao problema; (II) Analisar e Identificar as causas raiz; (III) Tratar as causas raiz identificadas. Assim sendo, um método que vise atender ao referido processo deve contemplar, primordialmente, este

conjunto de requisitos.

Quanto às demais etapas observadas através das publicações, estas foram definidas como opcionais e a sua adoção depende do contexto do problema a ser analisado, estando associadas aos seguintes requisitos: (I) Priorizar os problemas e/ou soluções; (II) Armazenar as informações obtidas no processo de análise e tratamento. Estas etapas são definidas como recomendadas.

Quanto às práticas mais importantes para a execução desse processo, dada as informações analisadas de cada publicação, obtém-se dois grupos: das práticas obrigatórias, abrangendo as práticas básicas que são fundamentais nas etapas obrigatórias; das práticas recomendadas, o qual contempla as práticas que foram relatadas como importantes em determinadas publicações.

As práticas definidas como obrigatórias foram mapeadas aos seguintes requisitos: (I) Promover a participação de todos os envolvidos com o problema durante as fases de coleta e análise de causa; (II) Explorar as relações de causa e efeito dos indícios coletados; (III) Designar uma equipe responsável pelo tratamento das causas raiz.

As demais práticas definidas como recomendadas foram mapeadas aos requisitos: (I) Prever a priorização dos problemas/soluções; (II) Compartilhar o conhecimento adquirido durante o processo de análise e resolução de problemas.

A consolidação dos requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas pode ser vista por meio da Tabela 1, a qual associa cada requisito como uma etapa ou prática, obrigatória ou recomendada.

Tabela 1 – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas

Nível de Recomendação		**Sigla**	**Requisitos**
Etapas	**Obrigatórias**	EO.I	Coletar os indícios relacionados ao problema
		EO.II	Analisar e Identificar as causas raiz
		EO.III	Tratar as causas raiz identificadas
	Recomendadas	ER.I	Priorizar os problemas e/ou soluções
		ER.II	Armazenar as informações do processo
Práticas	**Obrigatórias**	PO.I	Promover a participação dos envolvidos com o problema na coleta e análise
		PO.II	Explorar as relações de causa e efeito dos indícios
		PO.III	Designar uma equipe de ação para o tratamento das causas
	Recomendadas	PR.I	Prever a priorização dos problemas/soluções
		PR.II	Compartilhar o conhecimento adquirido no processo

No que tange às etapas e práticas, obrigatórias e recomendadas, é fundamental esclarecer o seu propósito e de que forma cada uma delas estão alinhadas, a fim de facilitar a implementação dos requisitos para a elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas.

2.5.1 Descrição das etapas e práticas obrigatórias

Os requisitos associados às etapas e práticas obrigatórias são aqueles que necessariamente precisam ser atendidos por um método de análise de causa e resolução de problemas. Para facilitar a relação entre cada etapa e prática obrigatória, foram utilizadas as seguintes siglas: EO (Etapa Obrigatória) e PO (Prática Obrigatória). A seguir, segue a descrição de cada um dos requisitos e de que forma eles foram implementados na literatura.

EO.I – Coletar os indícios relacionados ao problema

O requisito "EO.I" está associado a uma etapa considerada obrigatória que visa ao levantamento das informações relacionadas ao problema observado. Normalmente esse levantamento tende a ser realizado por meio de reuniões com a equipe envolvida no problema, seja utilizando alguma técnica específica como *brainstorming*, ou por meio de um conjunto de perguntas e questionamentos, conforme observado em diversas publicações (DEW, 1991; MAYS *et al.*, 1990; MAYS, 1990; LEHTINEN *et al*., 2011; COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; DORSCH *et al.*, 1997; JIN *et al.*, 2007; BJORNSON, 2009; LEHTINEN *et al.*, 2014a).

EO.II – Analisar e Identificar as causas raiz

O requisito "EO.II" está associado a uma etapa considerada obrigatória que é caracterizada pelo processo de análise e identificação da causa raiz do problema observado, em função das informações levantadas durante a etapa de coleta (EO.I). Vale mencionar que, em determinadas situações, essa etapa de análise pode ser precedida por um processo de priorização dos problemas, dado que nem sempre todos os problemas identificados são relevantes o suficiente para um processo de análise de causa.

Neste momento, normalmente aplica-se alguma técnica para apoiar a identificar a causa raiz a fim de se investigar as relações de causa e efeitos a partir dos indícios

coletados. No que tange às técnicas aplicadas, destacam-se: Diagramas de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa) (GRADY, 1996; DORSCH *et al.*, 1997; CARD, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2008; KALINOWSKI *et al.*, 2008; BJORNSON *et al.*, 2009; GUPTA *et al.*, 2009; SHENVI, 2009; JAYSWAL *et al.*,2011; DONAUER *et al.*, 2015); *Brainstorming* (GRADY, 1996; DORSCH, 1997; GONÇALVES *et al.*, 2008; SHENVI, 2009); Ferramentas baseadas em categorização das causas (COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; LESZAK *et al.*, 2000; LESZAK *et al.*, 2002; POLLACK e UTTAMCHANDANI, 2006; MIRGORODSKIY e MILLER, 2008; GUPTA *et al.*, 2009; HONDA e YAMADA, 2012); Ferramentas que exploram as relações de causa e efeitos, como grafos e mapas causais (DEW, 1991; ROONEY e HEUVEL, 2004; JIN *et al.*, 2007; BJORNSON *et al.*, 2009; LEHTINEN *et al.*, 2011; LEHTINEN *et al.*, 2014a; LEHTINEN *et al.*, 2014b); Conjunto de perguntas que induzem o questionamento da causa raiz (ENDRES, 1975; MAYS *et al.*, 1990; MAYS, 1990; JIN *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2008; ECKERT e HUGHES, 2010).

EO.III – Tratar as causas raiz identificadas

O requisito "EO.III" está associado a uma etapa considerada obrigatória que é caracterizada pela levantamento e implementação das ações de melhoria para eliminar as causas identificadas. Além disso, ao longo desta etapa pode ocorrer também o monitoramento das ações de melhoria implementadas.

Vale destacar que esta etapa, em determinadas situações, é precedida por um processo de priorização, dado que nem sempre as organizações possuem recursos suficientes para a melhoria de todas as causas identificadas. Ademais, a execução dessa etapa normalmente tende a ser apoiada por uma equipe especialmente designada, denominada em algumas publicações de Equipe de Ação (MAYS *et al.*, 1990; COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; CARD, 2005).

PO.I – Promover a participação dos envolvidos com o problema na coleta e análise

O requisito "PO.I" está associado a uma prática considerada obrigatória que destaca a importância de envolver todos aqueles que podem colaborar com o fornecimento de informações sobre a situação do problema nas etapas de coleta (EO.I) e análise e identificação (EO.II).

Alguns autores corroboram com a importância desta prática (MAYS *et al.*, 1990).

Eles destacam que na etapa de identificação da causa raiz, mais importante do que a ferramenta em si, é a participação dos envolvidos na análise, principalmente daqueles que possivelmente tenham relação com a inserção do defeito. Pois a análise de causa realizada diretamente pelo desenvolvedor resulta em uma maior acurácia na determinação da causa do defeito e uma maior relevância nas ações de prevenção.

A fim de viabilizar desta prática nas etapas de coleta (EO. I) e análise e identificação (EO. II), observa-se o forte uso da técnica de *Brainstorming*, geralmente apoiada por uma série de perguntas ("o quê?", "como?", "por quê?", "quem?", "quando?"). BJORNSON (2009) observou em seu estudo que o uso do *Brainstorming* como uma técnica nominal com o uso de *post-its*, onde cada participante tem o seu tempo para citar suas colaborações, viabilizou a participação de todos os envolvidos de forma mais efetiva, em comparação com uma técnica interativa em que cada um se predispunha a falar.

Ao escolher a técnica mais adequada para a execução desta prática, vale lembrar o destaque de LEHTINEN *et al.* (2011), os quais agruparam as abordagens que incitam a colaboração dos participantes envolvidos na análise de causa em dois grupos: as públicas e as anônimas. As anônimas encorajam os participantes a endereçarem as causas que eles acreditam que são perigosas de serem ditas, enquanto as públicas ajudam a endereçar as causas que muitos participantes consideram de alto valor. Em suma, ambos os tipos de abordagem contribuem e têm a sua importância para identificação da causa raiz.

PO.II – Explorar as relações de causa e efeito dos indícios coletados

O requisito "PO.II" está associado a uma prática considerada obrigatória que destaca a importância da análise das relações de causa e efeito estabelecidas entre os indícios relacionados ao problema levantados na etapa de coleta (EO.I). Esta prática é fundamental para auxiliar na execução da etapa de análise e identificação (EO.II).

Em consonância com esta prática, JIN *et al.* (2007) destacam que o nexo de causalidade e a sua importância na resolução de problemas é o que leva à análise dos dados de acordo com os relacionamentos de causa e efeito. Tal análise envolve identificar problemas, provas, causas, consequências e soluções que fornecem ações corretivas e preventivas.

Com o objetivo de identificar esses itens, diversas técnicas têm sido aplicadas durante a execução desta prática, conforme citado na etapa de análise e identificação (EO.II). Todavia, algumas limitações foram identificadas com relação à essas técnicas e

precisam ser esclarecidas, a fim de evitar que os mesmos erros sejam cometidos por novos métodos propostos por este conjunto de requisitos.

Quanto ao uso do Diagrama de Ishikawa, LEHTINEN *et al.* (2011) observaram que os diagramas de causa e efeito dos métodos de análise de causa, identificados em seu mapeamento sistemático, apresentaram um problema de duplicação da mesma causa nas situações onde uma causa raiz era representada por mais de uma causa. Outras técnicas como a árvore lógica (LATINO e LATINO, 2006 citado por LEHTINEN *et al.*, 2011), diagrama de sequência seguido por um diagrama de decisão (ROONEY e HEUVEL, 2004 citado por LEHTINEN *et al.*, 2011) também apresentaram este mesmo problema de duplicidade.

BJORNSON (2009) também analisa de forma crítica o uso da técnica de Diagrama de Ishikawa, onde fatores menos relevantes são expostos pelo simples objetivo de completar a estrutura da espinha de peixe. Além disso, destaca também que nessa técnica dificilmente são analisadas as subcausas das causas, pois as causas não são analisadas em uma profundidade maior que três níveis, o que poderia dificultar a visualização do diagrama, e a maioria delas são causas genéricas.

Não obstante, BJORNSON (2009) observou também, a partir de um experimento, que os estudantes que utilizavam o Diagrama de Ishikawa atribuíam subcausas a todas as causas principais, independente da sua relevância. Já os estudantes que utilizavam a abordagem de Mapa Causal tipicamente selecionavam as causas mais relevantes e criavam uma cadeia de causa e efeito, ignorando as causas irrelevantes. Logo, segundo BJORNSON (2009), as cadeias mais longas geradas pela abordagem de Mapa Causal tendem a desenhar um cenário com mais detalhes da situação do projeto, primeiramente destacando as causas gerais e, em um segundo momento, destacando as causas mais específicas no final da cadeia.

AMMERMAN (1998) citado por LEHTINEN *et al.* (2011) sugere que a estruturação da causa do problema possa ser feita com ferramentas visuais como listas, planilhas e gráficos. Provavelmente muitas causas serão identificadas após serem visualizadas com essas ferramentas, entretanto, dado que o problema de duplicação dos problemas poderá ocorrer, vale ressaltar a importância de revisar e validar a estrutura elaborada.

Quanto à categorização das causas, prática adotada em diversos estudos, ENDRES (1975) ressalta que conhecer os tipos de erros que ocorrem nos sistemas é útil para todos aqueles que desejem melhorar a confiabilidade do software. Entretanto, MAYS *et al.*

(1990) lembram que embora os esquemas de classificação de erros sejam úteis para identificar as áreas e atividades propensas a erros, eles não determinam a causa raiz. Além disso, esses esquemas podem esconder os detalhes dos erros e suas causas. A fim de evitar esse problema, ROONEY e HEUVEL (2004) mencionam a importância de evitar classificações generalizadas.

Ainda no âmbito do processo de categorização, observa-se que esse processo pode ocorrer tanto para o problema, como também para a sua respectiva causa. COLLOFELLO e GOSALLA (1993) esclarecem a distinção entre esses dois processos de categorização. A categorização do problema auxilia na identificação da sua respectiva causa e também na avaliação de custo-benefício entre eliminação versus prevenção do problema. Enquanto isso, a categorização da causa provê um meio para avaliar o custo-benefício da implementação das recomendações para eliminar ou reduzir a causa dos problemas.

PO.III – Designar uma equipe de ação para o tratamento das causas

O requisito "PO.III" está associado a uma prática considerada obrigatória que visa garantir a execução e andamento das melhorias advindas ao longo da etapa tratamento (EO.III). Para isso, faz-se necessário designar uma equipe dedicada ao tratamento das causas raiz identificadas. Essa equipe será responsável por assegurar que as ações preventivas propostas serão implementadas.

Ao implementar esta prática, recomenda-se que essa equipe seja utilizada como um recurso dedicado, protegido contra corte de recursos e pressões de cronograma, bem como seja composta por pessoas motivadas e dedicadas à melhoria dos processos (MAYS *et al.*, 1990).

Quanto às suas atribuições, de forma geral, a equipe de ação é responsável por (MAYS *et al.*, 1990; COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; CARD, 2005): avaliar e priorizar as recomendações; planejar e agendar a implementação das recomendações; rever regularmente as ações propostas; discutir o status das ações abertas; revisar ações encerradas para assegurar que o trabalho foi efetivamente completo; reportar o status das atividades para o gerente; resolver conflitos e combinar propostas relacionadas; monitorar o progresso da implementação e da eficácia das ações; comunicar as ações e status da equipe de análise.

2.5.2 Descrição das etapas e práticas recomendadas

Os requisitos associados às etapas e práticas recomendadas são aqueles cuja implementação vai depender do contexto do problema e/ou do contexto da organização que está executando o processo de análise de causa e resolução de problemas. Para facilitar a relação entre cada etapa e prática recomendada, serão utilizadas as seguintes siglas: ER (Etapa Recomendada) e PR (Prática Recomendada). A seguir, segue a descrição de cada um dos requisitos e de que forma eles foram implementados na literatura.

ER.I – Priorizar os problemas para análise e/ou das soluções para tratamento

O requisito "ER.I" está associado a uma etapa considerada recomendada que visa avaliar quão prioritário é a análise de determinado problema, antes da etapa de análise e identificação (EO.II), bem como quão prioritário é o tratamento de determinada causa, antes da etapa de tratamento (EO.III). Dado o propósito apresentado, esta etapa pode ser aplicada em dois momentos distintos dentro de um processo de análise de causa e resolução de problemas. Normalmente essa avaliação de prioridade, ou priorização, ocorre em função de alguma diretriz da organização, ou pela aplicação de alguma técnica específica.

No que tange às técnicas aplicáveis nesta etapa, elas podem ser fundamentadas: com base nos objetivos de negócio da organização (GRADY, 1996); considerando uma probabilidade bayesiana (KALINOWSKI, 2008) ou gerada por uma rede lógica de Markov (ZAWAWY *et al.*, 2015); por meio de um gráfico de Pareto (KALINOWSKI, 2008; CARD, 2005; LESZAK *et al.*, 2000; LESZAK *et al.*, 2002; JAYSWAL *et al.*, 2011); ponderando a criticidade, impacto e até urgência de cada elemento, ou em função de outras categorias definidas em função do contexto do problema (COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; JIN *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2008; GUPTA *et al.*, 2009; LEHTINEN *et al.*, 2011; ALAEDDINI e DOGAN, 2011; LEHTINEN *et al.*, 2014a; LEHTINEN *et al.*, 2014b; HE *et al.*, 2014; SIKORA *et al.*, 2015); ou até considerando o retorno do investimento da melhoria (valor da prevenção do tipo de defeito versus o custo da prevenção) (MAYS *et al.*, 1990).

ER.II – Armazenar as informações do processo de análise de causa e resolução de problemas

O requisito "ER.II" está associado a uma etapa considerada recomendada que visa registrar todos os dados coletados e/ou informações geradas no decorrer do processo de análise de causa e resolução de problemas, a fim de prover conhecimento para os processos de análise subsequentes. Sugere-se que o registro dessas informações seja feito de forma estruturada a fim de prover uma base de dados de conhecimento para a organização (CARD, 2005; KALINOWSKI *et al.*, 2008; KIM *et al.*, 2008; LESZAK *et al.*, 2002; HONDA e YAMADA, 2012; ZAWAWY *et al.*, 2015).

PR.I – Prever a priorização dos problemas/soluções

O requisito "PR.I" está associado a uma prática considerada recomendada na qual observa-se a importância de prever a execução da etapa de priorização (ER.I) em função das restrições da organização/projeto no qual o método de análise de causa e resolução de problemas está sendo aplicado. Ratificando a importância desta prática, CARD (2005) destaca que são poucas as organizações que podem permitir a implementação de todas as propostas de melhoria de uma só vez. Para algumas organizações, nem sempre é viável realizar o tratamento de todas as causas identificadas, haja vista a avaliação de custo x benefício da melhoria proposta. Todavia, para outras, é imprescindível sanar todos os problemas identificados, caso contrário, o prejuízo poderá ser irreparável.

PR.II – Compartilhar o conhecimento adquirido no processo de análise de causa e resolução de problemas

O requisito "PR.II" está associado a uma prática considerada recomendada que tem o propósito de disseminar o conhecimento adquirido, composto de boas práticas, lições aprendidas e erros recorrentes, por toda a organização.

Uma vez executada a etapa de armazenamento (ER.II), essas informações passam a ser armazenadas e o conhecimento obtido durante a análise de um problema pode ser compartilhado com toda a organização o que colabora para diminuir a recorrência do problema. Nesse sentido, alguns autores (GRADY, 1996; LATINO, 2005) reforçam que o resultado da análise deve ser incorporado em treinamentos e processos de mudança, a fim de que o processo de aprendizagem dos indivíduos seja transferido para as organizações com o objetivo de evitar a recorrência dos erros.

2.6. Considerações Finais

Este capítulo apresentou os principais conceitos que norteiam o processo de análise de causa e resolução de problemas. A forma como as normas e modelos de maturidade tratam esse processo, assim como as técnicas mais difundidas na literatura no âmbito da análise de causa e resolução de problemas, foram resultantes do processo de revisão informal da literatura. Já o conjunto de requisitos para elaboração de um método para análise de causa e resolução de problemas foi gerado a partir do mapeamento sistemático detalhado no Apêndice I deste trabalho. Estes requisitos foram detalhados quanto ao seu propósito e forma de implementação, assim como foram esclarecidas algumas limitações e recomendações que precisam ser observadas durante a sua execução.

Isto posto, uma vez elucidados esses requisitos, eles serão considerados durante a construção do método de análise de causa e resolução de problemas proposto por esta dissertação. Busca-se, a partir do cumprimento dos requisitos propostos, evitar as limitações dos métodos e técnicas apresentados neste capítulo, bem como aplicar as boas práticas observadas no detalhamento de cada requisito.

No próximo capítulo serão detalhados os conceitos inerentes à Teoria das Restrições e como ela vai auxiliar a implementação do conjunto de requisitos apresentados para o método proposto.

3. TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Neste capítulo são apresentados os principais conceitos relacionados à Teoria das Restrições (Theory of Constraints – TOC)*, a motivação para a adaptação dessa técnica ao contexto da análise de causa e resolução de problemas, e as ferramentas que serão utilizadas no método proposto por esta dissertação. Ao final do capítulo são apresentados trabalhos relacionados ao tema.*

3.1 Introdução

Por meio da revisão da literatura realizada no Capítulo 2, foram identificadas diversas técnicas e abordagens que podem apoiar a identificação da causa raiz e sua respectiva resolução em processos de desenvolvimento de software. Todavia, observa-se que grande parte das ferramentas identificadas são baseadas em sessões de *brainstorming* e técnicas pouco formais, como o Diagrama de Ishikawa. Apesar de algumas ferramentas explorarem de forma mais sistemática os relacionamentos de causa e efeito (KIM *et al.*, 2008; LEHTINEN *et al.*, 2011; SCHOTS, 2010; ZAWAWY *et al.*, 2015), o resultado obtido após o estudo de viabilidade de uma dessas técnicas relata um alto tempo demandado pela atividade de identificação da causa raiz (SCHOTS, 2010), dada a necessidade de alta concentração e disciplina exigida pela técnica.

Constata-se que a maioria dessas técnicas não segue regras claras durante a sua execução, sendo altamente dependente do conhecimento subjetivo do responsável pela aplicação da técnica, o que pode levar a análise e tratamento de fatores menos relevantes frente àqueles de maior relevância. Esta situação pode prejudicar todo o processo de análise e resolução do problema, anulando todo o esforço despendido. Não obstante esse cenário, um outro ponto crucial para a eficácia de uma técnica de análise de causa e

resolução de problema é o nexo de causalidade que leva à análise dos dados de acordo com os relacionamentos de causa e efeito (JIN *et al.*, 2007).

Tendo em vista o cenário descrito, buscou-se diferenciar o método proposto nesta dissertação com base nas seguintes características:

- Mitigação da análise de fatores menos relevantes frente a fatores de maior relevância durante o processo de análise de causa raiz;
- Validação do nexo de causalidade nos relacionamentos de causa e efeito, evitando a análise de relacionamentos inexistentes e/ou incoerentes;
- Direcionamento da resolução das causas identificadas de forma estruturada, a fim de prover um plano de ação para os envolvidos no processo.

Uma forma de atender a estas características é o uso das ferramentas relacionadas aos Processos de Pensamento desenvolvidas no contexto da TOC por Eliyahu M. Goldratt ao longo dos anos 80 (COX III e SPENCER, 2008), identificada durante o processo de revisão da literatura.

A fim de contextualizar a aplicabilidade da TOC como metodologia para a elaboração do método proposto por esta dissertação, este capítulo descreve, além da seção introdutória, os conceitos básicos da TOC, seus princípios e fundamentos na seção 3.2, as ferramentas dos Processos de Pensamento na seção 3.3, trabalhos relacionados na seção 3.4, e as considerações finais deste capítulo na seção 3.5.

3.2 Teoria das Restrições

A maneira como muitas organizações abordam o processo de melhoria contínua faz com que esse processo leve anos para apresentar resultados. Ao invés de focar na única parte que tem potencial de produzir resultados imediatos – sua restrição –, essas organizações disseminam um esforço limitado em todas as partes do sistema. Logo, diversas iniciativas baseadas em *Six Sigma* e TQM (*Total Quality Management*) são deixadas de lado pelas organizações por falta de paciência, desmotivação e falta de resultados tangíveis no sistema (DETTMER, 2007).

A TOC, proposta por Goldratt, compara um sistema a uma corrente, onde cada componente desse sistema seria um elo dessa corrente (DETTMER, 2007). Suponha que o objetivo dessa corrente seja transmitir força de uma ponta a outra, passando por todos

os elos. À medida que a força aplicada a essa corrente aumenta, seu elo mais fraco tende a ser cada vez mais a restrição para o alcance desse objetivo. Dessa forma, Goldratt ressalta que o processo de melhoria contínua em um sistema deve ser centrado em sua restrição, pois caso a melhoria seja aplicada em qualquer outro lugar diferente da sua restrição, essa melhoria não será percebida dado que a restrição continua a mesma. Ao tratar a sua restrição, o sistema passa a ficar mais forte, todavia, a restrição não deixa de existir, ela apenas migra para um outro componente do sistema (DETTMER, 2007).

A TOC é uma teoria prescritiva, ou seja, além de informar o que está retendo o desempenho do sistema, também auxilia sobre o que fazer a respeito disso e como fazer. Embora muitas teorias consigam responder a primeira pergunta, e algumas até digam o que deva ser feito, normalmente elas focam em um único processo em vez de olhar o sistema como um todo. Isso demonstra que elas estão completamente alheias ao conceito de restrições do sistema (DETTMER, 2007).

Dentre os princípios que constituem a TOC, destacam-se os seguintes (DETTMER, 2007):

- **Sistemas como correntes:** Os sistemas são como correntes, logo os elos mais fracos precisam ser identificados e fortalecidos;
- **Causa e efeito:** Todos os sistemas operam em um ambiente de causa e efeito, dessa forma, a ocorrência de um determinado evento sempre está relacionado a ocorrência de um outro evento;
- **Efeito indesejável e Causa raiz crítica:** Efeitos indesejáveis em um sistema nem sempre são problemas, mas indicadores, resultantes de uma causa desconhecida. O tratamento desses efeitos indesejáveis de forma isolada apenas remedia o problema de forma temporária dando uma falsa sensação de segurança, pois eventualmente eles podem voltar a ser percebidos. O tratamento da causa raiz crítica elimina todos os efeitos indesejáveis e previne a sua recorrência.
- **Deterioração da solução:** A solução ideal se deteriora com o passar do tempo à medida que o ambiente do sistema sofre mudanças. Dessa forma, um processo de melhoria contínua deve sempre buscar atualizar e manter a eficiência das soluções.
- **Restrições físicas e políticas:** A maioria das restrições identificadas em um sistema tem a sua origem em circunstâncias políticas e não físicas. Restrições físicas são mais fáceis de serem superadas. Restrições políticas, que denotam a

forma como os processos são conduzidos, geralmente são mais difíceis de serem superados e, quando removidas, resultam em um impacto muito maior para o sistema.

A aplicação dos princípios e ferramentas da TOC provê respostas para as quatro questões básicas sobre mudança em um sistema que todo gerente precisa saber (DETTMER, 2007):

- Qual o padrão de desempenho desejado?
- O que precisa ser mudado? (Onde está a restrição?)
- Qual é a mudança apropriada? (O que nós devemos fazer com a restrição?)
- Como a mudança pode ser melhor realizada? (Como nós implementamos a mudança?)

Neste contexto, a fim de prover as respostas para essas perguntas, Goldratt desenvolveu um ciclo de melhoria contínua composto por cinco passos sequenciais para concentrar os esforços de melhoria nos componentes que são capazes de produzir os impactos mais positivos no sistema (DETTMER, 2007). O primeiro passo é a identificação da restrição do sistema e o seu tipo, física ou política. O segundo passo trata da decisão de como explorar a restrição considerando a disponibilidade atual dos componentes, obtendo o máximo de eficiência com o menor custo possível. No terceiro passo deve-se ajustar o restante dos componentes para permitir que a restrição possa operar com o máximo de eficiência (DETTMER, 2007).

Caso os passos anteriores não tenham sido suficientes para a eliminação da restrição, sugere-se a execução do quarto passo, cujo objetivo é a elevação da capacidade produtiva do sistema considerando o investimento em energia, dinheiro, tempo e outros recursos, de tal forma que a restrição inicial seja quebrada. Todavia, novas restrições podem surgir após esse passo, logo, sugere-se a execução do quinto e último passo, cujo objetivo visa evitar identificar novas restrições, evitando que a inércia seja a própria restrição (DETTMER, 2007).

Com o propósito de converter esses passos abstratos em ações concretas, é necessário conhecer as aplicações e ferramentas da TOC, em especial as ferramentas do Processo de Pensamento, as quais serão utilizadas no escopo desta dissertação.

3.3 Processos de Pensamento

As ferramentas do Processo de Pensamento funcionam como um guia para o processo de tomada de decisões e também para representações lógicas. Elas abrangem ferramentas de estruturação de problemas ou representacionais, como a Árvore da Realidade Atual (ARA), a Evaporação de Nuvens (EN) e a Árvore da Realidade Futura (ARF), e ferramentas como a Árvore de Pré-Requisitos (APR) e a Árvore de Transição (AT) que facilitam uma implementação eficaz (COX III e SCHLEIER, 2013).

O Processo de Pensamento, quando utilizado como método e ferramenta de resolução de problemas, possibilita que os gestores recorram às relações de causa e efeito, entre as metas finais e suas condições básicas, a fim de retratar a realidade, perceber sua complexidade e visualizar conflitos e, em paralelo, descobrir um caminho a seguir. Essas ferramentas lidam com a complexidade e com interações sistêmicas sem perder de vista fatores fundamentais: problemas básicos e dilemas espinhosos que precisam de solução para que se obtenha um avanço verdadeiro (COX III e SCHLEIER, 2013).

O Processo de Pensamento foi concebido para simplificar mudanças benéficas, que na maioria das vezes também exigem, ou estão relacionadas, à superação da resistência à mudança. Assim, ele direciona o usuário ao encontro das respostas básicas com relação à sequência da mudança, isto é, “Por que mudar?”, “Para o que mudar?”, e “Como causar a mudança?”. Por exemplo, a ARA ajuda a identificar o que precisa ser mudado em um sistema. A EN é então aplicada para identificar o conflito no ambiente do sistema ou a realidade que pode estar provocando esse conflito. A EN também oferece ideias sobre o que pode ser mudado para invalidar o conflito e resolver o problema básico. A ARF, utilizada em consonância com a Ressalva de Ramificação Negativa (RRN), uma subárvore da ARF, toma essas ideias de mudança e demonstra que a nova realidade criada possibilitaria a resolução das condições sistêmicas insatisfatórias e não criaria novas. A APR distingue os obstáculos à implementação e a sequência desejada para superá-los e a AT é um recurso para criar um plano de implementação passo a passo (COX III e SCHLEIER, 2013).

Embora o Processo de Pensamento tenha sido criado e introduzido como um conjunto integrado de ferramentas de resolução de problemas, sabemos também que, se uma organização utilizar essas ferramentas, individualmente ou em conjunto, poderá desenvolver e implementar de forma bem-sucedida as suas soluções de mudança (SCHEINKOPF, 1999).

O Processo de Pensamento abrange e é criado com base em três componentes lógicos básicos (SCHEINKOPF, 1999). Dois desses elementos expressam o raciocínio de causa e efeito empregando a lógica "se-então" baseada em suficiência ou a lógica "a fim de, devemos ter" baseada em necessidade. A ARA, a ARF e a AT são diagramas lógicos baseados em suficiência, ao passo que a EN e a APR são estruturas lógicas baseadas em necessidade. O terceiro elemento, denominado Categorias de Ressalva Legítima (CRL), expressa o conjunto de regras que governam a lógica em uso e oferece um protocolo para estabelecer e contestar o raciocínio e a lógica de causa e efeito existente (COX III e SCHLEIER, 2013).

As CRL são compostas por sete categorias que legitimam, despersonalizam e despolitizam quaisquer contestações ao raciocínio atual. Essas regras são utilizadas para aumentar e tornar o processo de modelagem mais rigoroso e para confirmar a veracidade das relações lógicas construídas enquanto diagramas lógicos em formato de árvore. Desse ponto resulta um processo lógico, estruturado e rigoroso para orientar a tomada de decisões gerenciais, utilizando a intuição e o conhecimento das pessoas envolvidas e contestações ao raciocínio existente por meio dos protocolos da ARA (COX III e SCHLEIER, 2013).

As ferramentas dos Processos de Pensamento estão descritas de forma sucinta nas seções subsequentes. Os termos básicos e os procedimentos necessários para o desenvolvimento dos Processos de Pensamento estão detalhados no Apêndice II.

3.3.1 Árvore da Realidade Atual (ARA)

A ARA é uma ferramenta lógica baseada em suficiência (se-então) utilizada para identificar e descrever relações de causa e efeito que possam ajudar a determinar efeitos indesejáveis (EIs) do sistema (COX *et al.*, 2003; SULLIVAN *et al.*, 2007 citado por COX III e SCHLEIER, 2013). Essa ferramenta ajuda-nos a identificar algumas causas raiz que originaram todos os efeitos indesejáveis que estão sendo presenciados (DETTMER, 2007).

A ARA destina-se a responder a pergunta "O que mudar?", processo em que se toma cuidado para evitar medidas que lidam meramente com os sintomas. Essa ferramenta será particularmente eficaz se os sintomas forem provocados por uma política, e não por uma restrição física no sistema existente (COX III e SCHLEIER, 2013).

3.3.2 Evaporação das Nuvens (EN)

As restrições políticas identificadas na ARA, em diversas situações, podem ser vistas como um conflito ou dilema entre duas medidas (ações) opostas. A EN, também conhecida por Diagrama de Resolução de Conflitos – DRC – (DETTMER, 2007), é a ferramenta do Processo de Pensamento aplicada para essas situações. A EN é empregada para resolver problemas, utilizando a lógica baseada em necessidade (a fim de, devemos ter), que podem surgir não apenas das aparentes ações, atitudes e comportamentos opostos irreconciliáveis, mas também do que pode ser considerado um conflito crônico decorrente de ações concorrentes, de um conflito de interesse, ou como dilemas intratáveis de natureza política, normativa ou ética (COX III e SCHLEIER, 2013).

Apesar da ferramenta EN estruturar o conflito, ela pressupõe que as ações, ou visões opostas, podem ser resolvidas por uma solução ganha-ganha para gerar a meta ou o objetivo A do sistema por meio da consecução de estados intermediários necessários, B e C. A fim de encontrar essa solução, destacam-se os pressupostos ou os motivos pelos quais se considera que essas relações existam. Alguns desses pressupostos podem ser apresentados como comentários nos "balões de pensamento" do diagrama de EN da Figura 4.

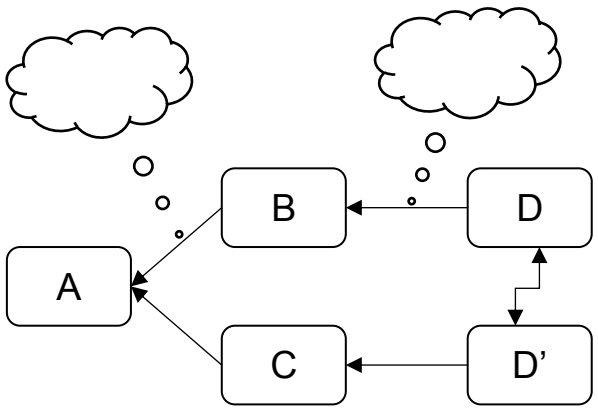


Figura 4 – Diagrama de EN (COX III e SCHLEIER, 2013).

Tão logo os pressupostos são trazidos à tona e enunciados, em determinadas situações, eles podem ser considerados falsos ou frágeis e o conflito representado pela nuvem evaporar. Quando os pressupostos são considerados válidos, eles podem ser abordados de uma maneira que os invalide, diminua sua importância ou impacto, ou possibilite uma resolução do conflito. Logo, deve-se desenvolver uma lista desses pressupostos e das "injeções" que podem ser utilizadas para "combater" esses pressupostos a fim de resolver o conflito (COX III e SCHLEIER, 2013).

3.3.3 Árvore da Realidade Futura (ARF)

Diferente da ARA, o processo de desenvolvimento da ARF inicia-se com a identificação das ações, condições ou soluções preferidas, denominadas por Goldratt como “injeções”, e prossegue com o mapeamento das relações lógicas baseadas em suficiência, a confirmação sobre se os elos causais nos conduzirão ao que consideramos os resultados desejáveis, isto é, a eliminação do que Dettmer chamou de “discrepância” (COX III e SCHLEIER, 2013).

A construção da ARF pode ser vista como um “ensaio e se” que ajuda a identificar as ações e as condições que serão necessárias e suficientes para viabilizar os efeitos desejáveis ou a mudança e se outros EIs também surgirão dessas ações (RIZZO, 2001; KENDALL, 1998 citado por COX III e SCHLEIER, 2013).

Subárvores podem ser construídas à medida que uma dúvida ou um tipo de ressalva “Sim, mas...” seja levantada. Essas situações indicam um efeito secundário negativo decorrente da solução proposta. Ao invés de rechaçar os comentários ou abandonar a proposta, somos incentivados pela filosofia da TOC a investigar saídas para adaptá-la e evitar os efeitos secundários negativos, mantendo, ao mesmo tempo, os efeitos positivos por meio de um método denominado como Ressalva de Ramificação Negativa (RRN) (COX III e SCHLEIER, 2013).

3.3.4 Árvore de Pré-Requisitos (APR)

O objetivo da APR, que complementa e baseia-se na ARF, é procurar identificar obstáculos locais, omissões e condições que podem obstruir o caminho que leva aos resultados desejados e, em seguida, estabelecer novos objetivos intermediários e metas equiparáveis para superar esses obstáculos. A APR muitas vezes é desenvolvida por uma equipe para lidar com os obstáculos que ela enfrenta. Por isso, as práticas sociais e as relações de poder embutidas no problema serão consideradas implicitamente e até mesmo explicitamente. Quando a equipe ou as relações de trabalho são consideradas um obstáculo, essas questões normalmente são levantadas (COX III e SCHLEIER, 2013).

3.3.5 Árvore de Transição (AT)

Segundo COX III e SCHLEIER (2013), o objetivo da AT é identificar tarefas e ações necessárias e suficientes para concretizar os objetivos intermediários da APR,

superar o que possa dar errado, oferecer um fundamento lógico e um plano de ação e, desse modo, apresentar o que pode ser considerado um plano de implementação passo a passo coerente e que também considere as crenças, os sentimentos e as normas prevalecentes.

3.4 Trabalhos Relacionados

No que se refere à importância da aplicação da TOC e dos Processos de Pensamento, vale destacar alguns trabalhos. COSTA (2012) propõe uma abordagem de melhoria contínua baseada na TOC que, além de auxiliar as organizações na investigação sistemática dos fatores de influência que causam efeitos indesejáveis ao desempenho do processo de software, também auxilia na elaboração de melhorias candidatas que considerem os fatores de influência envolvidos e os efeitos causados pelas ações de melhoria aplicadas. A abordagem é composta também por um processo com atividades, tarefas e procedimentos para apoiar a melhoria contínua do processo de software.

No tocante à aplicação dos Processos de Pensamento, COSTA (2012) fornece também um conjunto de diretrizes e passos que encapsulam os princípios da TOC, o que reduz a necessidade de um conhecimento profundo sobre ela por parte dos envolvidos na melhoria. A abordagem é composta por seis etapas sequenciais: Definir objetivo de melhoria; Preparar para análise; Identificar restrição; Elaborar proposta de melhoria; Implementar melhoria candidata; Registrar resultados.

Entretanto, COSTA (2012) ressalta que para a utilização da abordagem proposta é necessário que a organização possua processos organizacionais definidos e que uma decisão de melhoria de determinado processo seja tomada pela alta direção ou departamento responsável. A partir da análise dos estudos experimentais aplicados em seu trabalho, COSTA (2012) sugere que a abordagem seja aplicada em processos maduros cujos problemas mais óbvios e fáceis de serem solucionados já foram removidos, o que justificaria o rigor da aplicação da abordagem proposta.

LEE e CHANG (2012) propõe o desenvolvimento de um *framework Six Sigma* a partir da avaliação de forças e fraquezas das seguintes ferramentas utilizadas no âmbito da análise de causa e resolução de problemas: Processos de Pensamento da TOC, Análise de Causa Raiz (RCA), metodologia DMAIC. De forma geral, foram avaliadas, para cada uma dessas ferramentas, as abordagens utilizadas na: Definição do problema; Identificação da causa raiz; Correção da causa identificada; Monitoramento da melhoria.

LEE e CHANG (2012) pontuaram que a TOC provê um poderoso conjunto de ferramentas para auxiliar o alcance de cada objetivo: os cinco passos de focagem (metodologia para identificar e eliminar restrições); o Processo de Pensamento (ferramentas para analisar e resolver problemas); e a Contabilidade de ganhos (metodologia para medir o desempenho e orientar sistemas de gestão).

Destaca-se que a abordagem para identificação da causa raiz com as tradicionais ferramentas de qualidade como o Diagrama de Espinha de Peixe, com a busca por diversas causas raiz possíveis de um único problema, é adequada para sistemas relativamente simples e inadequada para sistemas complexos ou sistemas organizacionais auto referenciáveis (LEE e CHANG, 2012). Neste caso, o framework proposto pelos autores indica que o ideal seria utilizar a abordagem da TOC para análise de causa raiz, a qual é centrada na árvore da realidade atual do Processo de Pensamento que elenca diversos problemas com que o sistema sofre e, em seguida, constrói rigorosa lógica de causa e efeito para identificar uma ou muitas causas profundas na raiz de todos eles (LEE e CHANG, 2012).

Um ponto que merece atenção na aplicação da TOC é que, se o processo escolhido está fundamentalmente inadequado, não importa quão bem gerenciado ele seja, ele não vai alcançar as metas e objetivos propostos (LEE e CHANG, 2012). O problema pode não estar necessariamente no desenvolvimento das atividades de um processo, mas sim em seu propósito específico. Dessa forma, faz-se necessário avaliar a relevância de cada processo/problema para evitar análise de um contexto mal fundamentado. Por fim, vale ressaltar que a intenção da pesquisa proposta por LEE e CHANG (2012) tinha como objetivo apenas identificar o framework advindo da combinação da RCA, TOC e Six Sigma. Desta forma, não buscou verificar o impacto da aplicação deste framework e compará-lo com o desempenho atual dessas ferramentas.

3.5 Considerações Finais

Neste capítulo foram apresentados a TOC e os seus fundamentos, bem como o conjunto de ferramentas do Processo de Pensamento que serão utilizados no método proposto por esta dissertação. A TOC foi concebida como uma teoria voltada para a melhoria contínua de processos, na qual busca-se identificar a sua restrição e eliminá-la, provendo assim uma melhoria percebida. A fim de materializar essa teoria e os seus preceitos, foi proposto um conjunto de ferramentas do Processos de Pensamento. Essas

ferramentas, além de auxiliar no processo de melhoria contínua de um sistema ou processo, pode também ser aplicada em uma série de contextos, inclusive no âmbito da análise de causa e resolução de problemas.

Em linhas gerais, o Processo de Pensamento visa direcionar o usuário ao encontro das respostas básicas de um processo de mudança: “Por que mudar?”, “Para o que mudar?”, e “Como causar a mudança?”. Este conjunto de ferramentas (ARA, EN, ARF, APR, AT) do Processo de Pensamento provêm as respostas necessárias para essas perguntas. Haja vista que estas ferramentas tenham sido criadas para serem utilizadas de forma conjunta, nada impede de que elas sejam aplicadas individualmente visando atender algum processo de mudança. Um outro ponto de destaque são as Categorias de Ressalva Legítima (CRL), utilizadas para ratificar o processo de raciocínio que está sendo modelado nos diagramas lógicos do Processo de Pensamento.

Com relação aos trabalhos relacionados, observa-se que a aplicação da TOC é mais adequada a processos maduros cujos problemas mais óbvios e fáceis de serem solucionados já foram removidos. Já para problemas menos complexos, ou que envolvem um número menor de variáveis, o ideal é a aplicação de técnicas mais simples como o Diagrama de Ishikawa.

Uma vez postos os conceitos relacionados à TOC e às ferramentas do Processo de Pensamento, pretende-se aplica-las dentro das atividades do método proposto por esta dissertação. O próximo capítulo apresenta os procedimentos que compõem esse método e de que forma as suas atividades implementam os requisitos elaborados na seção 2.5 e os objetivos que o fundamentam.

4. MÉTODO PARA ANÁLISE DE CAUSA E RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS UTILIZANDO A TEORIA DAS RESTRIÇÕES

Neste capítulo são apresentados os procedimentos que compõem o método proposto nesta dissertação para auxiliar a análise de causa e resolução de problemas em projetos de software, por meio da aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições.

4.1 Introdução

Diversas situações indesejadas e pequenos erros podem ser observados ao longo do processo de desenvolvimento de software. Entretanto, nem sempre todos os fatores que causam essas situações indesejadas têm o mesmo grau de impacto na qualidade final do produto. Saber identificar de maneira correta a verdadeira causa raiz do problema é fundamental para evitar a recorrência desses erros em projetos futuros.

A fim de auxiliar a identificação e tratamento das causas raiz de problemas em projetos de software, uma séria de técnicas e abordagens foram desenvolvidas ao longo do tempo. Algumas das técnicas e práticas mais difundidas relacionadas à implementação do processo de análise de causa e resolução de problemas foram descritas no Capítulo 2 deste trabalho. Não obstante, um mapeamento sistemático da literatura, descrito no Capítulo 2, foi conduzido com o propósito de identificar as etapas mais características de um processo de análise de causa e resolução de problemas, bem como as práticas mais recomendadas na sua execução. Ao final desse mapeamento foi possível observar quais as etapas mais recomendadas na literatura para se obter um método sistemático para o processo de análise de causa e resolução de problemas, juntamente com as práticas mais

adotadas na execução de cada uma dessas etapas. Após a consolidação das informações do mapeamento, juntamente com as outras obtidas nos trabalhos correlatos ao tema, obteve-se o conjunto de requisitos (seção 2.5) que nortearam a construção do método sistemático descrito neste capítulo.

Nota-se que as ferramentas mais difundidas no âmbito da análise de causa raiz, como o Diagrama de *Ishikawa* e as seções de *Brainstorming*, visam justamente investigar as relações de causa e efeito por meio da participação de um conjunto de pessoas envolvidas com o problema em questão. Entretanto, constata-se que essas técnicas são dependentes do conhecimento da pessoa responsável pela sua condução e que nem sempre trazem resultados efetivos, como, por exemplo, o Diagrama de *Ishikawa* que coloca em níveis de igual relevância fatores com pesos distintos para o problema em questão (BJORNSON, 2009). Embora a maioria das técnicas de análise de causa raiz tenha como objetivo exteriorizar o pensamento humano, observa-se que algumas delas limitam o processo de pensamento à medida que obrigam as pessoas a preencherem alguns requisitos que nem sempre auxiliam de forma efetiva na análise do problema (BJORNSON, 2009).

Algumas abordagens estudadas apresentaram uma nova forma de conduzir o processo de análise de causa raiz (KIM *et al.*, 2008; LEHTINEN *et al.*, 2011; SCHOTS, 2010; ZAWAWY *et al.*, 2015). Entretanto, o resultado obtido após o estudo de viabilidade da abordagem apresentada por SCHOTS (2010) relatou um alto tempo demandado pela atividade de identificação da causa raiz, dada a necessidade de um alto nível de concentração e disciplina exigida pela técnica, a qual não foi considerada tão trivial.

Vale frisar que o objetivo deste trabalho é a criação de um método para análise de causa e resolução de problemas que estruture o processo de raciocínio humano de forma a reduzir o viés dos envolvidos com a análise durante a fase de identificação da causa raiz, considere a validação dos relacionamentos de causa e efeito estabelecidos, e direcione o tratamento das causas identificadas. Assim sendo, a partir da integração dos requisitos apresentados na seção 2.5 do Capítulo 2 com as características diferenciais do método apresentadas na seção 3.1 do Capítulo 3, obteve-se os requisitos para o método proposto neste trabalho, descritos na Tabela 2.

Tabela 2 - Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas x Tarefas previstas no método

Sigla	Requisitos	Tarefas
EO.I	Coletar os indícios relacionados ao problema	4.3.1 Elaborar Planejamento para Análise 4.3.2 Coletar Indícios do Problema
EO.II	Analisar e Identificar as causas raiz	4.4.1 Desenvolver Diagrama de Causa 4.4.2 Avaliar Diagrama de Causa 4.4.3 Identificar Causa Raiz
EO.III	Tratar as causas raiz identificadas	4.5.1 Elaborar Proposta de Solução 4.5.2 Analisar Proposta de Solução 4.5.4 Elaborar Plano de Ação
ER.I	Priorizar os problemas e/ou soluções	4.5.3 Priorizar Soluções Propostas
ER.II	Armazenar as informações do processo	4.6.2 Registrar Artefatos 4.6.3 Registrar Lições Aprendidas
PO.I	Promover a participação dos envolvidos com o problema na coleta e análise	4.3.1 Elaborar Planejamento para Análise 4.3.2 Coletar Indícios do Problema 4.4.1 Desenvolver Diagrama de Causa 4.4.2 Avaliar Diagrama de Causa 4.4.3 Identificar Causa Raiz
PO.II	Explorar as relações de causa e efeito dos indícios	4.4.1 Desenvolver Diagrama de Causa 4.4.2 Avaliar Diagrama de Causa 4.4.3 Identificar Causa Raiz 4.5.1 Elaborar Proposta de Solução 4.5.2 Analisar Proposta de Solução
PO.III	Designar uma equipe de ação para o tratamento das causas	4.5.4 Elaborar Plano de Ação
PR.I	Prever a priorização dos problemas/soluções	4.5.3 Priorizar Soluções Propostas
PR.II	Compartilhar o conhecimento adquirido no processo	4.6.1 Reportar Resultados Obtidos

Estes requisitos foram atendidos da seguinte forma: os requisitos da seção 2.5 foram a base para a construção das tarefas do método, conforme alinhamento apresentado na Tabela 2; e as características apresentadas na seção 3.1 são observadas por meio da aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições. No que tange essas características, vale destacar o alinhamento de cada uma delas com os Processos de Pensamento utilizados durante a execução do método, conforme descrito a seguir.

A primeira característica é observada a partir do momento em que o problema relatado por BJORNSON (2009) no Diagrama de *Ishikawa* passa a ser evitado. No Diagrama de *Ishikawa*, dada a sua natureza, é necessário preencher todas as lacunas (espinhas do peixe) mesmo que o contexto de uma delas não seja relevante para o problema analisado. Em seguida, todos os fatores identificados em cada lacuna são tratados de maneira igualitária durante a análise da causa raiz, sem distinção do grau de impacto de cada fator para o problema, o que pode levar à análise de fatores menos relevantes frente a fatores de maior relevância (BJORNSON, 2009). A fim de evitar esta

situação, faz-se necessário atribuir um grau de impacto para cada fator de influência detectado durante o procedimento de análise de causa raiz. Por meio da aplicação dos Processos de Pensamento, esta etapa ocorre ao final do processo de construção da Árvore da Realidade Atual (ARA), durante a identificação da causa raiz do problema.

A segunda característica é observada na validação do nexo de causalidade entre as entidades que compõem um diagrama de causa e efeito. Dado que a maioria das técnicas explora as relações de causa e efeito durante a etapa de análise, é de suma importância que essas relações e as entidades envolvidas no processo sejam validadas a partir desta etapa. Esta validação é realizada por meio da aplicação das Categorias de Ressalva Legítimas (CRL), advinda dos Processos de Pensamento, na verificação da lógica dos diagramas construídos, não apenas durante a análise da causa, mas também nas etapas de elaboração e avaliação da proposta de solução.

A terceira característica é observada no direcionamento da resolução da causa identificada por meio de um conjunto de passos predefinidos. Ela é caracterizada por meio de duas etapas. Na primeira etapa, as ações de tratamento são desdobradas e avaliadas por meio da construção dos diagramas dos Processos de Pensamento: Evaporação de Nuvens (EN) e Árvore da Realidade Futura (ARF), tendo como base a realidade atual do problema mapeado. Na segunda etapa, as ações de tratamento serão atribuídas a uma equipe especialmente designada para dar prosseguimento as ações levantadas e validadas.

Tendo em vista a integração dos requisitos utilizados na construção das tarefas do método com as características dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições, o método proposto nesta dissertação foi intitulado de método CARTOC (*Causal Analysis and Resolution with Theory of Constraints*). As próximas seções visam apresentar o método CARTOC, bem como as suas atividades e tarefas.

4.2 Método CARTOC

O método CARTOC, apresentado na Figura 5, destina-se a investigar um cenário problemático, composto por um ou mais efeitos indesejados advindos de problemas que não foram corrigidos durante a execução do projeto, ou da iteração, e que resultou em desvios críticos como: indicadores de prazo, custo, qualidade, dentre outros; problemas recorrentes em outros projetos; problemas circunstanciais não previstos.

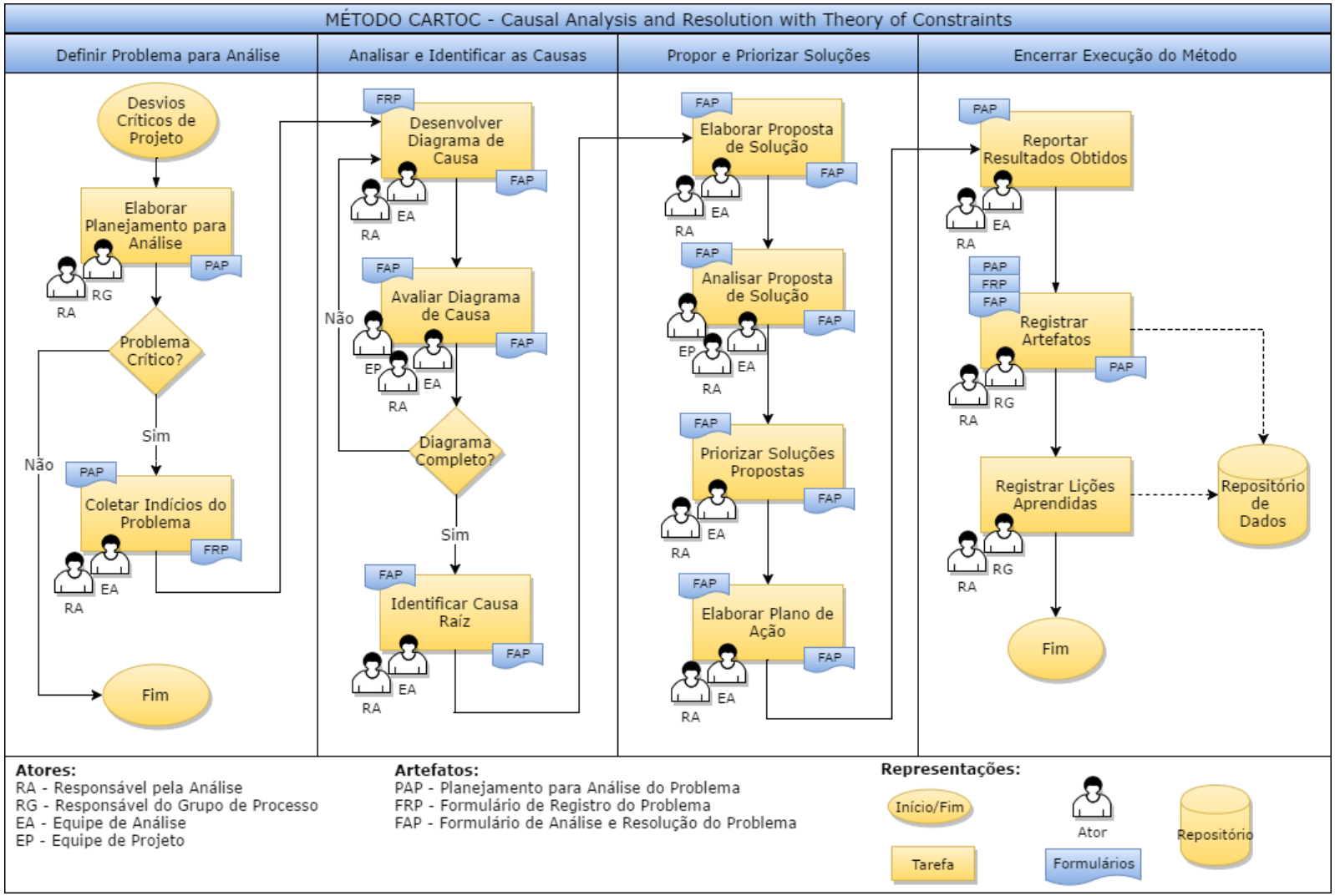


Figura 5 – Método CARTOC – *Causal Analysis and Resolution with Theory of Constraints*

A execução do método CARTOC deve ser iniciada a partir da identificação de um problema crítico que pode impactar a organização e/ou projetos futuros, caso o projeto tenha sido finalizado, ou as próximas iterações de um projeto de desenvolvimento ágil. A responsabilidade de execução do método deve ser atribuída a alguém que tenha a visão abrangente de todo o ambiente que permeia o projeto, por exemplo, o gerente de projeto ou o *scrum master*.

Vislumbra-se dois contextos de aplicação distintos. O primeiro na fase de encerramento de um projeto de desenvolvimento de software tradicional, conduzida durante ou logo após uma reunião de análise *post mortem*. O segundo na fase de encerramento de uma iteração, dentro de um projeto de desenvolvimento ágil ou iterativo e incremental.

Segundo o SEI (2010), o processo de análise de causa e resolução de problemas pode ser iniciado de forma reativa, por meio de algum evento específico, ou pode ser planejado para ser executado de forma periódica, como no início de uma nova fase ou tarefa em um projeto de software. Dada a gama de atividades que compõem o método CARTOC, bem como os possíveis custos e os prazos envolvidos, a sua execução de forma periódica, ao término de cada iteração dentro de um projeto de desenvolvimento, deverá ser avaliada com bastante cuidado para não prejudicar o andamento das próximas iterações.

Vale destacar que nem sempre todos os problemas que surgem ao longo de um projeto de desenvolvimento de software são críticos e necessitam ser analisados por meio do método CARTOC. Para os problemas de menor complexidade, existe um conjunto de ferramentas que auxiliam a análise de causa de forma mais simples, como, por exemplo, um Diagrama de *Ishikawa* ou o método *Five Whys*, ambos apresentados no Capítulo 2.

Embora o método CARTOC acrescente um esforço de execução maior do que as técnicas mais simples de análise de causa, como o Diagrama de *Ishikawa*, o resultado obtido a partir da sua aplicação tende a ser mais assertivo, o que justifica sua utilização. Desta forma, é importante adotar algumas medidas caso o problema crítico venha impactar a próxima iteração de um projeto de desenvolvimento, tradicional ou ágil, ou o próximo projeto de desenvolvimento de software. Por exemplo, em determinadas situações, o melhor cenário para um projeto de desenvolvimento ágil pode ser parar por um ou dois dias, para que ocorra a execução do método CARTOC, do que continuar com um problema não resolvido que impacte o resultado final do projeto.

Ao final da execução do método CARTOC, os resultados obtidos são divulgados

para todos os interessados e relacionados ao projeto de software analisado, e toda a documentação gerada durante a aplicação deste método deve ser registrada na base de dados de projeto da organização.

No tocante aos atores observados na Figura 5, vale destacar a importância de cada um deles para a execução do método CARTOC:

- **RA – Responsável pela Análise:** papel desempenhado pelo responsável pela condução da análise de causa. Recomenda-se que este papel seja atribuído a alguém que tenha a visão do projeto escolhido como um todo, desde a sua concepção, passando por todo o processo de execução até a referida entrega.
- **RG – Responsável do Grupo de Processo:** papel desempenhado pelo detentor do conhecimento do método CARTOC. É o responsável por orientar o Responsável pela Análise durante a execução das atividades do método e preenchimento dos formulários necessários.
- **EA – Equipe de Análise:** papel desempenhado pelas pessoas responsáveis por auxiliar o RA na condução da análise de causa. Recomenda-se que este papel seja designado a pessoas que participaram da execução do projeto escolhido.
- **EP – Equipe do Projeto:** papel desempenhado pelas pessoas que participaram da execução do projeto e podem colaborar na validação dos diagramas elaborados.

O restante do capítulo visa detalhar os passos do método CARTOC, exposto na Figura 5, que devem ser seguidos durante a sua execução. Os apêndices II, III e IV complementam o entendimento do método e devem ser considerados durante a leitura das próximas seções. As atividades e tarefas que compõem o método são apresentadas, respectivamente, nas seções e subseções deste capítulo. O Apêndice II apresenta os procedimentos para desenvolvimento dos Processos de Pensamento, requeridos durante a execução das tarefas. No Apêndice III estão descritos os modelos de formulário que devem ser utilizados durante a execução de cada tarefa. O processo formal para a execução de cada atividade e tarefa do método está descrito no Apêndice IV. A última seção deste capítulo apresenta as considerações finais a respeito do método CARTOC. Vale ressaltar que a versão apresentada deste método já contempla os ajustes derivados do estudo de viabilidade apresentado no Capítulo 5.

4.3 Definir Problema para Análise

O método CARTOC considera apenas um tipo de evento externo possível para o início da execução do processo de análise de causa e resolução de problemas, conforme apresentado na Figura 5. Este evento é caracterizado pelos desvios críticos do projeto.

Uma vez avaliada a criticidade dos desvios para o projeto analisado, é necessário coletar as informações de contexto que caracterizam o cenário problemático do projeto. Caso os desvios avaliados não sejam de fato críticos, a execução do método é encerrada. As próximas seções descrevem as tarefas da atividade "Definir Problema para Análise".

4.3.1 Elaborar Planejamento para Análise

Dada a indicação de um ou mais desvios críticos em determinado projeto de software, o Responsável pela Análise deve registrá-los e analisá-los de forma rápida e objetiva, com o intuito de avaliar a criticidade dos desvios e a relevância da aplicação deste método para o projeto escolhido. Esses desvios devem ser registrados no documento de Planejamento para Análise do Problema (PAP), constante na seção III.1 do Apêndice III. Para cada desvio, devem ser levantadas as seguintes informações: descrição do desvio; tipo do desvio (indicador de projeto, problema recorrente, problema circunstancial); a descrição da situação prevista e realizada; e o parecer do Responsável pela Análise sobre a criticidade deste desvio, a fim de justificar a continuidade das próximas tarefas do método.

É fundamental que nesta primeira tarefa sejam coletadas evidências que contextualizem e ratifiquem a criticidade dos desvios apresentados e assim justifiquem a continuação da execução do método CARTOC. Caso nenhum desvio seja considerado crítico pelo Responsável pela Análise, o método deve ser encerrado.

Além disso, no planejamento devem ser levantadas todas as pessoas, e respectivos papéis, que apoiarão a execução do método. Deve-se elaborar um cronograma com as datas de início e término de cada tarefa, bem como o esforço e o custo estimado para cada uma delas. Recomenda-se que o custo e o prazo sejam refletidos no próprio cronograma do projeto, pertinente à fase de encerramento do projeto ou da iteração. Durante a construção deste planejamento, vale mencionar o papel do Responsável do Grupo de Processo. Sendo ele o detentor do conhecimento do método CARTOC, é o responsável por orientar o Responsável pela Análise no planejamento das próximas tarefas.

Todas as informações produzidas ao longo desta tarefa devem ser registradas no modelo de documento de Planejamento para Análise do Problema (PAP).

4.3.2 Coletar Indícios do Problema

Esta tarefa tem como objetivo levantar o maior número de informações possíveis relacionadas ao problema antes do início da análise de causa dos desvios. Nesta etapa, a partir das informações levantadas para cada desvio na tarefa anterior, deve-se contextualizar o objetivo do projeto analisado, as partes envolvidas e as suas atribuições, e o cenário problemático que acarretou os desvios críticos elencados.

A fim de respaldar a importância desta fase, COX III e SCHLEIER (2013) destacam que as primeiras atividades que devem ser realizadas antes da construção da ARA são relativas à descrição do problema, sua relevância e a relevância da sua situação. Não obstante, necessita-se também identificar as pessoas/organizações envolvidas com o projeto analisado.

Durante a execução desta tarefa, a Equipe de Análise deve auxiliar o Responsável pela Análise no levantamento das informações necessárias para o preenchimento do Formulário de Registro do Problema (FRP), constante na seção III.2 do Apêndice III.

4.4 Analisar e Identificar as Causas Raiz

Esta atividade tem como objetivo investigar o cenário problemático identificado e encontrar as possíveis causas raiz. Para isso, as informações e evidências coletadas anteriormente serão analisadas durante o desenvolvimento do diagrama causal, o qual será concebido a partir dos procedimentos para desenvolvimento da ARA.

Por conseguinte, este diagrama é avaliado por outras pessoas envolvidas com o contexto do problema, com o propósito de se chegar a um consenso sobre a lógica diagramada para, em seguida, determinar a causa raiz do problema. As tarefas que compõem esta atividade estão descritas nas próximas seções.

4.4.1 Desenvolver Diagrama de Causa

Esta tarefa visa ao desenvolvimento do diagrama causal por meio dos procedimentos para a construção da ARA (COX III e SCHLEIER, 2013; DETTMER, 2007). O Responsável pela Análise e a Equipe de Análise devem iniciar a análise das

informações relacionadas ao problema, as quais foram coletadas e descritas no Formulário de Registro do Problema (FRP). Além disso, eles devem seguir os procedimentos para construção da ARA descritos nos passos de 1 a 7 na seção II.2 do Apêndice II e preencher as informações constantes no Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP) na seção III.3 do Apêndice III.

O primeiro passo para o desenvolvimento desta tarefa consiste no levantamento dos efeitos indesejáveis obtidos durante a execução do projeto analisado, a partir das informações do FRP e dos relatos obtidos com as pessoas envolvidas na análise. Os efeitos indesejáveis devem ser preenchidos no item 2 do FAP. Uma vez finalizado o levantamento dos efeitos indesejáveis, deve-se identificar ao menos duas causas predecessoras para cada um desses efeitos levantados. A fim de estruturar esse relacionamento entre as causas e os efeitos indesejados, recomenda-se a elaboração da matriz de causa constante no item 3 do FAP.

Após a elaboração da matriz, o nexo de causalidade entre as causas e os efeitos indesejados, bem como os relacionamentos de causa e efeito entre cada grupo da matriz, devem ser validados por meio das CRL detalhadas na seção II.1 do Apêndice II. Vale ressaltar que, desse processo, podem surgir novas entidades e novos relacionamentos entre os grupos de causas previamente levantados, dando início à estrutura de árvore do diagrama.

4.4.2 Avaliar Diagrama de Causa

O objetivo desta tarefa é avaliar se os relacionamentos constituídos durante a elaboração da ARA estão coerentes com a situação do problema analisado, verificando-se a necessidade de inclusão/exclusão de novos relacionamentos e/ou entidades. Recomenda-se o apoio da Equipe do Projeto, composta pelas pessoas que trabalharam no projeto escolhido e não participaram da construção da versão inicial da ARA, a fim de auxiliar na avaliação da estrutura do diagrama. Vale destacar que a análise da ARA deve ser realizada levando-se em consideração o tipo de relacionamento causa suficiente (Se causa X, então efeito Y) utilizado no diagrama. Desta forma, a análise deve ser iniciada a partir dos elementos localizados no nível mais inferior do diagrama para os níveis mais superiores.

A equipe envolvida deverá seguir o procedimento descrito no passo 8 da seção II.2 do Apêndice II. Neste momento, caso os participantes identifiquem algum problema

no diagrama, deve-se reexecutar os procedimentos descritos nos passos de 4 a 7 da seção II.2 do Apêndice II, a fim de corrigir a ARA proposta. O diagrama final da ARA deverá ser incluído no item 4 do FAP.

4.4.3 Identificar Causa Raiz

O objetivo desta tarefa é identificar a causa (ou causas) raiz do problema investigado. Dada a conclusão da ARA, o Responsável pela Análise e a Equipe de Análise devem utilizar a matriz de dependência da causa raiz, apresentada no item 5 do FAP, para identificar quais as causas que mais produzem efeitos indesejados na ARA final. Para isso, devem executar os passos 9 e 10 descritos na seção II.2 do Apêndice II.

Nesta matriz de dependência da causa raiz, devem ser mapeados todos os pontos de entrada, entidades que são apenas causas na ARA, com todos os efeitos indesejados identificados. Os pontos de entrada que produzem o maior número de efeitos indesejados são considerados como causa raiz da ARA.

4.5 Propor e Priorizar Soluções

Esta atividade tem como objetivo analisar todas as causas identificadas anteriormente, elaborando uma proposta de solução para cada uma delas. Em seguida, as propostas de solução elaboradas são analisadas e priorizadas para a implementação a partir de um plano de ação. O processo de elaboração da proposta de solução pode ser realizado de duas formas que variam em função do contexto da causa identificada. Para as causas que não estejam em conflito com nenhum elemento da ARA, devem ser propostas uma ou mais injeções. Já para as causas que o tratamento gere um conflito com algum outro elemento da ARA, é necessária a construção da EN para primeiro resolver o conflito e depois propor uma injeção.

Em seguida, a proposta de solução é analisada por meio da construção da ARF, a qual retrata as relações lógicas necessárias para se obter os efeitos desejados para o problema que está sendo tratado. Por conseguinte, as propostas de solução analisadas devem ser priorizadas no que diz respeito à sua gravidade, urgência e tendência para a organização. Ao final desta atividade, um plano de ação é designado para uma equipe de ação responsável pela implementação das soluções propostas e priorizadas.

4.5.1 Elaborar Proposta de Solução

Esta tarefa tem como objetivo auxiliar o Responsável pela Análise, juntamente com a Equipe de Análise, a elaborar uma proposta de solução para as causas que foram identificadas. Primeiramente deve-se verificar se as causas estão dentro do escopo de atuação da organização, pois nem todas elas são passíveis de tratamento por estarem fora do seu âmbito de atuação. Após essa verificação, deve-se elaborar uma ou mais injeções para o tratamento das causas identificadas. Após a elaboração das injeções, deve-se verificar a existência de conflito entre elas. Ou seja, se a implementação de uma injeção vai de encontro com a implementação de outra. Nessa situação deve-se utilizar o Processo de Pensamento da Evaporação de Nuvens (EN) para representar o conflito e os pressupostos que devem ser atendidos para alcançar o objetivo da resolução do conflito. Caso não seja identificado nenhum conflito, deve-se prosseguir para a próxima tarefa.

Os procedimentos para a construção da EN estão descritos na seção II.3 do Apêndice II. O diagrama resultante deste processo deverá ser incluído no item 6 do FAP, bem como os pressupostos e injeções levantadas, e a solução final escolhida.

4.5.2 Analisar Proposta de Solução

Esta tarefa tem como objetivo analisar as propostas de solução elaboradas para as causas raiz levantadas após o desenvolvimento da ARA. Para isso, é utilizado o Processo de Pensamento da ARF na diagramação das relações de causa e efeito decorrentes das soluções elaboradas (injeções). Nesta tarefa o Responsável pela Análise e a Equipe de Análise devem seguir o procedimento descrito na seção II.4 do Apêndice II. Com o intuito de obter o consenso entre todos os envolvidos com o problema, recomenda-se a participação da Equipe do Projeto na execução desta tarefa.

Baseado na estrutura da ARA, a ARF visa prever os desdobramentos das soluções propostas, inclusive os efeitos negativos que podem ser gerados a partir das injeções adotadas. Desta forma, o processo de análise visa atestar as injeções elaboradas, podendo alterá-las ou até derivá-las em novas injeções a fim de evitar e/ou tratar possíveis ramificações de efeito negativo. Os efeitos desejáveis elaborados para a ARF devem ser registrados no item 7 do FAP, já o diagrama resultante da ARF e a lista final de soluções (injeções) para a resolução do problema devem ser apresentados no item 8 do FAP.

4.5.3 Priorizar Soluções Propostas

Esta tarefa tem como objetivo obter uma ordem de prioridade para as propostas de solução obtidas. Tendo em vista que, em determinadas situações, muitas organizações não dispõem de tempo e dinheiro para a implementação de todas as soluções, deve-se ao menos obter uma ordem para a implementação de cada uma delas.

Desta forma, recomenda-se o uso da matriz GUT (PERIARD, 2011), apresentada no item 9 do FAP, como técnica de priorização das propostas de solução. Os passos para a construção da matriz estão detalhados na tarefa "Priorizar Soluções Propostas" no Apêndice IV.

Após o processo de priorização, deve-se executar a próxima tarefa "Elaborar Plano de Ação" a qual elenca as ações que devem ser tomadas para cada proposta de solução levando-se em conta a ordem de prioridade estabelecida.

4.5.4 Elaborar Plano de Ação

O objetivo desta tarefa é atribuir responsabilidades sobre cada solução proposta, a fim de que o trabalho de análise de causa e resolução de problemas não seja perdido. Para isso, é necessário atribuir um responsável e um prazo para o encaminhamento de cada proposta de solução.

Recomenda-se que este responsável seja alguma pessoa, ou uma equipe composta de algum membro que esteja participando desta execução do método CARTOC. Vale ressaltar que é fundamental que o responsável tenha a autonomia necessária para direcionar a solução proposta com a intenção de implementá-la em um momento posterior.

O plano de ação, descrito no item 10 do FAP, deve ser preenchido pelo Responsável pela Análise, juntamente com a Equipe de Análise, contendo as seguintes informações: ordem de prioridade das soluções propostas; descrição completa de cada solução proposta; a ação de direcionamento para a solução proposta; o nome da equipe ou do responsável pela ação; o prazo para execução da ação.

4.6 Encerrar Execução do Método

Esta atividade visa divulgar os resultados obtidos pela execução do método

CARTOC a todos os interessados e/ou envolvidos com o projeto. É de suma importância apresentar as informações produzidas (ARA, Causas Raiz, Injeções, ARF, Soluções Propostas, etc.) com o intuito de dar transparência ao processo de raciocínio desenvolvido pela equipe ao longo da aplicação do método.

Não obstante a divulgação dessas informações, vale ressaltar também a relevância de armazenar todos os formulários e lições aprendidas gerados durante a execução deste método a fim de que as aplicações futuras do CARTOC possam tirar proveito do conhecimento obtido nesta execução. Além disso, as informações derivadas do projeto analisado podem ser fundamentais para os próximos projetos e/ou iterações.

4.6.1 Reportar Resultados Obtidos

Esta tarefa tem como objetivo reforçar a importância de disseminar e reportar todo o conhecimento obtido durante a análise da equipe sob o projeto escolhido. Ressalta-se a importância de apresentar, de forma objetiva, todo o processo de raciocínio desenvolvido pela equipe listando o conhecimento obtido a partir das seguintes informações: os efeitos indesejados do problema; a ARA; causas raiz identificadas; as injeções inicialmente propostas; a ARF; as propostas de solução e suas prioridades; o plano de ação elaborado. A apresentação dessas informações deverá ser realizada pelo Responsável pela Análise, podendo também ser apoiado pela Equipe de Análise.

4.6.2 Registrar Artefatos

Esta tarefa tem como objetivo registrar todas as informações produzidas ao longo do processo de análise, bem como as informações referentes à execução do método: data de início e término realizado; esforço realizado; custo realizado. Estas informações deverão ser atualizadas no PAP. Recomenda-se que todos os formulários produzidos ao longo da execução do método (PAP, FRP, FAP) sejam armazenados no repositório de dados da organização. O Responsável do Grupo de Processo deve participar desta tarefa para verificar os resultados da execução do método e auxiliar o Responsável pela Análise no registro da documentação.

4.6.3 Registrar Lições Aprendidas

Esta tarefa tem como objetivo registrar as lições aprendidas (pontos positivos,

pontos negativos, sugestões de melhoria, pontos de atenção, etc.) decorrentes da execução do método CARTOC com o propósito de prover conhecimento para aplicações futuras e melhoria do próprio método. O Responsável do Grupo de Processo deve participar desta tarefa para obter o *feedback* do Responsável pela Análise a respeito da execução do método.

4.7 Considerações Finais

O objetivo do método CARTOC pode ser dividido em três partes: a primeira busca estruturar o processo de raciocínio humano de forma a reduzir o viés dos envolvidos com a análise durante a identificação da causa raiz; a segunda visa validar os relacionamentos de causa e efeito estabelecidos; e a terceira procura direcionar o tratamento das causas identificadas.

Conforme mencionado no começo do capítulo, alguns Processos de Pensamento da Teoria das Restrições foram adotados para alcançar esse objetivo. Por conseguinte, foi necessário adaptar os procedimentos originais para a construção das ARA, EN e ARF, dado que na literatura original eles foram propostos como ferramentas para a superação da resistência a mudanças em um contexto de melhoria contínua de processos (COX III e SCHLEIER, 2013).

Em suma, o propósito original destes Processos de Pensamento é o seguinte: a ARA é construída com foco em uma situação indesejada que impede a melhoria de um processo; o diagrama de EN foca no objetivo de melhoria do processo para a resolução de um conflito; já a ARF representa o cenário futuro deste mesmo processo após a aplicação das melhorias propostas. Entretanto, para a construção do método CARTOC, os termos empregados e a descrição dos procedimentos, que inicialmente focavam nas restrições para a melhoria contínua de um processo, foram alterados para focar nas causas raiz de problemas de projeto de software.

A adaptação realizada em algumas etapas e termos empregados nos Processos de Pensamento, proporcionou o ajuste necessário para o contexto da análise de causa e resolução de problemas do método CARTOC. Todavia, as CRL, que são utilizadas para validar os relacionamentos de causa e efeito, foram utilizadas na sua forma original no contexto deste método.

Ademais, no que se refere especificamente a terceira parte do objetivo, o método CARTOC buscou por meio das tarefas “Priorizar Soluções Propostas” e “Elaborar Plano

de Ação", ponderar a importância de cada solução e prever a sua aplicação por meio de um plano de ação. No tocante à priorização das soluções, a matriz GUT foi adaptada do contexto original de priorização de problemas para o contexto de priorização de soluções, o que resultou na mudança de alguns termos utilizados na descrição formal da tarefa "Priorizar Soluções Propostas".

Vale destacar que o método CARTOC não contempla a implantação das soluções e acompanhamento das ações propostas. Logo, é importante ressaltar a necessidade de executar todas as soluções endereçadas no plano de ação, pois a falta de implementação de uma delas pode comprometer a análise realizada e levar a ocorrência de efeitos indesejados não previstos na ARF.

O próximo capítulo destina-se a avaliar o método CARTOC por meio de um estudo de viabilidade aplicado na fase de encerramento de um projeto de desenvolvimento de software tradicional. Este estudo visa avaliar as atividades e tarefas, os procedimentos para desenvolvimento dos Processos de Pensamento e os modelos de formulário. Os resultados obtidos com o estudo servirão de insumos para a melhoria do CARTOC.

5. AVALIAÇÃO DO MÉTODO

Neste capítulo é apresentado o estudo de viabilidade proposto na metodologia de pesquisa desta dissertação. Esta avaliação buscou verificar se os objetivos propostos para o método foram alcançados, bem como a sua eficiência quanto ao tempo e aos resultados obtidos.

5.1 Introdução

SHULL *et al.* (2001) descrevem uma metodologia, baseada nos princípios da Engenharia de Software Experimental, a qual propõe uma série de etapas de avaliação para tecnologias na Engenharia de Software. Estas etapas visam amadurecer e evoluir esta tecnologia antes da sua transferência para a indústria, reduzindo o risco da sua aplicação. Dentre as etapas previstas nesta metodologia, discutidas no Capítulo 1, este capítulo apresenta a aplicação de um Estudo de Viabilidade para o método CARTOC com o objetivo de avaliar a sua eficácia e aplicabilidade.

A definição do método CARTOC, seus procedimentos e modelos de formulário, foi baseada em evidências coletadas na literatura e em trabalhos relacionados. Durante a construção deste método, os passos e procedimentos que o compõem foram revisados por um especialista de Engenharia de Software quanto à sua aplicabilidade nesta área. Como parte do processo de avaliação experimental, o método CARTOC foi executado em um departamento de desenvolvimento de software de uma empresa multinacional de energia com foco em óleo e gás.

A avaliação apresentada neste capítulo está dividida da seguinte forma: seção 5.2, descrição da natureza do estudo; seção 5.3, definição do projeto do estudo; seção 5.4, planejamento do estudo; seção 5.5, execução do estudo; seção 5.6, análise e interpretação dos dados; seção 5.7, lições aprendidas; seção 5.8, considerações finais.

5.2 Estudo de Viabilidade

O objetivo do estudo de viabilidade é testar se a tecnologia proposta é viável de modo que justifique a continuação do desenvolvimento da pesquisa. Este estudo visa criar um corpo de conhecimento sobre a aplicação da tecnologia, de tal maneira que o pesquisador possa avaliar se ela atende de forma razoável aos objetivos definidos. Espera-se que este corpo de conhecimento forneça subsídios que permitam o refinamento da tecnologia e a geração de novas hipóteses sobre sua aplicação a serem investigadas posteriormente (SHULL *et al.*, 2004 citado por MAFRA *et al.*, 2006).

O estudo de viabilidade foi conduzido com o propósito de verificar a aplicabilidade do método CARTOC, seus procedimentos e modelos de formulário, e aferir o tempo de execução e os resultados obtidos com a sua aplicação no contexto da análise de causa e resolução de problemas em um projeto de desenvolvimento de software tradicional.

Foram utilizados na descrição deste estudo de viabilidade os seguintes elementos prescritos por RUNESON *et al.* (2012): Projeto do Estudo, Planejamento, Execução, Análise e Interpretação dos Dados, Divulgação dos Dados, Lições Aprendidas. Estas etapas estão descritas nas próximas seções. A atividade de Divulgação dos Dados não será detalhada em uma seção específica, pois a própria descrição deste estudo já contempla o objetivo desta atividade.

5.3 Projeto do Estudo

Como dito anteriormente, o estudo foi executado em um departamento de desenvolvimento de software de uma empresa multinacional de energia com foco em óleo e gás, com sede no Rio de Janeiro, que não será identificada por questões de confidencialidade, denominada neste estudo como “Empresa A”. No que concerne aos projetos de desenvolvimento de software sob responsabilidade deste departamento, vale destacar que as atividades de codificação, teste e migração, são terceirizadas por uma empresa externa, denominada neste estudo como “Empresa B”. Já as atividades de levantamento de requisitos, gerenciamento do projeto, validação das entregas e homologação, são realizadas pela equipe de TI da Empresa A. A relação entre a contratante e a contratada é regida por um contrato de serviço.

O estudo apresentado tem como propósito avaliar qualitativamente se o método

CARTOC cumpre o seu objetivo de estruturar o processo de análise de causa raiz e direcionar o tratamento das causas identificadas, de forma organizada e com o menor viés possível. Além disso, o estudo pretende verificar a viabilidade do tempo de execução de cada tarefa do método no contexto de um projeto de desenvolvimento de software tradicional. Vale mencionar que não faz parte do escopo deste estudo a comparação do método CARTOC com nenhuma outra abordagem para análise de causa.

A avaliação da viabilidade deste estudo ocorre a partir da perspectiva do pesquisador que observa a execução das tarefas do método, acompanhando o tempo de execução e coletando oportunidades de melhoria. As observações levantadas pelo pesquisador durante a execução do estudo e a avaliação do método por todos os membros que participaram da sua execução, estão descritas na seção de Análise e Interpretação dos Dados.

A partir do paradigma GQM (BASILI *et al*., 1994), o objetivo deste estudo de viabilidade pode ser definido como:

> **Analisar** o método CARTOC
> **Com o propósito de** avaliar a sua viabilidade
> **Com relação à** efetividade e clareza
> **Do ponto de vista das** pessoas que executaram o método
> **No contexto** de uma análise de causa e resolução de problemas de um projeto de desenvolvimento de software

As questões de pesquisa associadas a este estudo de viabilidade e que deverão ser respondidas são:

- **Q1:** O tempo demandado para a execução do método é viável no contexto de desenvolvimento de software escolhido?
- **Q2:** Qual o grau de satisfação do Responsável pela Análise e da Equipe de Análise quanto à facilidade de utilização do método?
- **Q3:** Qual o grau de satisfação do Responsável pela Análise e da Equipe de Análise quanto à coerência das causas e soluções identificadas com a aplicação do método?

No que diz respeito ao termo efetividade, este relaciona-se com as questões Q1 e Q3. No âmbito da questão Q1, busca-se identificar o tempo gasto durante a execução do método e, junto à questão Q3, observar se os resultados obtidos são coerentes o suficiente

para justificar o esforço de execução para o contexto analisado. Já o termo clareza, pertinente à questão Q2, refere-se à percepção do Responsável pela Análise e da Equipe de Análise quanto à facilidade para a execução e compreensão dos passos do método.

5.4 Planejamento

Tendo em vista que o atual processo de terceirização é recente, iniciado há 2 anos, a equipe de TI da Empresa A observou que as primeiras iniciativas de desenvolvimento de software executadas por meio do contrato com a Empresa B, apresentaram uma série de problemas no que diz respeito a prazo, custo e qualidade das entregas. Assim, para a execução do estudo de viabilidade, foi escolhido o primeiro projeto de desenvolvimento de software iniciado com o apoio da Empresa B. Por se tratar de um sistema novo e estratégico para a Empresa A, os problemas observados ao longo deste projeto afetaram não apenas a equipe interna de TI, responsável pela gestão do projeto, como também os patrocinadores e usuários finais do sistema.

Quanto ao contexto de aplicação deste estudo, tratou-se de um projeto de desenvolvimento de software tradicional que se encontrava na fase de encerramento. O método foi executado durante uma reunião de análise *post mortem*.

Para a condução do estudo de viabilidade foram selecionados dois participantes, denominados P1 e P2. O participante P1 era o analista de negócio do projeto na Empresa A, além disso, é também o pesquisador responsável por este estudo de viabilidade e criador do método CARTOC. Desta forma, desempenhou os papéis de Responsável do Grupo de Processo (RG) e Responsável pela Análise (RA). O participante P2 era o responsável pela gestão do projeto e, por conseguinte, o responsável por encaminhar as demandas de desenvolvimento para aos funcionários da Empresa B. Desta forma, desempenhou o papel de Responsável pela Análise (RA).

Antes da execução do estudo de viabilidade, o participante P1 aplicou um treinamento do método e do objetivo deste estudo com o intuito de dar uma visão geral das atividades que o compõem e dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições. Nesta ocasião foram apresentados os termos básicos, constantes na seção II.1 do Apêndice II, que compõem os Processos de Pensamento demandados pelo método CARTOC. Ao final desta apresentação, o participante P2 formalizou a sua participação no estudo por meio da assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido, cujo modelo consta no item V.1 do Apêndice V.

Durante a condução do estudo, o participante P1 guiou o participante P2, ambos no papel de RA, ao longo da execução de todas as atividades que compõem o CARTOC, auxiliando-o no preenchimento dos formulários e na interpretação e execução das tarefas, em especial as que demandavam conhecimento dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições. A ferramenta utilizada neste estudo para a construção dos diagramas dos Processos de Pensamento foi a TLT (*Transformation Logic Tree)*[1].

Vale destacar que ao longo da execução do estudo, as datas de início e fim, assim como o esforço realizado para cada tarefa, foram atualizadas no formulário de Planejamento para Análise do Problema (PAP) pelo RG. Ao final da execução, ambos os participantes avaliaram o método por meio do formulário de avaliação constante no item V.2 do Apêndice V.

5.5 Execução

A execução deste estudo aconteceu ao longo de três semanas, conforme apresentado na Tabela 3, a qual retrata as informações registradas no formulário de Planejamento para Análise do Problema (PAP), constante na seção VI.1 do Apêndice VI. Neste mesmo formulário, apresenta-se a distribuição dos papéis entre os dois participantes deste estudo, sumarizada na Tabela 4.

Tabela 3 – Planejamento da Execução do Estudo de Viabilidade

Tarefa	Data de Início Realizado	Data de Término Realizado
Elaborar PAP	09/05/2017	09/05/2017
Coletar Indícios do Problema	10/05/2017	10/05/2017
Desenvolver Diagrama de Causa	10/05/2017	11/05/2017
Avaliar Diagrama de Causa	11/05/2017	11/05/2017
Identificar Causa Raiz	17/05/2017	17/05/2017
Elaborar Proposta de Solução	17/05/2017	19/05/2017
Analisar Proposta de Solução	19/05/2017	19/05/2017
Priorizar Soluções Propostas	24/05/2017	24/05/2017
Elaborar Plano de Ação	24/05/2017	24/05/2017

[1] http://transformation-logic-tree-inc.software.informer.com/

Tabela 4 – Responsáveis e Papéis desempenhados no estudo

Responsável	RA	EA	EP	RG
Participante P1	X			X
Participante P2	X			

No primeiro dia, o objetivo foi levantar os desvios críticos que caracterizavam o cenário problemático do projeto e planejar a execução das demais tarefas que permeavam o método CARTOC, no âmbito da tarefa "Elaborar Planejamento para Análise". Os desvios críticos identificados nesta etapa foram: Baixa qualidade nas entregas; Atraso nas entregas planejadas; Alteração das necessidades de negócio durante o projeto. O artefato gerado nesta primeira tarefa, o PAP, foi atualizado à medida que as tarefas planejadas foram sendo executadas durante a aplicação do método. Cada atualização realizada pelo participante P1 contemplava a data de início e término, o custo e o esforço realizado de cada tarefa.

No segundo dia foi executada a tarefa "Coletar Indícios do Problema", a qual compreendeu a coleta das informações relacionadas ao problema, insumo principal para a tarefa seguinte "Desenvolver Diagrama de Causa". Durante a execução desta coleta, o participante P1 conduziu junto ao participante P2 o levantamento das seguintes informações: objetivo do projeto investigado; lista dos envolvidos com o projeto; descrição do contexto do problema.

Vale ressaltar que o objetivo deste projeto era realizar uma manutenção evolutiva em um sistema de *e-commerce*. O escopo deste projeto residia na inclusão de novas funcionalidades para um cenário de negócio que ainda não era tratado pelo sistema. Todo este processo era feito por meio de planilha eletrônica e troca de e-mails com os clientes da Empresa A. A lista de envolvidos com o projeto era composta tanto por funcionários da área de negócio e da TI da Empresa A, quanto por prestadores de serviço da Empresa B. Já na descrição do contexto do problema foram detalhados todos os problemas que ocorreram ao longo do projeto, desde a sua concepção até a fase final de entrega.

Todas as informações mencionadas foram registradas no Formulário de Registro do Problema (FRP), constante na seção VI.2 do Apêndice VI. Assim que esta tarefa de coleta foi encerrada, teve início ainda no segundo dia a tarefa "Desenvolver Diagrama de Causa".

A execução da tarefa "Desenvolver Diagrama de Causa" foi realizada com o apoio dos Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Atual (ARA), presente na seção II.2 do Apêndice II. O participante P1, como detinha maior conhecimento do

método, foi esclarecendo cada passo presente neste procedimento que deveria ser seguido durante o desenvolvimento do diagrama. No início da construção do diagrama, durante o preenchimento da matriz de causa, o procedimento não deixou claro que o primeiro nível de causa era efeito do segundo nível de causa. Além dessa dificuldade, vale mencionar que o fato de a ferramenta não organizar automaticamente as entidades ao longo da construção do diagrama prejudicou o tempo de execução desta atividade, fato constatado pelo participante P2 que utilizou a ferramenta.

Um ponto positivo observado ainda durante o desenvolvimento do diagrama foi a relevância das Categorias de Ressalva Legítima (CRL), presentes na seção II.1 do Apêndice II e que haviam sido apresentadas no treinamento antes da execução deste estudo. As CRL foram importantes para o desenvolvimento das relações de causa e efeito, uma vez que o participante P1 utilizou as ressalvas apresentadas para validar e detalhar cada entidade presente no diagrama juntamente com o participante P2.

No terceiro dia, o desenvolvimento do diagrama foi finalizado e teve início a tarefa "Avaliar Diagrama de Causa". Durante esta tarefa buscou-se o consenso sobre todas as entidades que haviam sido mapeadas, assim como as relações de causa e efeito entre elas. Toda informação produzida durante a construção do diagrama foi continuamente atualizada no Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP), apresentado na seção VI.3 do Apêndice VI. A Figura 6 apresenta o diagrama da ARA finalizado após a execução desta tarefa.

No quarto dia, dada a restrição de tempo dos participantes, só foi possível realizar a tarefa "Identificar Causa Raiz" e iniciar a tarefa "Elaborar Proposta de Solução". As causas raiz identificadas foram: Falta de teste por parte da prestadora de serviços; Baixa qualificação dos profissionais da prestadora; Funcionário alocado pela prestadora de serviços era inexperiente; Instabilidade dos requisitos do processo de negócio.

No quinto dia, durante a realização da tarefa "Elaborar Proposta de Solução", um problema na sua descrição dificultou a execução. A princípio, esta tarefa orientava a remoção da causa raiz por meio de uma injeção e, caso não fosse possível removê-la, orientava a verificação da existência de conflitos que impediam esta remoção. Entretanto, nem todas as causas identificadas eram passíveis de tratamento (injeção) por parte da organização – Empresa A – que estava aplicando o método.

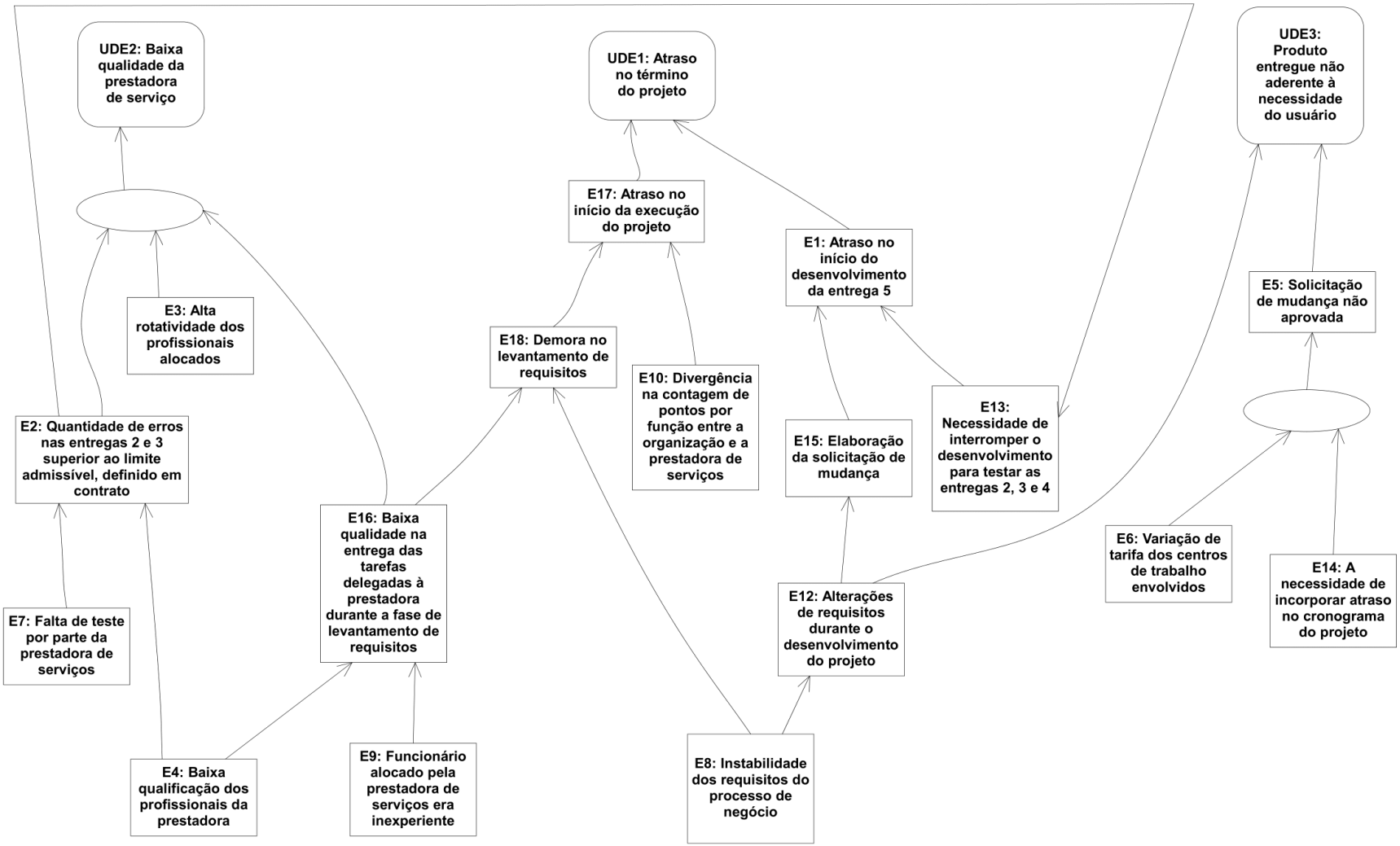


Figura 6 – Árvore da Realidade Atual finalizada

Desta forma, optou-se primeiramente por verificar se cada causa raiz estava dentro do escopo de influência da Empresa A antes de elaborar as propostas de solução. Vale mencionar que, embora a baixa qualificação dos profissionais da Empresa B e a inexperiência deles tenham sido apontadas como uma das causas raiz do problema, não cabe a Empresa A ter o controle da contratação desses profissionais, por isso essas causas foram consideradas fora do escopo de atuação da organização.

Dado esse contexto, foi elaborada uma proposta de solução para cada causa dentro do escopo de atuação da Empresa A e depois buscou-se verificar a existência de conflito entre essas propostas. Como não foi observado nenhum conflito entre elas, não foi preciso utilizar a ferramenta de Evaporação de Nuvens (EN). As causas raiz e as respectivas propostas de solução, quando aplicáveis, foram apresentadas na Tabela 5:

Tabela 5 – Propostas de Solução: Causa Raiz x Injeção

Causa Raiz	Injeção
E7: Falta de teste por parte da prestadora de serviços	INJ1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega INJ2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro
E4: Baixa qualificação dos profissionais da prestadora	E4 está fora do escopo de atuação da organização.
E9: Funcionário alocado pela prestadora de serviços era inexperiente	E9 está fora do escopo de atuação da organização.
E8: Instabilidade dos requisitos do processo de negócio	INJ3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.

Legenda: **E** – Entidade da Árvore da Realidade Atual; **INJ** – Injeção (proposta de solução para entidade causa raiz)

Ainda no quinto dia, foi executada a tarefa "Analisar Proposta de Solução" que contemplava a execução dos Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Futura (ARF), presente na seção II.4 do Apêndice II. O participante P1 foi esclarecendo cada passo presente neste procedimento a fim de analisar os impactos provocados pelas propostas de solução nas causas e respectivos efeitos. Enquanto isso, o participante P2 foi construindo o diagrama da ARF por meio da ferramenta.

Ao longo da execução desta tarefa, observou-se uma dificuldade para iniciar a construção da ARF, pois o procedimento não tinha uma orientação clara do que fazer quando não fosse utilizada a ferramenta de EN. Ao final da execução desta tarefa, mais uma proposta de solução foi derivada. Todas propostas de solução e informações geradas foram registradas no FAP, apresentado na seção VI.3 do Apêndice VI. A Figura 7 apresenta o diagrama da ARF finalizado após a execução desta tarefa.

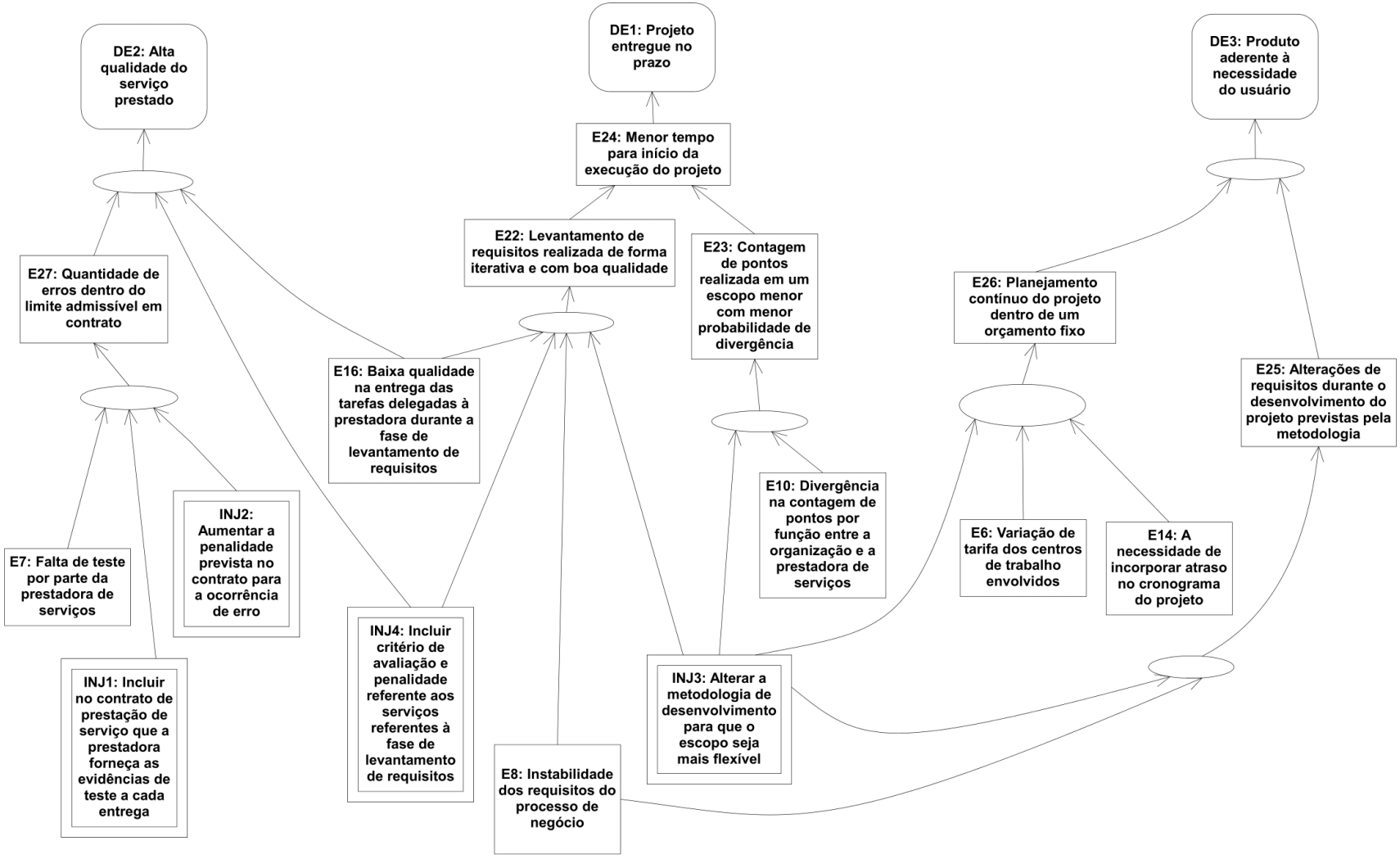


Figura 7 – Árvore da Realidade Futura finalizada

A lista final das propostas de solução pode ser observada a seguir:

- *Solução 1*: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega.
- *Solução 2*: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro.
- *Solução 3*: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.
- *Solução 4*: Incluir no contrato de prestação de serviço critério de avaliação e penalidade referente aos serviços da fase de levantamento de requisitos.

No último dia ocorreu a execução das tarefas "Priorizar Soluções Propostas" e "Elaborar Plano de Ação". As demais tarefas do método, descritas no âmbito da atividade "Encerrar Execução do Método", não tiveram o seu tempo de execução e data registrados uma vez que esse registro não apresentaria dados relevantes sobre a viabilidade do método. Não obstante, é importante destacar que todas as ações descritas no plano de ação, conforme apresentado na Tabela 6, foram executadas e as informações foram registradas no repositório de dados da organização. Todavia, o acompanhamento da adoção dessas soluções não foi registrado neste estudo, pois esta tarefa foge do escopo do método.

Tabela 6 – Plano de Ação para as Soluções Propostas

N°	Solução	Ação	Responsável	Prazo
1	Solução 1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
1	Solução 2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
1	Solução 4: Incluir no contrato de prestação de serviço critério de avaliação e penalidade referente aos serviços da fase de levantamento de requisitos.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
2	Solução 3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.	Apresentar sugestão de solução para a gerência responsável pela gestão de projetos.	Participante P1	31/05/2017

A fim de avaliar o método CARTOC, ao final da execução do estudo, os participantes responderam o formulário de avaliação do método, os quais são

apresentados no Apêndice VI. Este formulário tem como objetivo avaliar o resultado obtido com a execução do método CARTOC no escopo da análise de causa e resolução de problemas, baseada na experiência dos participantes.

5.6 Análise e Interpretação dos Dados

A partir das informações fornecidas pelos participantes do estudo de viabilidade, por meio dos formulários de avaliação do método constantes nas seções VI.4 e VI.5 do Apêndice VI, foi possível responder às questões de pesquisa apresentadas na seção 5.3.

Em relação à questão "*Q1: O tempo demandado para a execução do método é viável no contexto de desenvolvimento de software escolhido?*", observa-se, a partir das respostas dos formulários de avaliação, que o tempo de execução do método foi considerado viável pelos participantes. Um dado que corrobora com esta informação é o percentual de esforço (0,35%) e custo (0,53%) da execução do método CARTOC frente aos dados do projeto escolhido. Já o custo e o esforço total da execução do método, conforme consta no PAP presente na seção VI.1 do Apêndice VI, foram de R$ 3.656,80 e 13,1 horas, respectivamente.

Entretanto, alguns pontos precisam ser esclarecidos quanto aos comentários dos participantes. O primeiro ponto é que o participante P2 não tinha o domínio do método CARTOC. Ademais, conforme mencionado por ele, foi "*difícil analisar separadamente o tempo gasto para cada atividade. Se a análise de causa não fosse conduzida com o apoio de uma pessoa que tivesse o domínio do método, o tempo de execução seria maior do que o observado neste estudo*". Desta forma, observa-se que a participação de uma pessoa com domínio do método foi fundamental para a condução do estudo e, consequentemente, para a redução do seu tempo de execução. O segundo ponto é que ambos os participantes não tinham experiência prévia com a execução de análise de causa em projetos de software, logo espera-se que em execuções futuras deste método, com os mesmos participantes, o tempo de execução seja menor em função desta experiência prévia.

Com relação à questão "*Q2: Qual o grau de satisfação do Responsável pela Análise e da Equipe de Análise quanto à facilidade de utilização do método?*", não foram observados, a partir da avaliação dos participantes P1 e P2, dificuldades no uso e interpretação da descrição das atividades, formulários e procedimentos do método CARTOC. Vale destacar que os dois itens marcados como "Não sei / Não pertinente" pelo

participante P1 não foram aplicáveis pois, este participante, no papel de RG, executou o treinamento do método para o participante P2.

Todavia, algumas ressalvas merecem destaque com relação aos comentários dos participantes. A primeira ressalva refere-se à usabilidade da ferramenta escolhida para a modelagem, a TLT. O participante P2 cita que "*a ferramenta poderia ter a possibilidade de reorganizar os elementos do diagrama automaticamente.*". Em consonância com este comentário, observou-se que a ferramenta não organizava as entidades automaticamente à medida que elas eram criadas, o que demandou um tempo extra na organização dos diagramas para evitar a sobreposição entre relacionamentos e entidades, o que pode ter impactado também no tempo de execução do método considerado na questão Q1.

A segunda ressalva refere-se ao Procedimento para Construção da ARA, pois durante a construção da ARA não ficou claro que o 1° nível de causa era efeito do 2° nível de causa. A terceira ressalva refere-se à delimitação do escopo de atuação da organização após a construção da ARA, haja vista que nem todas as causas raiz identificadas eram passíveis de tratamento apenas pela Empresa A. Logo, foi fundamental definir quais as causas raiz estavam dentro e fora do escopo desta organização para a elaboração das propostas de solução.

As demais ressalvas dizem respeito à atividade "Propor e Priorizar Soluções". Assim sendo, a quarta ressalva refere-se à descrição da tarefa "Elaborar Proposta de Solução", a qual estava um pouco confusa no que tange à adoção ou não da Evaporação de Nuvens. Já a quinta ressalva refere-se à descrição do Procedimento para Construção da ARF, pois tal procedimento não é claro quanto à construção da ARF na inexistência de um diagrama de EN, situação ocorrida neste estudo de viabilidade.

Quanto à ressalva apresentada pelo participante P2, este menciona que "*o item 'Descrição do objetivo do projeto' não contribuiu na análise*". Vale destacar que este item, constante no FRP, de fato não apresenta nenhum ganho para os participantes da análise de causa. Entretanto, para apresentações futuras desta análise, é fundamental pois contextualiza o cenário do projeto onde o método foi aplicado.

No que concerne à questão "*Q3: Qual o grau de satisfação do Responsável pela Análise e da Equipe de Análise quanto à coerência das causas e soluções identificadas com a aplicação do método?*", não foram observados, a partir da avaliação dos participantes P1 e P2, nenhuma objeção quanto à coerência das causas e soluções identificadas a partir do método.

Segundo o participante P1, antes da aplicação do CARTOC, havia uma suspeita

de que as causas identificadas eram possíveis causas raiz para o problema relatado. Entretanto, o real impacto dessas causas só se tornou visível após a análise de causa. Um ponto positivo destacado pelos participantes P1 e P2 refere-se às CRL, pois elas foram fundamentais para a construção dos diagramas de ARA e ARF. Tal ponto foi observado no seguinte relato do participante P2: "*No treinamento não vi muita importância nas Categorias de Ressalva Legítima, mas na execução do método elas foram fundamentais para a construção das relações de causa e efeito.*". Todavia, elas não teriam o mesmo efeito e importância sem a condução dos procedimentos pelo RG, papel desempenhado pelo próprio participante P1.

Outro ponto mencionado pelo o participante P2 diz respeito à tarefa "Priorizar Soluções Propostas". Segundo ele, "*os critérios da priorização são subjetivos, o que pode atrapalhar o resultado final.*". Face ao exposto por este participante, destaca-se mais um ponto de melhoria a ser estudado para este método, a elaboração de critérios mais objetivos de priorização.

Como parte do estudo de viabilidade, é importante destacar as variáveis dependentes e independentes a serem consideradas. As variáveis independentes deste estudo estão relacionadas à organização, ao projeto escolhido para análise e aos participantes. Já as variáveis dependentes que se deseja ressaltar são: a viabilidade com relação ao tempo de execução do método; a facilidade de utilização do método; e a coerência das causas e soluções identificadas.

Não obstante, é importante identificar as ameaças à validade deste estudo. Segundo RUNESON *et al.* (2012), a validade de um estudo denota a confiabilidade dos resultados e em que medida os resultados não são tendenciosos pelo ponto de vista subjetivo dos pesquisadores. Desta forma, são listadas abaixo as ameaças que podem impactar ou limitar o resultado obtido (RUNESON *et al.*, 2012):

- **Ameaças à validade de construção:** são eventos que questionam se os objetos e participantes do estudo estão aderentes com a questão que está sendo abordada.
    a) *Formulários para execução do método*: antes deste estudo, os formulários utilizados durante a execução do método não haviam sido avaliados de forma prática. Como mecanismo de proteção, buscou-se avaliar ao longo da execução o excesso ou a falta de informação a ser registrada nos formulários. Não obstante, ao final da execução do método os próprios formulários foram avaliados pelos participantes.

b) *Duplo papel do pesquisador*: o fato de o pesquisador desempenhar dois papeis durante o estudo de viabilidade pode facilitar o desenvolvimento de algumas tarefas assim como otimizar o tempo de sua execução. Como mecanismo de proteção, o participante P1 buscou solicitar ao participante P2 a leitura de todos os procedimentos ao longo da execução do método, bem como deixá-lo como responsável pela construção dos diagramas com a ferramenta escolhida.

- **Ameaças à validade interna:** são eventos não controlados pelo pesquisador que podem distorcer o resultado esperado. Neste estudo foram observadas as seguintes ameaças internas:
  a) *Tempo aferido para o desenvolvimento de cada tarefa*: a viabilidade do método está relacionada, dentre outros fatores, com o seu tempo de execução. Como mecanismo de proteção à essa ameaça, buscou-se cronometrar apenas o tempo líquido de execução de cada tarefa, parando o cronômetro caso ocorresse alguma interrupção ou desconcentração.
  b) *Desgaste dos participantes*: a maior parte das atividades ocorreu no final do expediente em virtude do tempo disponível dos participantes. Como mecanismo de proteção à essa ameaça, buscou-se evitar a execução de um número grande de tarefas por dia. Além disso, cada reunião definida para análise de causa teve um horário de início e término, com o intuito de administrar a ansiedade dos participantes e evitar a desconcentração proveniente da fadiga.
  c) *Experiência prévia com análise de causa*: embora ambos os participantes não tenham nenhuma experiência profissional prévia com análise de causa em projetos de software, um deles era o próprio pesquisador, o que pode introduzir algum viés no resultado obtido. Como mecanismo de proteção, buscou-se aplicar um treinamento prévio à execução a fim de balizar os participantes em termos de conhecimento sobre o método.
  d) *Uso da ferramenta de Evaporação de Nuvens*: tendo em vista que não foi preciso utilizar a ferramenta de Evaporação de Nuvens (EN), em virtude da falta de conflito entre as propostas de solução, o estudo não apresenta resultados conclusivos quanto à viabilidade desta ferramenta para o contexto analisado. Desta forma, sua aplicabilidade necessita ser avaliada por meio de outros estudos.
- **Ameaças à validade externa:** são eventos externos que questionam a capacidade

de generalizar os resultados do estudo para uma população maior que os participantes. Neste estudo foram observadas as seguintes ameaças externas:

a) *Restrição de tempo para aplicação do método*: embora o tempo disponível dos participantes para a execução deste estudo fosse restrito, o fato de ser um estudo de viabilidade com consentimento pode induzir em uma disponibilidade de tempo maior do que a existente na realidade. Como mecanismo de proteção, buscou-se aprovisionar o tempo gasto nesta atividade dentro do escopo do projeto escolhido, aproximando o cenário do estudo com a disponibilidade real.
b) *Representatividade dos participantes*: outras pessoas envolvidas com o projeto escolhido poderiam participar da execução do estudo, entretanto, não puderam dada a restrição de recursos para demais atividades dentro da organização. Como mecanismo de proteção, o participante P2, mesmo sendo o envolvido com maior conhecimento de causa do projeto, ficou responsável de contatar outra pessoa caso fosse necessário.
c) *Contexto de aplicação*: este estudo de viabilidade contempla a aplicação do método CARTOC apenas na fase de encerramento de um projeto tradicional. Embora não haja um mecanismo de proteção apropriado para essa ameaça neste estudo, é importante ressaltar que os resultados não podem ser generalizados para outros contextos.

- **Ameaças à confiabilidade:** são aspectos que se preocupam com o quão os dados e a análise dependem de pesquisadores específicos. Caso outro pesquisador execute este mesmo estudo, ele deverá chegar aos mesmos resultados. As ameaças à confiabilidade prejudicam a replicação deste estudo, uma vez que podem introduzir um viés do pesquisador. O fato de o participante P1 deter o conhecimento do método e das nuances do projeto escolhido, pode ter introduzido algum viés no processo de análise e interpretação dos dados, haja vista a sua participação direta na análise de causa. Desta forma, a análise dos dados apresenta apenas indícios de aplicabilidade do método, que necessitam ser confirmados com outros estudos.

A partir das considerações pontuadas pelos participantes deste estudo, observa-se que a abordagem tende a alcançar os objetivos ao qual se propõe, uma vez que nenhuma objeção foi testemunhada nos formulários de avaliação do estudo. Desta forma, há

indícios de que o método CARTOC é viável no contexto de um projeto de desenvolvimento de software tradicional. Entretanto, tendo em vista as ameaças à validade identificadas, faz-se necessário executar estudos adicionais em outros projetos assim como em um contexto de desenvolvimento ágil.

5.7 Lições Aprendidas

No que se refere ao método CARTOC, observa-se que este método trouxe ganhos para a análise de causa e resolução de problemas no contexto onde foi aplicado. Um indício que corrobora com a viabilidade do método foi a comparação entre o tempo/esforço de execução da análise de causa com o tempo/esforço de execução do projeto escolhido, assim, observa-se que este método tende a ser menos burocrático do que outras abordagens semelhantes, como a apresentada em SCHOTS (2010). Além disso, observa-se também, a partir deste estudo de viabilidade, que o método atingiu os objetivos que foram propostos em sua concepção:

- *Estruturar o processo de raciocínio humano de forma a reduzir o viés dos envolvidos com a análise durante a fase de identificação da causa raiz*: alcançado por meio das tarefas que compõem a atividade "Analisar e Identificar as Causas Raiz";
- *Considerar a validação dos relacionamentos de causa e efeito estabelecidos*: alcançado por meio das Categorias de Ressalva Legítima (CRL) aplicadas tanto na criação da ARA quanto na criação da ARF;
- *Direcionar o tratamento das causas identificadas*: alcançado por meio das tarefas "Elaborar Proposta de Solução" e "Analisar Proposta de Solução".

Vale destacar que os diagramas (ARA, EN, ARF), assim como o procedimento das Categorias de Ressalva Legítima (CRL), são contribuições advindas da adaptação da Teoria das Restrições ao método CARTOC. Observa-se, a partir dos relatos dos participantes, que as CRL foram importantes para a construção dos diagramas de ARA e ARF. Entretanto, um diferencial que foi destacado pelo participante P2 foi o fato de o participante P1 ter o domínio das CRL, o que auxiliou na construção e validação de todos os diagramas.

Não obstante, é importante mencionar que o método não prevê a participação do

RG ao longo de toda a execução, pois espera-se que este conhecimento seja de domínio do RA. Logo, o fato de o participante P1 ter desempenhado os dois papeis, pode ter influenciado em uma possível redução do tempo de aplicação do método.

Ademais, outro indício de que o CARTOC produziu ganho para a análise de causa foi o fato de o método dar visibilidade ao impacto das causas raiz. Antes da análise de causa havia apenas suspeitas das possíveis causas raiz. Estas suspeitas foram materializadas por meio do diagrama de ARA que deu transparência às relações de causa e efeito, dimensionando o real impacto dessas causas.

Outra lição aprendida diz respeito à usabilidade da ferramenta de modelagem escolhida. A TLT não organizava os elementos dos diagramas à medida que eles eram inseridos e conectados uns aos outros. Desta forma, demandou-se um tempo razoável para ajustar os elementos na ferramenta. Recomenda-se para os estudos futuros a possibilidade de usar alguma outra ferramenta com o intuito de avaliar se houve uma redução no tempo de construção dos diagramas.

No que tange à tarefa "Priorizar Soluções Propostas", foi observado que os critérios de priorização derivados a partir desta tarefa eram subjetivos e não auxiliaram na etapa de priorização das soluções. Assim, ressalta-se a importância de aplicar estudos adicionais a fim de avaliar a necessidade de uma técnica alternativa à técnica GUT, aplicada nesta tarefa.

Em suma, os benefícios da TOC neste estudo de viabilidade, advindos por meio da aplicação do método CARTOC, foram observados tanto no processo de análise, quanto no de resolução do problema. No tocante ao processo de análise, os procedimentos para construção da ARA foram capazes de, a partir da identificação dos desvios de projeto e do contexto do problema relatado, derivar as causas raiz do problema por meio dos relacionamentos de causa e efeito construídos e validados com o apoio das CRL. Estas CRL foram fundamentais para evitar a construção de relacionamentos de causa e efeito inexistentes e/ou incoerentes, além disso, o diagrama da ARA auxiliou também na visualização de todos os elementos que interagem com a causa raiz e de que forma eles estão estruturados produzindo os efeitos indesejados levantados.

No tocante ao processo de resolução do problema, os procedimentos para construção da ARF foram capazes de validar as propostas de solução elaboradas e direcionar o processo de resolução do problema. Ao longo da sua construção, observou-se que as propostas elaboradas não eram suficientes para o tratamento de uma das causas raiz, o que levou a criação de mais uma proposta de solução. Desta forma, observa-se que

os benefícios do método CARTOC permearam desde o processo de análise até a validação das propostas de solução do problema.

Após a realização deste estudo de viabilidade, algumas melhorias foram refletidas na descrição do método apresentado neste trabalho. Estas melhorias estão consolidadas a seguir:

- Alteração do passo 2 do Procedimento para Construção da ARA, a fim de esclarecer que o 1° nível de causa é efeito direto do 2° nível de causa;
- Alteração da descrição da tarefa "Elaborar Proposta de Solução", no que se refere importância de definir o escopo de atuação da organização antes da elaboração das propostas de solução;
- Alteração da descrição da tarefa "Elaborar Proposta de Solução", a fim de esclarecer em qual situação deve-se aplicar a ferramenta de EN;
- Alteração do passo 2 do Procedimento para Construção da ARF, a fim de retirar a obrigatoriedade de utilização da EN.

5.8 Considerações Finais

Este capítulo apresentou um estudo de viabilidade cujo objetivo foi verificar a aplicabilidade do método CARTOC, seus procedimentos e modelos de formulário, e aferir o tempo de execução e os resultados obtidos com a sua aplicação no contexto da análise de causa e resolução de problemas em um projeto de desenvolvimento de software tradicional. Para isso, foi escolhido o projeto real de uma multinacional de energia com foco em óleo e gás do Rio de Janeiro.

Ademais, este estudo possibilitou avaliar também a aplicabilidade dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições que foram adaptados, por meio do método CARTOC, ao processo de análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software. Conforme mencionado pelos participantes do estudo, o método CARTOC proveu visibilidade às relações de causa e efeito para as entidades que constituíam o problema do projeto escolhido. Tal visibilidade foi alcançada por meio das CRL e da aplicação dos Processos de Pensamento da ARA e ARF.

Por fim, as melhorias propostas pelos participantes no âmbito deste estudo de viabilidade foram analisadas e aplicadas à versão do método CARTOC presente nesta

dissertação. O próximo capítulo apresenta as conclusões deste trabalho: as contribuições desta dissertação, as suas limitações e as perspectivas futuras para esta pesquisa.

6. CONCLUSÃO

Neste capítulo são apresentadas as considerações finais desta dissertação, suas contribuições, suas limitações e as perspectivas futuras para esta pesquisa.

6.1 Considerações Finais

Esta dissertação apresentou um método para análise de causa e resolução de problemas para projetos de desenvolvimento de software. Em suma, o objetivo deste método é auxiliar os envolvidos com a análise a identificar as causas raiz de um cenário problemático de um projeto e direcionar o tratamento das causas identificadas. A construção deste método foi precedida por alguns estudos.

O primeiro estudo realizado foi uma revisão informal da literatura, na qual foram revisadas normas e modelos de maturidade relacionadas à engenharia de software que descrevem como ocorre o processo de análise de causa e resolução de problemas a fim de melhorar a qualidade de software e serviços. Além disso, foram revisadas também as técnicas aplicadas na execução do referido processo, com o propósito de entender como elas são executadas.

O segundo estudo realizado foi uma revisão formal da literatura, por meio de um mapeamento sistemático, cujo objetivo era identificar as etapas mais características de um processo de análise de causa e resolução de problemas, bem como as práticas mais recomendadas na sua execução. Como resultado deste estudo, obteve-se um conjunto de requisitos para a elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas.

Durante a revisão de trabalhos correlatos foi identificada uma pesquisa que propôs uma abordagem de melhoria contínua de processo de software por meio da aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições (COSTA, 2012). Após a revisão desta

pesquisa, uma possível aplicabilidade dos Processos de Pensamento foi observada para o contexto da análise de causa e resolução de problemas em projetos de software. Esta aplicabilidade foi constatada após a identificação de um conjunto de características definidas como diferenciais para o método proposto nesta dissertação, apresentadas no início do Capítulo 3. Estas características foram identificadas após uma análise das lições aprendidas catalogadas durante o mapeamento sistemático e dos requisitos para elaboração de um método para análise de causa e resolução de problemas, também obtidos por meio deste mapeamento.

Por conseguinte, no Capítulo 4 o método CARTOC foi construído a partir do conjunto de requisitos obtidos pelo mapeamento sistemático e valendo-se dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições para alcançar as características diferenciais apresentadas no Capítulo 3. Vale ressaltar que os Processos de Pensamento foram adaptados da literatura para o contexto da análise de causa e resolução de problemas. Os formulários utilizados ao longo do método foram construídos com base nas lições aprendidas obtidas dos trabalhos correlatos e das pesquisas catalogadas no mapeamento sistemático.

Um estudo de viabilidade foi executado com o propósito de verificar a aplicabilidade do método CARTOC, aferir o tempo de execução e os resultados obtidos no contexto de um projeto de desenvolvimento de software tradicional, em uma empresa de energia do Rio de Janeiro. Ao final da execução deste estudo, observou-se a aplicabilidade do método, assim como a viabilidade dos Processos de Pensamento no contexto da análise de causa e resolução de problemas. Por fim, após a análise das informações obtidas com os formulários de avaliação do estudo, algumas mudanças foram implementadas no método CARTOC com o intuito de evitar a recorrência das dificuldades observadas em execuções futuras.

Vale destacar que o método CARTOC distingue-se dos demais método de análise e resolução de problemas pois, a partir da aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições, buscou: estruturar o processo de análise de causa reduzindo a tendência automática que os envolvidos têm de deduzir o problema sem uma análise prévia, por meio da aplicação da Árvore da Realidade Atual; validar os relacionamentos de causa e efeitos nos processos de análise e resolução de problemas, a fim de evitar a investigação de relacionamentos inexistentes e/ou incoerentes, mediante a aplicação das Categorias de Ressalva Legítima; direcionar o tratamento das causas identificadas, a partir da validação das propostas de solução com o uso da Árvore da Realidade Futura.

6.2 Contribuições

As principais contribuições desta dissertação são:

- Definição de um conjunto de requisitos, compostos por etapas e práticas, para elaboração de um método para análise de causa e resolução de problemas;
- Definição de um método para análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software, contemplando:
    - Apoio à identificação da causa raiz em um cenário problemático de projeto;
    - Apoio à identificação e resolução de propostas de solução conflitantes dentro de um cenário problemático de projeto;
    - Apoio à análise e validação das propostas de solução para as causas raiz de um cenário problemático de projeto;
    - Apoio à validação dos relacionamentos de causa e efeito, tanto durante o processo de identificação da causa raiz, quanto durante a validação das propostas de solução;
    - Apoio ao direcionamento da resolução das causas raiz por meio de um plano de ações priorizadas.
- Adaptação e aplicação dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições para o contexto da análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software.

6.3 Limitações

O método proposto nesta dissertação mostrou-se viável para o contexto do projeto de software escolhido durante o estudo de viabilidade e foi possível obter uma boa avaliação do método após a sua execução. Entretanto, o fato do pesquisador ter desempenhado dois papeis durante a execução do estudo de viabilidade pode ter sido um fator que facilitou o desenvolvimento das tarefas do método. Desta forma, seria importante considerar a execução de estudos adicionais, inclusive em contextos diferentes como o de um projeto de desenvolvimento ágil, de forma a evitar a participação do pesquisador no papel de Responsável pela Análise ou Equipe de Análise a fim de reduzir o viés do processo de análise.

Devido à limitação de tempo para esta pesquisa, assim como a dificuldade para encontrar projetos aplicáveis a este método, não foi possível executar todos os estudos previstos na metodologia de SHULL *et al.* (2001) para avaliar e amadurecer o método proposto por esta dissertação. Entretanto, vale mencionar que o estudo de viabilidade executado foi primordial para o amadurecimento inicial do método e cumpriu com o propósito de avaliação da viabilidade.

6.4 Perspectivas Futuras

Após a execução do estudo de viabilidade, algumas propostas de melhoria foram identificadas. Parte dessas melhorias foram consideradas correções e já foram atualizadas no escopo do método apresentado. As demais, descritas a seguir, foram inferidas após a conclusão do estudo e análise das respostas dos participantes, e devido à restrição de tempo não puderam ser realizadas no âmbito desta dissertação:

- Desenvolver um procedimento de priorização das propostas de solução menos subjetivo e mais aderente à realidade de cada projeto;
- Acrescentar um guia prático para a ferramenta de modelagem utilizada para a construção dos diagramas;
- Desenvolver um conjunto de exercícios para o treinamento sobre as Categorias de Ressalva Legítima, assim como para a aplicação dos Processos de Pensamento utilizados neste método;
- Avaliações adicionais e refinamento do método proposto através de um estudo de caso.
- Desenvolver um procedimento para avaliar os efeitos indesejados após a aplicação do método CARTOC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BASILI, V.R., CALDIERA, G., ROMBACH, H.D., 1994, “The Experience Factory”. In: Marciniak, J.J. (ed), *Encyclopedia of Software Engineering*, vol. 1, New York, John Wiley & Sons.

BEZERRA, C., COELHO, C., PIRES, C., ALBUQUERQUE, A., 2010, “A Practical Application of Performance Models to Predict the Productivity of Projects”. In: Sobh, T., *Innovations and Advances in Computer Sciences and Engineering*, 1 ed, pp. 273-277.

BEZERRA, C. I. M., 2009, *MiniDMAIC: uma abordagem para análise e resolução de causas de problemas em projetos de desenvolvimento de software*. Dissertação de M.Sc., Universidade de Fortaleza, Fortaleza, Brasil.

BJORNSON, F. O., WANG, A. I., AND ARISHOLM E., 2009, "Improving the Effectiveness of Root Cause Analysis in Post Mortem Analysis: A Controlled Experiment." *Information and Software Technology 51*(1): 150-161.

CARD, D., 2005, “Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning”. In: *Advances in Computers*, vol. 65, pp. 259-295.

COLLOFELLO, J., GOSALLA, B., 1993, “Application of Causal Analysis to the Software Modification Process”, *Software Practice and Experience*, 23(10), pp. 1095–1105.

COSTA, T. M. D., 2012, *Melhoria Contínua de Processos de Software Utilizando a Teoria das Restrições*. Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.

CONTE, T., 2009, *Técnica de Inspeção de Usabilidade Baseada em Perspectivas de Projeto WEB*. Tese de Dsc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

COX III, J. F., SPENCER, M. S., 2009, *Manual da Teoria das Restrições: Prefácio de Eliyahu M. Goldratt*, Bookman, Porto Alegre.

COX III, J. F., SCHLEIER Jr., J. G., 2013, *Handbook da Teoria das Restrições*, Bookman, Porto Alegre.

DETTMER, H. W., 2007, *The Logical Thinking Process: A System Approach to Complex Problem Solving*, ASQ Quality Press, Milwaukee, Wisconsin.

DEW, J. R., 1991, "In Search of the Root Cause". *Quality Progress*, vol. 24, n. 3, pp. 97-102.

DORSCH, J. J., YASIN M. M., CZUCHRY A., 1997, "Application of Root Cause Analysis in a Service Delivery Operational Environment: a Framework for Implementation." *International Journal of Service Industry Management 8*(4): 268-289.

ECKERT, C., HUGHES, B., 2010, "The Root of the Cause". *Industrial Engineer*, vol. 42(2), pp. 38-43.

ENDRES, A., 1975, "An Analysis of Errors and their Causes in System Program", *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-1, pp. 140-149.

FLORAC, W. A., CARLETON, A. D., 1999, "Measuring the Software Process: Statistical Process Control for Software Process Improvement", Addison Wesley.

GRADY, R. B., 1996, "Software Failure Analysis for High return Process Improvement Decisions", *Hewlett-Packard Journal*, v. 47, n. 4, pp. 15 – 24, August.

GONÇALVES, F., BEZERRA, C., BELCHIOR, A., COELHO, C., PIRES, C., 2008, "Implementing Causal Analysis and Resolution in Software Development Projects: The MiniDMAIC Approach". In: *19th Australian Conference on Software Engineering*, pp. 112-119.

HONDA N., YAMADA S., 2012, "Defect root-cause analysis and 1+n procedure" technique to improve software quality, *International Journal of Systems Assurance Engineering and Management Volume 3*, Issue 2, June 2012, Pages 111-121.

ISO/IEC, 2008, "ISO/IEC 12207: System and Software Engineering – Software Life Cycle Processes", *The International Organization for the Standardization and the International Electrotechnical Commission*.

ISO/IEC, 2015, "ISO/IEC 33020: Information Technology – Process Assessment – Process Measurement Framework for Assessment of Process Capability", *The International Organization for the Standardization and the International Electrotechnical Commission*.

JAYSWAL, A.A, LI, X.A, ZANWAR, A.A, LOU, H.H.A, HUANG, Y., 2011, "A sustainability root cause analysis methodology and its application", *Computers and Chemical Engineering*, Volume 35, Issue 12, 14 December 2011, Pages 2786-2798.

JIN, Z. X., HAJDUKIEWICZ, J., HO, G., CHAN, D., KOW, Y., 2007, "Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation". *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 4562 LNAI: 79-88.

JUNIOR, I. M., CIERCO, A. V. R., MOTA, E. B., LEUSIN, S., 2007, *Gestão da Qualidade*, 8 ed., capítulo 8, Rio de Janeiro, FGV.

KALINOWSKI, M., 2011, *Uma Abordagem Probabilística para Análise Causal de Defeitos de Software*. Tese de D.Sc., Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

KALINOWSKI, M., TRAVASSOS, G. H., CARD, D. N., 2008, "Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach", *34th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications* (SEAA), 199-206, Parma, Italy.

KALINOWSKI, M., CARD, D. N., TRAVASSOS, G. H., 2012, "Evidence-Based Guidelines to Defect Causal Analysis", *IEEE Software*, vol. 29, no. 4, pp. 16-18, July-Aug, 2012.

KIM, S., MABIN, V., DAVIES, J., 2008, "The Theory of Constraints Thinking Processes: Retrospect and Prospect", *International Journal of Operations & Production Management*, v. 28, n. 2, pp. 155-184.

LEE, M.-C., CHANG, T., 2012, "Combination of theory of constraints, root cause analysis and Six Sigma for quality improvement framework", *International Journal of Productivity and Quality Management*, Volume 10, Issue 4, October 2012, Pages 447-463.

LEHTINEN, T.O.A., MÄNTYLÄ, M.V., VANHANEN, J., 2011, "Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies", *Information and Software Technology*, Volume 53, Issue 10, October 2011, Pages 1045-1061.

LEHTINEN, T.O.A., VIRTANEN, R., VILJANEN, J.O., MÄNTYLÄ, M.V., LASSENIUS, C., 2014a, "A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams", *Information and Software Technology*, Volume 56, Issue 4, April 2014, Pages 408-437.

LEHTINEN, T.O.A., MÄNTYLÄ, M.V., VANHANEN, J., ITKONEN, J., LASSENIUS, C., 2014b, “Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships”, *Information and Software Technology*, Volume 56, Issue 6, June 2014, Pages 623-643.

MAFRA, S. N., BARCELOS, R. F., TRAVASSOS, G. H., 2006, "Aplicando uma Metodologia Baseada em Evidência na Definição de Novas Tecnologias de Software". In: *XX Simpósio Brasileiro de Engenharia de Software*, v. 1, pp. 239 –254, Florianópolis.

MAFRA, S. N., TRAVASSOS, G. H., 2006, "Estudos Primários e Secundários apoiando a busca por Evidência em Engenharia de Software", *Relatório Técnico ES-687/06*, Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

MAYS, R. G., 1990, “Applications of Defect Prevention in Software Development”, *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, v. 8, n. 2, pp. 164-168, February.

MAYS, R. G., JONES, C. L., HOLLOWAY, G. J., STUDINSKI, D. P., 1990, “Experiences with Defect Prevention”, *IBM System Journal*, v. 29, n. 1, pp. 4-32.

PERIARD, G, 2011, *Matriz GUT: Guia Completo*, Sobre Administração. Disponível em http://www.sobreadministracao.com/matriz-gut-guia-completo/.

ROCHA NETO, A., 2001, *O Processo de Raciocínio da Teoria das Restrições em Instituições de Ensino Superior: um Estudo de Caso*. Dissertação de M.Sc., Universidade Federal de Santa Catarina, Brasil.

ROMANO E., MURINO T., ASTA F., COSTAGLIOLA P., 2013, Lean Maintenance model to reduce scraps and WIP in manufacturing system: Case study in power cables factory, *WSEAS Transactions on Systems*, Volume 12, Issue 12, December 2013, Pages 650-666.

ROONEY, J. J., HEUVEL, L. N. V., 2004, "Root Cause Analysis for Beginners." *Quality Progress* 37(7): 45-53.

RUNESON, P., HOST, M., RAINER, A., REGNELL, B., 2012, *Case Study Research in Software Engineering: Guidelines and Examples*, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.

SANTOS, D. V., 2015, *Facilitando a Aprendizagem Organizacional em Melhoria de Processo de Software*. Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Informática, UFAM, Amazonas, Brasil.

SCHEINKOPF, L.J., 1999, *Thinking for a change: Putting the TOC thinking processes to use*, Boca Raton, FL, CRC Press.

SCHOTS, N. C. L., 2010, *Uma Abordagem para a Identificação de Causas de Problemas Utilizando Grounded Theory*. Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, Brasil.

SEI, 2010, *CMMI for Development*, Versão 1.3, Pittsburg, Software Engineering Institute.

SHENVI, A. A., 2009, "Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification", *Proceedings of the 2nd India Software Engineering Conference* (ISEC 2009), pp. 83-87, Pune, India, February.

SHULL, F., CARVER, J., TRAVASSOS, G. H., 2001, "An Empirical Methodology for Introducing Software Processes", *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, v. 26 n. 5, pp. 288-296

SOFTEX, 2016, *Guia Geral MPS de Software*, SOFTEX - Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro. Disponível em: http://www.softex.br/mpsbr/guia-geral-de-software/

WÖHLIN, C., RUNESON, P., HÖST, M., OHLSSON, M., REGNELL, B., WESSLÉN, A., 2000, *Experimentation in Software Engineering: An Introduction*, Norwell, USA, Kluwer Academic Publishers.

ZAWAWY H., MANKOVSKII S., KONTOGIANNIS K., MYLOPOULOS J., 2015, "Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis", *The Art and Science of Analyzing Software Data*, September 01, 2015, Pages 519-554.

APÊNDICE I – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas

Este apêndice apresenta o resultado de um mapeamento sistemático da literatura que identificou as etapas mais características de um processo de análise de causa e resolução de problemas, bem como as práticas mais recomendadas na sua execução. O conjunto dessas etapas e práticas serão utilizadas na elaboração e refinamento de um método para análise de causa e resolução de problemas em projetos de software.

I.1. Protocolo de pesquisa

I.1.1. Contexto

Muitas organizações de software tendem a responder aos problemas de maneira reativa, ou seja, tão logo um defeito seja detectado, a correção é rápida a fim de minimizar o impacto nas soluções de negócio do cliente. Entretanto, a solução simplesmente reativa, sem uma análise detalhada dos dados que permeiam o problema, não leva à identificação da causa raiz, o que pode desencadear problemas como: alto custo de atualização após a release do produto; necessidade contínua de reparo de defeitos; um produto de má qualidade (GRADY, 1996).

Em meio a isso, alguns modelos de melhoria de processos ressaltam a importância da análise da causa raiz por meio de processos específicos. No CMMI-DEV (SEI, 2010), o nível 5 de maturidade contempla uma área de processo dedicada à análise e resolução

de causa de problemas em processos de software. O propósito dessa área de processo é identificar a causa dos problemas selecionados e prover alguma ação para melhorar o desempenho do processo onde foi detectado o problema (SEI, 2010). As seguintes práticas específicas são contempladas nessa área de processo: Seleção dos Resultados para Análise; Análise das Causas; Implementação das Ações Propostas; Avaliação do Efeito das Implementações; Armazenagem dos Dados da Análise de Causa. No MR-MPS-SW (SOFTEX, 2016), não há um processo específico para análise de causas, pois as práticas desejadas estão incorporadas nos atributos de processo do nível A (que têm equivalência ao nível 5 do CMMI-DEV). A análise de causas raiz também é prevista no nível 4 do CMMI-DEV no contexto da área de processo Gerência Quantitativa do Projeto, assim como na evolução de Gerência de Projetos do MR-MPS-SW no nível B, apesar de não ser exigido nesses níveis a definição de um processo formal para tal.

Embora diversas organizações realizem análise de causa raiz, poucas a fazem da maneira correta. Dentre essas, são raras as que têm um programa sustentável e efetivo de análise de causa raiz (ECKERTE e HUGHES, 2010). Durante décadas as organizações têm utilizado diferentes ferramentas e metodologias para a análise e tratamento de problemas, obtendo diferentes níveis de eficácia. Apesar de muitas dessas ferramentas estarem disponíveis, a falta de disciplina, coerência e uma metodologia uniforme, especialmente no que se refere a problemas de desenvolvimento de software, levam a falhas na adoção dessas alternativas (GONÇALVES *et al.*, 2008).

Em meio a esse cenário, revela-se a carência de um método formal para análise de causa e resolução de problemas. Nesse sentido, os seguintes argumentos endossam essa necessidade (BANAS QUALIDADE, 2007 citado por GONÇALVES *et al.*, 2008): (i) Evitar que os responsáveis por resolver os problemas proponham uma solução sem analisar o problema; (ii) Assegurar que a causa real seja analisada; (iii) Desmistificar o processo de resolução de problemas; (iv) Estabelecer o uso de ferramentas analíticas e as situações onde cada uma pode ser usada.

Dado o cenário dos problemas descritos que derivam da falta de um processo formal, ou sistemático, para a análise de causa e resolução de problemas, bem como as justificativas para a sua implantação, buscou-se identificar na literatura, por meio de um mapeamento sistemático, um conjunto de etapas e práticas recomendadas relacionadas ao processo de análise de causa e resolução de problemas. O objetivo deste mapeamento, a partir da consolidação dessas etapas e práticas, é proporcionar uma maior clareza sobre as etapas envolvidas em um processo de análise de causa, o que poderá auxiliar a criação

de um método novo para esse processo.

I.1.2. Objetivo

Após a revisão de trabalhos correlatos ao tema de pesquisa, observou-se que uma pesquisa semelhante à proposta deste trabalho já havia sido feita por SCHOTS (2010), a qual descreve um mapeamento sistemático para identificar estudos com propostas de execução do processo de análise de causas, com foco especial na identificação da causa raiz. Logo, decidiu-se por replicar e estender o estudo de SCHOTS (2010), haja vista a semelhança nos objetivos de pesquisa propostos em ambos trabalhos.

O objetivo deste trabalho segue o paradigma GQM (BASILI *et al*., 1994) e compreende:

> **Analisar** relatos de experiência e publicações científicas sobre análise de causa e resolução de problemas
> **Com o propósito de** identificar um conjunto de etapas e práticas recomendadas
> **Com relação ao** processo de análise de causa e resolução de problemas
> **Do ponto de vista de** pesquisadores
> **No contexto** acadêmico e industrial

Embora parte do tema deste trabalho (análise de causa) seja igual ao de SCHOTS (2010), os propósitos das duas pesquisas são diferentes, como pode ser observado no objetivo de pesquisa de SCHOTS (2010) que também segue o paradigma GQM (BASILI *et al*., 1994) e compreende:

> **Analisar** relatos de experiência e publicações científicas sobre análise de causas
> **Com o propósito de** identificar técnicas, métodos, processos e ferramentas
> **Com relação a** procedimentos para identificação das causas raiz de problemas
> **Do ponto de vista de** pesquisadores
> **No contexto** acadêmico e industrial.

Assim sendo, a replicação do estudo proposto por SCHOTS (2010) implicou na ampliação da abrangência deste trabalho para que não fossem contemplados apenas os procedimentos inerentes à análise de causa, mas também a respectiva resolução do problema. Desta forma, seria possível compreender de forma geral o processo de análise de causa e resolução de problemas para estratificar as suas etapas e práticas mais

características.

Quanto ao processo de replicação, vale esclarecer as adaptações que foram realizadas neste trabalho frente ao estudo proposto por SCHOTS (2010). Alguns itens foram mantidos, dado que esses não iriam de encontro às diferenças entre os objetivos de pesquisa de ambos os trabalhos:

- Escopo das bibliotecas digitais consultadas
- Idiomas das publicações
- Máquina e expressão de busca

Os demais itens foram adaptados devido às diferenças entre os objetivos de pesquisa de ambos os trabalhos. Caso esses itens fossem reaproveitados, os resultados a serem obtidos não iriam atender os novos objetivos de pesquisa elencados para este trabalho, apenas iriam atualizar aqueles obtidos por SCHOTS (2010):

- Procedimentos de seleção e critérios
- Procedimentos para extração dos dados
- Procedimentos para análise

I.1.3. Questões de pesquisa

Quanto às questões de pesquisa deste trabalho, decidiu-se por substituir aquelas apresentadas em SCHOTS (2010) por novas questões de pesquisa com o intuito de explorar os artigos sob uma ótica diferente e possibilitar a análise de informações que não haviam sido observadas anteriormente. A questão principal (QP) e as questões secundárias (QS) que foram empregadas neste trabalho estão descritas a seguir:

- QP – Quais são as etapas que devem ser consideradas durante o processo de análise de causa raiz e resolução de problemas?
- QS1 – Quais são os processos, técnicas, ferramentas e lições aprendidas que apoiam a identificação da causa raiz de problemas?
- QS2 – Quais são os processos, técnicas e ferramentas aplicadas em cada etapa desse processo?
- QS3 – Quais são as lições aprendidas, obtidas a partir de relatos de experiência, que devem ser consideradas na execução de cada etapa?

- QS4 – Quais são as etapas que devem ser consideradas para o tratamento das causas raiz?

I.1.4. Escopo

Os critérios adotados para selecionar as bibliotecas digitais na pesquisa iniciada por SCHOTS (2010) e mantidos neste trabalho são os seguintes:

- Possuir um mecanismo de busca que permita o uso de expressões lógicas ou funcionalidade equivalente;
- Pertencer a uma das editoras listadas no Portal de Periódicos da CAPES;
- Incluir em sua base publicações da área de exatas ou correlatas que possuam relação direta com o tema a ser pesquisado;
- Possuir mecanismos de busca que permitam a busca no texto completo das publicações.

O mapeamento original se restringe à análise de publicações disponíveis a partir de 01 de janeiro de 1975 (ano da publicação do primeiro trabalho relacionado ao tema na área de engenharia de software) até abril de 2010. O processo de replicação do estudo absorveu a lista final de publicações obtida por SCHOTS (2010) e reexecutou a mesma expressão de busca em agosto de 2016. Entretanto, haja vista que o ano de 2016 ainda não havia sido encerrado e publicações retroativas à data de execução da expressão poderiam ser obtidas em execuções futuras, decidiu-se restringir a análise das publicações retornadas de 2010 até 31 de dezembro de 2015.

I.1.5. Idiomas

O idioma selecionado inicialmente e mantido durante o processo de replicação da pesquisa foi o inglês. Visto que ele é amplamente adotado nas conferências e periódicos internacionais relacionados ao tema de pesquisa, assim como é utilizado pela maioria das editoras relacionadas com o tema listadas no Portal de Periódicos da CAPES.

I.1.6. Métodos de busca de publicações

A expressão final de busca validada e utilizada por SCHOTS (2010) foi limitada

à máquina de busca Scopus[2], dada à facilidade fornecida pela ferramenta e aos poucos resultados relevantes encontrados na máquina de busca Compendex[3]. Essa expressão, mantida neste trabalho, é apresentada a seguir conforme o padrão da máquina de busca da Scopus:

(TITLE-ABS-KEY("causal analysis" OR "cause analysis" OR "cause-effect analysis" OR "cause-and-effect analysis" OR "root cause analysis" OR "root-cause analysis" OR "defect analysis") AND ("root cause") AND (process OR approach OR method OR methodology OR technique OR tool OR paradigm OR strategy)) AND PUBYEAR AFT 1975 AND (LIMIT-TO(SUBJAREA, "COMP") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "BUSI") OR LIMIT-TO(SUBJAREA, "MULT"))

I.1.7. Procedimentos de seleção e critérios

Após a definição da expressão de busca, foram definidos os procedimentos e critérios de seleção das publicações. Este processo de seleção foi dividido em três etapas:

1ª Etapa: seleção e catalogação inicial das publicações: a seleção inicial das publicações foi feita a partir da aplicação da expressão de busca à fonte selecionada e armazenada em uma planilha de dados para análise.

2ª Etapa: seleção das publicações relevantes (1º filtro): após a seleção por meio da expressão de busca, os resumos (*abstracts*) de todas as publicações retornadas foram lidos e analisados. Vale ressaltar que dos critérios de inclusão utilizados por SCHOTS (2010) apenas dois foram mantidos nesta pesquisa, tendo em vista as novas questões de pesquisa endereçadas. Os critérios utilizados estão descritos a seguir:

- **CI1:** a publicação objetiva propor ou descrever a utilização de técnicas, métodos, processos e/ou ferramentas relacionadas à análise de causas como sua principal contribuição.
- **CI2:** a publicação objetiva propor ou descrever a utilização de técnicas, métodos, processos e/ou ferramentas relacionadas à identificação de causas como sua principal contribuição.

Cada publicação foi selecionada para a próxima etapa somente se atendesse a, pelo menos, um destes critérios.

3ª Etapa: seleção das publicações relevantes (2º filtro): as publicações

[2] http://www.scopus.com
[3] http://www.engineeringvillage.com

selecionadas na 2ª etapa, bem como aquelas constantes na lista final obtida em SCHOTS (2010) que foram absorvidas como parte do processo de replicação do estudo, foram lidas completamente verificando se, de fato, atendiam a pelo menos um dos critérios definidos.

Todas as etapas do processo de seleção foram revisadas por um segundo pesquisador com experiência em execução de revisões sistemáticas, visando corrigir possíveis erros na execução do protocolo de pesquisa e diminuir o viés na seleção das publicações.

I.1.8. Procedimentos para extração de dados

Para cada publicação obtida ao final do processo de seleção foram catalogadas as seguintes informações:

- Dados da publicação
  - Título
  - Autor(es)
  - Data da publicação
  - Referência completa
- Resumo da publicação
  - Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
  - Como ocorre a identificação da causa raiz?
  - Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
  - Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
  - Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
  - Qual o contexto de aplicação do estudo?
  - Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

I.1.9. Procedimentos para análise

A partir da extração dessas informações, uma análise quantitativa e qualitativa foi realizada com o objetivo de identificar um conjunto de etapas e práticas recomendadas para a análise de causa e resolução de problemas.

A análise quantitativa buscou responder às questões de pesquisa por meio da análise dos dados extraídos de cada publicação com o auxílio de tabelas e gráficos. Já a

análise qualitativa buscou identificar as recomendações para o processo de análise de causa e resolução de problemas a partir das questões de pesquisa definidas juntamente com a análise dos dados encontrados nas publicações.

I.2. Execução da Pesquisa

Após a definição do protocolo de pesquisa, o mapeamento sistemático foi iniciado em agosto de 2016.

Na primeira etapa de seleção das publicações, a expressão de busca definida na seção I.1.6 foi executada na máquina de busca Scopus. Esta primeira etapa retornou 353 publicações.

Na segunda etapa de seleção, a qual foi realizada em duas rodadas, o *abstract* de cada publicação foi lido e avaliado por dois pesquisadores que seguiram os critérios estabelecidos na seção I.1.7. Na primeira rodada os pesquisadores realizaram a seleção das publicações de maneira independente. Na segunda rodada, buscou-se um consenso quanto às diferenças nas seleções realizadas por ambos pesquisadores. Durante este processo, caso persistisse a dúvida sobre determinada publicação, esta seria incluída no escopo para diminuir os riscos da pesquisa. Ao final desta etapa, foram selecionadas 47 publicações. Tendo em vista que nem todas estavam disponíveis para *download*, das 47 publicações, apenas 15 puderam ser acessadas.

Na terceira etapa de seleção, todas as 15 publicações foram lidas por completo, juntamente com a lista final obtida em SCHOTS (2010), contendo 23 publicações. Ao final deste processo, das 15 publicações obtidas na segunda etapa, 3 foram eliminadas pois não se enquadraram em nenhum dos critérios estabelecidos após a leitura completa. Das 23 publicações obtidas em SCHOTS (2010), nenhuma foi eliminada. Por conseguinte, a análise dos resultados da pesquisa foi realizada na lista final contendo 35 publicações, apresentada na Tabela 7.

Tabela 7 – Lista final das publicações obtidas após a execução da pesquisa

Autor	Ano	Título
Endres, A.	1975	An Analysis of Errors and their Causes in System Programs
Mays, R.G., Jones, C.L., Holloway, G.J., Studinski, D.P.	1990	Experiences with Defect Prevention
Mays, R. G.	1990	Applications of Defect Prevention in Software Development
Dew, J. R.	1991	In search of the root cause
Collofello, J., Gosalla, B.	1993	Application of Causal Analysis to the Software Modification Process

Autor	Ano	Título
Grady, R. B.	1996	Software Failure Analysis for High-Return Process Improvement Decisions
Dorsch, J. J., Yasin M. M., Czuchry A.	1997	Application of root cause analysis in a service delivery operational environment: A framework for implementation
Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.	2000	A Case Study in Root Cause Defect Analysis
Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.	2002	Classification and Evaluation of Defects in a Project Retrospective
Johnson, C.	2003	The Application of Causal Analysis Techniques for Computer-Related Mishaps
Rooney, J. J. and Heuvel, L. N. V.	2004	Root Cause Analysis for Beginners
Latino, R. J.	2005	The Application of PROACT® RCA to Terrorism/Counter Terrorism Related Events
Card, D. N.	2005	Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning
Pollack, K. T. and S. M. Uttamchandani	2006	GENESIS: A Scalable Self-Evolving Performance Management Framework for Storage Systems
Jin, Z. X., Hajdukiewicz, J., Ho, G., Chan, D., Kow, Y.	2007	Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation
Mirgorodskiy, A. V. and B. P. Miller	2008	Diagnosing Distributed Systems with Self-Propelled Instrumentation
Gonçalves, F., Bezerra, C., Belchior, A., Coelho, C., Pires, C.	2008	Implementing causal analysis and resolution in software development projects: The MiniDMAIC approach
Kalinowski, M., Travassos, G. H., Card, D. N.	2008	Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach
Kim, S., Aurisicchio, M., Wallace, K.	2008	Towards Automatic Causality Boundary Identification from Root Cause Analysis Reports
Gupta, A., Li. J., Conradi R., Ronneberg, H., Landre, E.	2009	A Case Study Comparing Defect Profiles of a Reused Framework and of Applications Reusing it
Shenvi, A. A.	2009	Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification
Bjornson, F. O., Wang, A. I., and Arisholm E.	2009	Improving the effectiveness of root cause analysis in post mortem analysis: A controlled experiment
Eckert, C. and Hughes, B.	2010	The Root of the Cause
Jayswal A., Li X., Zanwar A., Lou H.H., Huang Y.	2011	A sustainability root cause analysis methodology and its application
Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J.	2011	Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies
Alaeddini A., Dogan I.	2011	Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control
Honda N., Yamada S.	2012	"Defect root-cause analysis and 1+n procedure" technique to improve software quality
Liu H.-C., Lin Q.-L., Ren M.-L.	2013	Fault diagnosis and cause analysis using fuzzy evidential reasoning approach and dynamic adaptive fuzzy Petri nets
He B., Chen T., Yang X.	2014	Root cause analysis in multivariate statistical process monitoring: Integrating reconstruction-based multivariate contribution analysis with fuzzy-signed directed graphs
Lehtinen T.O.A., Virtanen R., Viljanen J.O., Mäntylä M.V., Lassenius C.	2014	A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams
Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J., Itkonen J., Lassenius C.	2014	Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships
Zawawy H., Mankovskii S., Kontogiannis K., Mylopoulos J.	2015	Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis

Autor	Ano	Título
Donauer M., Peças P., Azevedo A.	2015	Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery
Sikora A., Margalef T., Jorba J.	2015	Online root-cause performance analysis of parallel applications
Wee Y.Y., Cheah W.P., Tan S.C., Wee K.	2015	A method for root cause analysis with a Bayesian belief network and fuzzy cognitive map

A seção I.2.2 apresenta os resultados do processo de seleção e as informações obtidas de cada publicação.

I.2.1. Análise do resultado da pesquisa

Nesta seção as informações observadas a partir da leitura da lista final obtida na pesquisa serão analisadas de forma quantitativa e qualitativa, a fim de auxiliar a fundamentação dos requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas.

I.2.1.1. Análise Quantitativa

A análise quantitativa, consolidada nas Tabela 8 e Tabela 9, buscou mapear do conjunto de publicações retornadas na execução da pesquisa:

- Quais foram as técnicas para identificação da causa raiz mais utilizadas;
- Quais publicações recomendavam e/ou utilizavam algum processo para categorizar os problemas encontrados;
- Quais técnicas de priorização foram utilizadas para priorizar a análise e/ou o tratamento de um determinado problema;
- Quais das publicações recomendavam o tratamento dos problemas identificados;
- Se o contexto analisado nas publicações estava relacionado com o desenvolvimento de software;
- Se a publicação apresentava uma abordagem sistemática, definida pelo autor, para a análise de causa e resolução de problemas;
- Quais os passos deveriam ser seguidos desde a coleta dos incidentes até o tratamento dos problemas.

Todos esses itens foram coletados a fim de auxiliar às respostas para as questões de pesquisa elencadas. Além disso, vale destacar que durante a leitura de todas as publicações, observou-se que cada uma delas apresentava uma sequência de etapas, seja

de forma explícita ou implícita, que permeava o processo de análise de causa e/ou resolução de problemas. Ao final da leitura de todas essas publicações, chegou-se a um consenso sobre as etapas que podem compor um processo de análise de causa e resolução de problemas:

- **Coleta** – Etapa caracterizada pelo levantamento das informações relacionadas aos problemas observados;
- **Priorização dos problemas para análise** – Etapa caracterizada por um processo de priorização, em função de alguma diretriz da organização ou aplicação de alguma técnica, para análise dos problemas;
- **Análise de causa** – Etapa caracterizada pelo processo de análise e identificação da causa raiz do problema observado, em função das informações levantadas durante a etapa de Coleta. Normalmente durante essa fase aplica-se alguma técnica para identificar a causa raiz;
- **Priorização das causas para tratamento** – Etapa caracterizada por um processo de priorização, em função de alguma diretriz da organização ou aplicação de alguma técnica, para tratamento das causas identificadas;
- **Tratamento das causas identificadas** – Etapa caracterizada pela implementação de ações de melhoria para eliminar as causas identificadas;
- **Avaliação das ações de melhoria** – Etapa caracterizada pelo monitoramento das ações de melhoria implementadas durante a etapa de Tratamento, com o objetivo de verificar a eficácia da ação adotada;
- **Armazenamento dos dados obtidos** – Etapa caracterizada pelo registro de todas as informações obtidas ao longo do processo de análise de causa e resolução de problemas, a fim de prover conhecimento para processos de análise futuros.

Tabela 8 – Dados extraídos das publicações referente aos itens de I a VI

Publicação	Técnica para identificar causa raiz	Categorização dos problemas?	Técnica de Priorização?	Tratamento dos Problemas?	Contexto de Desenvolvimento de Software?	Abordagem sistemática?
ENDRES (1975)	Perguntas	Sim	Não	Não	Sim	Não
MAYS *et al.* (1990)	Perguntas	Sim	Retorno do Investimento	Sim	Sim	Sim
MAYS (1990)	Perguntas	Não	Não	Sim	Sim	Não
DEW (1991)	Análise de Barreiras / Análise de Mudança / Diagrama de Fatores de Evento e Causa	Sim	Não	Sim	Não	Não
COLLOFELLO e GOSALLA (1993)	Categoria de Causa / Gráfico de Pareto	Sim	Categorias (Crítica, Alta, Baixa)	Sim	Sim	Sim
GRADY (1996)	Brainstorming / Diagrama de Ishikawa	Sim	Objetivos de Negócio	Sim	Sim	Sim
DORSCH *et al.* (1997)	Brainstorming / Diagrama de Ishikawa	Não	Não	Sim	Não	Sim
LESZAK *et al.* (2000)	Categoria de Causa	Sim	Gráfico de Pareto / Categorias (Esforço, Eficácia, Custo)	Sim	Sim	Sim
LESZAK *et al.* (2002)	Categoria de Causa	Sim	Gráfico de Pareto / Categorias (Esforço, Eficácia, Custo)	Sim	Sim	Sim
JOHNSON *et al.* (2003)	Análise de Barreiras / Análise de Mudança / Árvore de Falha / Baseada em Acidentes / Baseada em Argumentos / Baseada em Fluxos / Linha do Tempo	Não	Não	Não	Não	Não

Publicação	Técnica para identificar causa raiz	Categorização dos problemas?	Técnica de Priorização?	Tratamento dos Problemas?	Contexto de Desenvolvimento de Software?	Abordagem sistemática?
ROONEY e HEUVEL (2004)	Diagrama de Fatores de Causa / Mapa da Causa Raiz	Sim	Não	Sim	Não	Não
CARD (2005)	Diagrama de Ishikawa	Sim	Gráfico de Pareto / Gráfico de Tabelas	Sim	Sim	Sim
LATINO (2005)	Árvore Lógica	Sim	Não	Sim	Não	Sim
POLLACK e UTTAMCHANDANI (2006)	Categoria de Causa	Não	Não	Não	Não	Sim
JIN *et al.* (2007)	Perguntas / Relação de causa-efeito	Sim	Categorias (Gravidade, Ocorrência, Detecção)	Sim	Não	Sim
GONÇALVES *et al.* (2008)	Brainstorming / Diagrama de Ishikawa / Perguntas	Sim	Categorias	Sim	Sim	Sim
KALINOWSKI *et al*. (2008)	Diagrama de Ishikawa	Sim	Gráfico de Pareto; Rede Bayesiana	Sim	Sim	Sim
KIM *et al.* (2008)	Processamento de Linguagem Natural	Não	Não	Não	Não	Não
MIRGORODSKIY e MILLER (2008)	Categorias de Causa	Sim	Não	Não	Não	Sim
BJORNSON *et al*. (2009)	Diagrama de Ishikawa / Mapa Causal	Não	Não	Não	Sim	Sim
GUPTA *et al*. (2009)	Categorias de Causa / Diagrama de Ishikawa	Sim	Categorias (Urgência)	Não	Sim	Sim
SHENVI (2009)	Brainstorming / Diagrama de Ishikawa	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
ECKERT e HUGHES (2010)	Árvore Lógica / Perguntas	Não	Não	Sim	Não	Não

Publicação	Técnica para identificar causa raiz	Categorização dos problemas?	Técnica de Priorização?	Tratamento dos Problemas?	Contexto de Desenvolvimento de Software?	Abordagem sistemática?
JAYSWAL *et al.* (2011)	Diagrama de Ishikawa	Sim	Gráfico de Pareto	Não	Não	Sim
LEHTINEN *et al.* (2011)	Grafo de Causa e Efeito	Não	Categorias (Impacto, Viabilidade)	Sim	Sim	Sim
ALAEDDINI e DOGAN (2011)	Rede Bayesiana	Sim	Categoria (Probabilidade)	Não	Sim	Sim
HONDA e YAMADA (2012)	Categorias de Causa	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
LIU *et al.* (2013)	Lógica Fuzzy / Redes Petri	Não	Não	Sim	Não	Sim
LEHTINEN *et al.* (2014a)	Grafo de Causa e Efeito	Sim	Categorias (Impacto, Viabilidade)	Sim	Sim	Sim
LEHTINEN *et al.* (2014b)	Grafo de Causa e Efeito	Sim	Categorias (Impacto, Viabilidade)	Sim	Sim	Sim
HE *et al.* (2014)	Lógica Fuzzy	Não	Categorias	Não	Não	Sim
WEE *et al.* (2015)	Rede Bayesiana	Sim	Não	Não	Não	Sim
ZAWAWY *et al.* (2015)	Redes Lógicas de Markov	Não	Redes Lógicas de Markov	Não	Sim	Sim
DONAUER *et al.* (2015)	Diagrama de Ishikawa	Não	Não	Não	Não	Sim
SIKORA *et al.* (2015)	Árvore Lógica	Sim	Categoria (Severidade)	Sim	Sim	Sim

Tabela 9 – Etapas consideradas desde a coleta até o tratamento dos problemas

Publicação	**Coleta**	**Priorização (Análise)**	**Análise**	**Priorização (Tratamento)**	**Tratamento**	**Avaliação**	**Armazenar Dados**
ENDRES (1975)	S	N	S	N	N	N	N
MAYS *et al.* (1990)	S	N	S	S	S	S	S
MAYS (1990)	S	N	S	N	S	N	S
DEW (1991)	S	N	S	N	S	N	N
COLLOFELLO e GOSALLA (1993)	S	S	S	N	S	N	S
GRADY (1996)	S	S	S	N	S	S	N
DORSCH *et al.* (1997)	S	N	S	N	S	S	N
LESZAK *et al.* (2000)	S	S	S	S	S	S	N
LESZAK *et al.* (2002)	S	S	S	S	S	S	S
JOHNSON *et al.* (2003)	N	N	S	N	N	N	N
ROONEY e HEUVEL (2004)	S	N	S	N	S	N	N
CARD (2005)	S	S	S	S	S	S	S
LATINO (2005)	S	N	S	N	S	S	S
POLLACK e UTTAMCHANDANI (2006)	S	N	S	N	N	N	S
JIN *et al.* (2007)	S	N	S	S	S	N	N
GONÇALVES *et al.* (2008)	S	N	S	S	S	S	S
KALINOWSKI *et al.* (2008)	S	S	S	N	S	N	S
KIM *et al.* (2008)	S	N	S	N	N	N	S
MIRGORODSKIY e MILLER (2008)	S	N	S	N	N	N	N
BJORNSON *et al.* (2009)	S	N	S	N	N	N	S
GUPTA *et al.* (2009)	S	N	S	S	N	N	N
SHENVI (2009)	S	N	S	N	S	S	S
ECKERT e HUGHES (2010)	S	N	S	N	S	N	N
JAYSWAL *et al.* (2011)	S	S	S	N	N	N	N
LEHTINEN *et al.* (2011)	S	N	S	S	S	N	S
ALAEDDINI e DOGAN (2011)	S	N	S	S	N	N	S

Publicação	**Coleta**	**Priorização (Análise)**	**Análise**	**Priorização (Tratamento)**	**Tratamento**	**Avaliação**	**Armazenar Dados**
HONDA e YAMADA (2012)	S	N	S	N	S	S	S
LIU *et al.* (2013)	S	N	S	N	S	N	N
LEHTINEN *et al.* (2014a)	S	N	S	S	S	N	S
LEHTINEN *et al.* (2014b)	S	S	S	S	S	N	S
HE *et al.* (2014)	S	S	S	N	N	N	N
WEE *et al.* (2015)	S	N	S	N	N	N	N
ZAWAWY *et al.* (2015)	S	N	S	S	N	N	S
DONAUER *et al.* (2015)	S	N	S	N	N	N	S
SIKORA *et al.* (2015)	S	S	S	S	S	S	N

Legenda: S = Sim / N = Não

No tocante à questão principal de pesquisa (Quais são as etapas que devem ser consideradas durante o processo de análise de causa raiz e resolução de problemas?), buscou-se mapear um conjunto de etapas que foram identificadas nas publicações como um todo e em quais publicações essas etapas estavam presentes. De tal forma, por meio da Figura 8 observa-se que praticamente quase todas as publicações consideraram a etapa de "coleta" dos dados para a análise (97%) e a própria "análise e identificação" de causa raiz (100%) como as principais fases do processo. Em seguida, observa-se que em mais da metade das publicações (63%) o "tratamento" da causa raiz é endereçado ou ao menos mencionado como um fator importante a ser considerado no processo. A etapa de "armazenar dados" da análise e/ou tratamento é considerado, ou ao menos mencionado como importante, em pouco mais da metade das publicações (54%). Em seguida, observa-se a "priorização" dos problemas e/ou causas raiz para tratamento, sendo mencionada em 37% das publicações. Já a "priorização" dos problemas para análise, e o monitoramento e a "avaliação" das ações de tratamento das causas raiz, foram mencionados respectivamente em 29% e 31% das publicações analisadas.

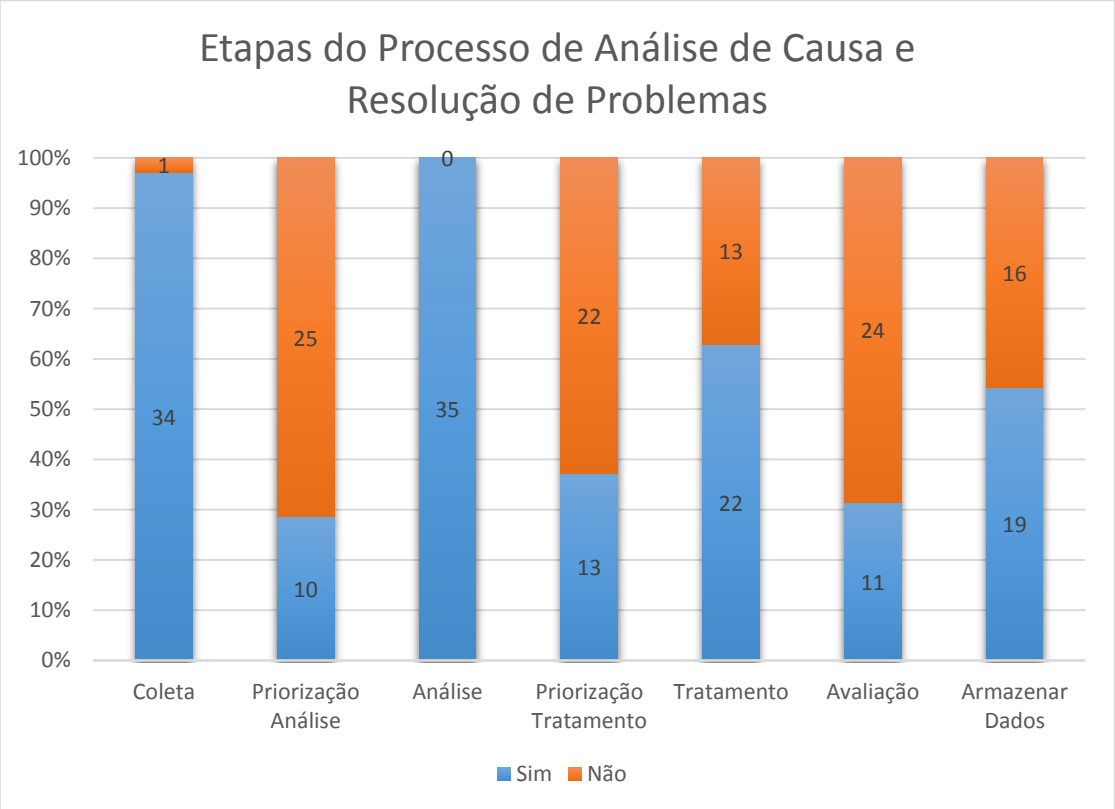


Figura 8 – Quantidade e percentual de publicações que consideraram as etapas desde a coleta até o tratamento dos problemas

Em resumo, o foco das publicações se concentrou nas fases de coleta, análise e tratamento dos problemas. Não obstante essas fases, vale destacar que diversas

publicações ressaltam também a importância das demais fases para o processo de análise de causa e resolução de problemas, o que é observado pelo percentual de publicações que consideraram as outras etapas apresentadas.

No que se refere à primeira questão secundária de pesquisa (Quais são os processos, técnicas, ferramentas e lições aprendidas que apoiam a identificação da causa raiz de problemas?), observa-se a partir da análise da Figura 9 que o Diagrama de Ishikawa – conhecido também por Diagrama de Espinha de Peixe ou Diagrama de Causa e Efeito – é a técnica mais difundida dentre as publicações analisadas, sendo utilizada em 29% das publicações. Em seguida, observam-se as técnicas e ferramentas baseadas em interpretações de categorias de causa, juntamente com diversas técnicas que estruturam as relações de causa e efeito, as quais foram utilizadas cada uma em 20% das publicações. Já as técnicas baseadas em perguntas, como, por exemplo, o 5 Whys (5 Porquês) (GONÇALVES *et al.*, 2008), foram utilizadas em 17% das publicações.

Dentre as outras abordagens mais específicas que apoiam a identificação da causa raiz, duas publicações merecem destaque. A primeira expõe o trabalho de KIM *et al.* (2008), o qual apresenta uma abordagem que explora as relações de causalidade em relatórios de análise de causa raiz utilizando técnicas de processamento de linguagem natural (NLP) e probabilidade. Entretanto, essa técnica foi analisada apenas em um contexto específico de engenharia, não sendo avaliada no contexto de desenvolvimento de software. A segunda relata o trabalho de ZAWAWY *et al.* (2015), onde foi apresentado um *framework* que utiliza um mecanismo de raciocínio probabilístico baseado no conceito de Redes Lógicas de Markov, o qual permite que a inferência comece mesmo na presença de dados de registro incompletos ou parciais e classifique as causas raiz obtidas por seus valores de probabilidade ou verossimilhança.

Em suma, a identificação da causa raiz é permeada por processos, técnicas e ferramentas que basicamente exploram a relação de causa e efeito, seja por meio de Diagrama de Ishikawa ou por outra ferramenta. Além disso, observa-se também que esse processo de identificação da causa raiz tende a ser acompanhado por técnicas voltadas ao questionamento e a colaboração dos envolvidos no processo, visando levantar as relações de causa e efeito dos problemas analisados, conforme detalhado na etapa de análise qualitativa.

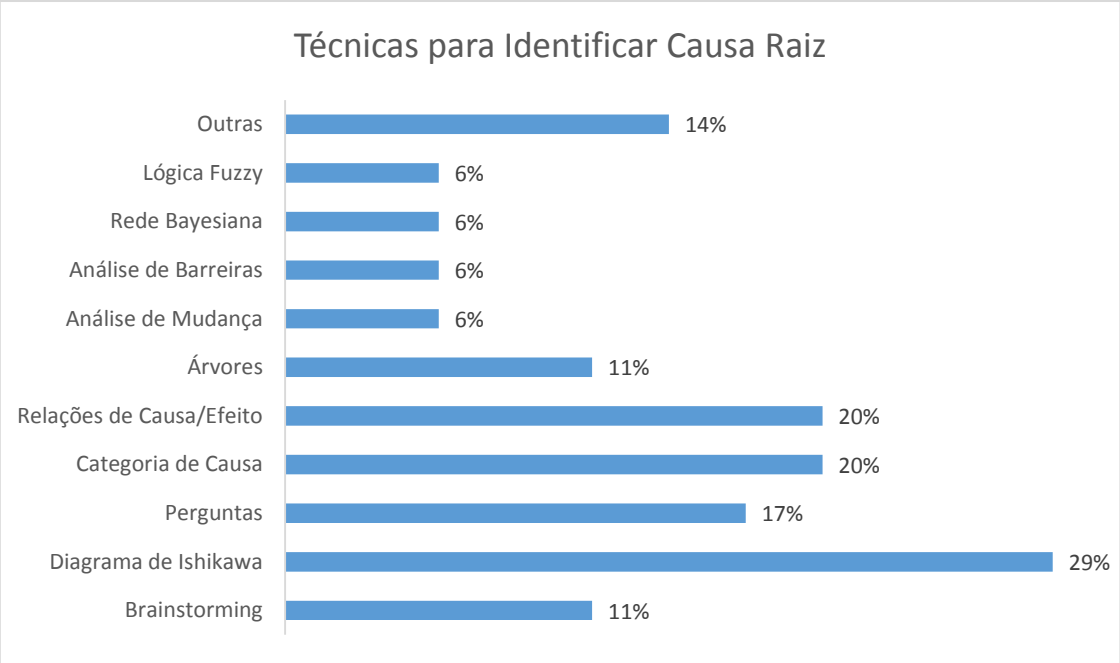


Figura 9 – Percentual de processos, técnicas e ferramentas utilizadas nas publicações para identificar a causa raiz

Quanto à segunda questão secundária de pesquisa (Quais são os processos, técnicas e ferramentas aplicadas em cada etapa desse processo?), vale ressaltar que, de forma quantitativa, à exceção da etapa de identificação da causa raiz tratada na primeira questão secundária de pesquisa, apenas na etapa de priorização para análise/tratamento foi possível identificar um conjunto de técnicas semelhantes sendo aplicadas em mais de uma publicação, conforme Tabela 8. Na maioria dessas publicações, a técnica de priorização utilizada ou era baseada em gráfico de Pareto, ou era ponderada por meio de um conjunto de categorias, conforme disposto na Figura 10: relacionadas à urgência (nível de criticidade associado); relacionadas ao custo x benefício (viabilidade) do tratamento do problema; ou categorias específicas determinadas em função do contexto da análise. Vale ressaltar que apenas em uma publicação foi mencionada a priorização baseada em objetivos de negócio.

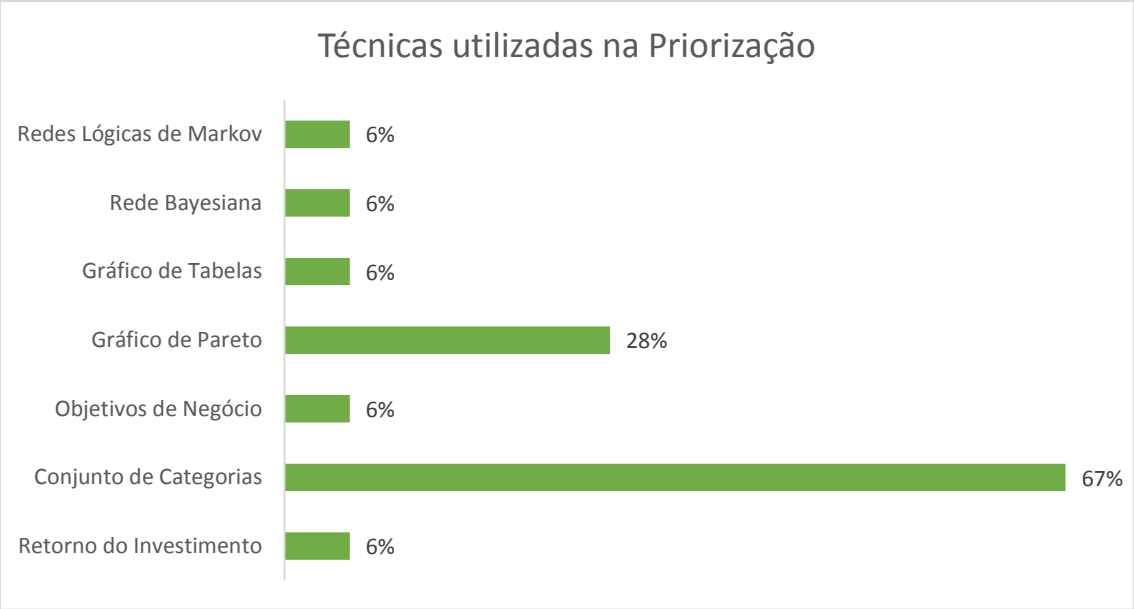


Figura 10 – Técnicas mais utilizadas nas etapas de priorização

No que se refere à terceira questão secundária de pesquisa (Quais são as lições aprendidas, obtidas a partir de relatos de experiência, que devem ser consideradas na execução de cada etapa?), diversos autores relataram as suas impressões sobre cada etapa do processo de análise de causa e resolução de problemas. Tendo em vista o caráter etéreo dessas lições, não foi possível quantificá-las no escopo desta análise. Assim sendo, as lições obtidas a partir das publicações foram distribuídas no decurso das questões de pesquisa na análise qualitativa.

Por fim, na quarta questão secundária de pesquisa (Quais são as etapas que devem ser consideradas para o tratamento das causas raiz?), o objetivo era identificar de que forma o tratamento das causas raiz foi conduzido nas publicações analisadas. Observa-se a partir da Figura 11 que, de todas as publicações que realizaram ou recomendaram o tratamento da causa raiz, metade considerou a importância de avaliar as medidas de tratamento. Na etapa de análise qualitativa serão analisadas as recomendações para a fase de tratamento das causas raiz.

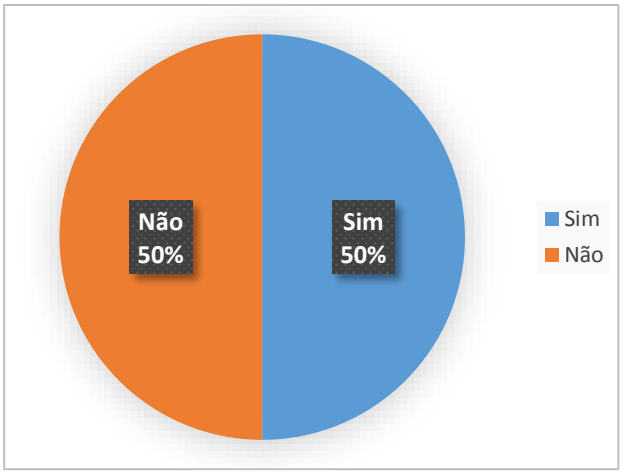


Figura 11 – Comparativo do percentual das publicações que avaliaram as medidas de tratamento

I.2.1.2. Análise Qualitativa

A análise qualitativa visa fundamentar as etapas que são recomendadas para o processo de análise de causa e resolução de problemas no âmbito do desenvolvimento de software. De tal forma, a fim de obter essas etapas, as questões de pesquisa definidas serão analisadas e respondidas conforme as evidências encontradas nos resultados da pesquisa.

Quanto ao propósito da questão principal de pesquisa (Quais são as etapas que devem ser consideradas durante o processo de análise de causa raiz e resolução de problemas?), observou-se que todos os processos de análise de causa raiz eram pautados por um conjunto de etapas, algumas vezes de forma sistemática, por meio de um conjunto de passos consolidados em um método específico e outras vezes com tarefas simples de coleta e análise juntamente com algumas outras recomendações. As etapas que foram consideradas chaves para o processo de análise de causa e resolução de problemas, por estarem presente praticamente em todos os modelos que consideravam a análise e tratamento dos problemas, são as fases de Coleta, Análise e Tratamento.

Não obstante as etapas chaves para esse processo, vale mencionar a importância do armazenamento das informações do processo de análise de causa em uma base de dados. Apesar de não ser previsto em todas as publicações analisadas, o armazenamento das informações em uma base de dados é considerado elemento-chave para MAYS *et al.* (1990), juntamente com: análise de causa sistemática; gestão de equipes de ação; reunião de abertura de fase; base de dados e ferramentas para coleta de dados e rastreio das ações. A partir do momento em que essas informações passam a ser armazenadas, o

conhecimento obtido durante a análise de um problema pode ser compartilhado com toda a organização o que colabora para diminuir a recorrência do problema. Nesse sentido, GRADY (1996) reforça que o resultado da análise deve ser incorporado em treinamentos e processos de mudança, a fim de que o processo de aprendizagem dos indivíduos seja transferido para as organizações com o objetivo de evitar a recorrência dos erros.

No que se refere à priorização dos problemas para análise e/ou tratamento, vale mencionar que, conforme CARD (2005), são poucas as organizações que podem permitir a implementação de todas as propostas de melhoria de uma só vez. Logo, no tocante à fase de priorização, é importante avaliar a situação de cada organização e se é aplicável ou não proceder com essa fase para análise e/ou para tratamento.

Quanto ao objetivo da primeira questão secundária de pesquisa (Quais são os processos, técnicas, ferramentas e lições aprendidas que apoiam a identificação da causa raiz de problemas?), observa-se de forma geral que o foco da identificação é pautado pela análise das relações de causa e efeito das evidências coletadas sobre o problema. Nesse sentido, JIN *et al.* (2007) destacam que o nexo de causalidade e a sua importância na resolução de problemas é o que leva à análise dos dados de acordo com os relacionamentos de causa e efeito, tal análise envolve identificar problemas, provas, causas, consequências e soluções que fornecem ações corretivas e preventivas.

Várias técnicas são utilizadas para o esboço dessa relação de causa e efeito, dentre elas, destaca-se o Diagrama de Ishikawa, presente em grande parte das publicações. Entretanto alguns autores analisam de forma crítica o uso dessa técnica, BJORNSON (2009) ressalta que no Diagrama de Ishikawa fatores menos relevantes são expostos pelo simples objetivo de completar a estrutura da espinha de peixe. Além disso, dificilmente são analisadas as subcausas das causas, pois as causas não são analisadas em uma profundidade maior que três níveis e a maioria delas são causas genéricas. BJORNSON (2009) observou em seu experimento que os estudantes que utilizavam o Diagrama de Ishikawa atribuíam subcausas a todas as causas principais, independente da sua relevância. Já os estudantes que utilizavam a abordagem de Mapa Causal tipicamente selecionavam as causas mais relevantes e criavam uma cadeia de causa e efeito, ignorando as causas irrelevantes. Logo, na visão desse autor, as cadeias mais longas geradas pela abordagem de Mapa Causal tendem a desenhar um cenário com mais detalhes da situação do projeto, primeiramente destacando as causas gerais e, em um segundo momento, destacando as causas mais específicas no final da cadeia.

Não obstante as técnicas identificadas, observa-se que a categorização dos

problemas durante o processo de análise é uma prática adotada em diversos estudos. ENDRES (1975) ressalta que conhecer os tipos de erros que ocorrem nos sistemas é útil para todos aqueles que desejem melhorar a confiabilidade do software. Todavia, MAYS *et al.* (1990) lembram que embora os esquemas de classificação de erros sejam úteis para identificar as áreas e atividades propensas a erros, eles não determinam a causa raiz. Além disso, esses esquemas podem esconder os detalhes dos erros e suas causas. A fim de evitar esse problema, ROONEY e HEUVEL (2004) mencionam a importância de evitar classificações generalizadas. Por fim, MAYS *et al.* (1990) mencionam a importância de uma análise profunda de cada erro durante a análise de causa a fim de obter uma melhor compreensão do motivo da ocorrência do erro e como prevenir sua recorrência, citam também que essa análise profunda pode ser auxiliada por Diagramas de Ishikawa ou Gráficos de Pareto.

Vale ressaltar que, para a identificação da causa raiz, mais importante do que a ferramenta em si, é a participação dos envolvidos na análise, principalmente daqueles que possivelmente tenham relação com a inserção do defeito. No âmbito do desenvolvimento de software, conforme destacado por MAYS *et al.* (1990), a análise de causa realizada diretamente pelo desenvolvedor resulta em uma maior acurácia na determinação da causa do defeito e uma maior relevância nas ações de prevenção. A fim de viabilizar a participação de todos os envolvidos, observa-se o forte uso da técnica de *Brainstorming*, geralmente apoiada por uma série de perguntas (“o quê?”, “como?”, “por quê?”, “quem?”, “quando?”), nas reuniões de coleta e análise dos problemas. BJORNSON (2009) observou em seu estudo que o uso do *Brainstorming* como uma técnica nominal com o uso de *post-its*, onde cada participante tem o seu tempo para citar suas colaborações, viabilizou a participação de todos os envolvidos de forma mais efetiva, em comparação com uma técnica interativa em que cada um se predispunha a falar.

LEHTINEN *et al.* (2011) agrupam as abordagens que incitam a colaboração dos participantes envolvidos na análise de causa em dois grupos: as públicas e as anônimas. As anônimas encorajam os participantes a endereçarem as causas que eles acreditam que são perigosas de serem ditas, enquanto as públicas ajudam a endereçar as causas que muitos participantes consideram de alto valor. Em suma, ambos os tipos de abordagem contribuem e têm a sua importância para identificação da causa raiz.

Quanto à segunda questão secundária de pesquisa (Quais são os processos, técnicas e ferramentas aplicadas em cada etapa desse processo?), além das técnicas utilizadas diretamente no processo de identificação da causa raiz, as quais foram

discutidas na primeira questão secundária de pesquisa, vale ressaltar as técnicas identificadas nos processos de priorização dos problemas para análise/tratamento. Após análise dos dados da pesquisa, observa-se que a priorização pode ser realizada: com base nos objetivos de negócio da organização (GRADY, 1996); considerando uma probabilidade bayesiana (KALINOWSKI, 2008) ou gerada por uma rede lógica de Markov (ZAWAWY *et al.*, 2015); por meio de um gráfico de Pareto (KALINOWSKI, 2008; CARD, 2005; LESZAK *et al.*, 2000; LESZAK *et al.*, 2002; JAYSWAL *et al.*, 2011); ponderando a criticidade, impacto e até urgência de cada elemento, ou em função de outras categorias definidas em função do contexto do problema (COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; JIN *et al.*, 2007; GONÇALVES *et al.*, 2008; GUPTA *et al.*, 2009; LEHTINEN *et al.*, 2011; ALAEDDINI e DOGAN, 2011; LEHTINEN *et al.*, 2014a; LEHTINEN *et al.*, 2014b; HE *et al.*, 2014; SIKORA *et al.*, 2015); ou até considerando o retorno do investimento da melhoria (valor da prevenção do tipo de defeito versus o custo da prevenção) (MAYS *et al.*, 1990).

Não obstante, vale mencionar a importância do processo de categorização adotado na etapa de análise da causa raiz. Foi observado através dos resultados da pesquisa que esse processo de categorização pode ocorrer tanto para o problema, como também para a respectiva causa do problema. COLLOFELLO e GOSALLA (1993) esclarecem a distinção entre esses dois processos de categorização. A categorização do problema auxilia na identificação da sua respectiva causa e também na avaliação de custo-benefício entre eliminação versus prevenção do problema. Enquanto isso, a categorização da causa provê um meio para avaliar o custo-benefício da implementação das recomendações para eliminar ou reduzir a causa dos problemas.

Quanto à terceira questão secundária de pesquisa (Quais são as lições aprendidas, obtidas a partir de relatos de experiência, que devem ser consideradas na execução de cada etapa?), conforme mencionado anteriormente na análise quantitativa, as lições aprendidas obtidas das publicações foram utilizadas como argumentos nas discussões das demais questões de pesquisa desta análise qualitativa. Entretanto, uma menção referente aos métodos de análise de causa raiz merece destaque nesta questão de pesquisa. DORSCH *et al.* (1997) informam que muitos componentes e ideias que descrevem a abordagem da causa raiz são comuns a todos os métodos de análise de causa raiz. Todavia, há muitas diferenças no desenvolvimento e aplicação das técnicas individualmente. Enquanto algumas técnicas de análise de causa raiz são relativamente simples para entender e usar, outras são altamente detalhadas e complexas. Isso foi observado ao longo

da análise de cada publicação, onde foi possível identificar abordagens sistemáticas e outras que eram apenas um conjunto de recomendações, sem um direcionamento do que devia ser feito e quando devia.

Ainda segundo DORSCH *et al.* (1997), algumas técnicas são adequadas ao contexto de melhoria contínua: Análise de Mudança (DEW, 1991; JOHNSON *et al.*, 2003), Análise de Barreira (DEW, 1991; JOHNSON *et al.*, 2003), Diagramas de Causa e Efeito (Diagrama de Ishikawa) (GRADY, 1996; DORSCH *et al.*, 1997; CARD, 2005; GONÇALVES *et al.*, 2008; KALINOWSKI *et al.*, 2008; BJORNSON *et al.*, 2009; GUPTA *et al.*, 2009; SHENVI, 2009; JAYSWAL *et al.*,2011; DONAUER *et al.*, 2015). Essas técnicas são relativamente simples e promovem uma aplicação rápida de ferramenta investigativa para problemas tipicamente encontrados em ambientes de gerenciamento de qualidade. Outras técnicas mais avançadas incluem: Análise de Fatores de Evento e Causa (DEW, 1991; ROONEY e HEUVEL, 2004), Diagrama de Árvore (JOHNSON *et al.*, 2003; LATINO, 2005; ECKERT e HUGHES, 2010; SIKORA *et al.*, 2015) e Análise de Árvore de Gerenciamento de Descuido e Risco (JOHNSON *et al.*, 2003).

Quanto à quarta questão secundária de pesquisa (Quais são as etapas que devem ser consideradas para o tratamento das causas raiz?), observa-se que o tratamento das causas raiz passa, em algumas situações, por um processo de priorização e, em seguida, por um processo de avaliação e monitoramento. Vale ressaltar que em diversas publicações essas etapas são realizadas por uma equipe especialmente designada para essa tarefa, a Equipe de Ação. Segundo MAYS *et al.* (1990), uma equipe de ação é um elemento crítico para o processo de análise de causa e resolução de problemas, pois assegura que as ações preventivas serão implementadas. Além disso, essa equipe deve ser utilizada como um recurso dedicado, protegido contra corte de recursos e pressões de cronograma. Deve também ser composta por pessoas motivadas e dedicadas à melhoria dos processos.

De forma geral, a equipe de ação é responsável por (MAYS *et al.*, 1990; COLLOFELLO e GOSALLA, 1993; CARD, 2005): avaliar e priorizar as recomendações; planejamento e agendamento da implementação das recomendações; rever regularmente as ações propostas; discutir o status das ações abertas; revisar ações encerradas para assegurar que o trabalho foi efetivamente completo; reportar o status das atividades para o gerente; resolver conflitos e combinar propostas relacionadas; monitoramento do progresso da implementação e da eficácia das ações; comunicação das ações e status da equipe de análise de causas.

I.2.1.3. Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas

A análise dos dados obtidos por meio do mapeamento sistemático possibilitou o entendimento das etapas mais importantes para a construção de um método que vise atender o processo de análise de causa e resolução de problemas, bem como permitiu uma maior compreensão das práticas mais utilizadas durante a execução de cada etapa deste processo.

Entende-se como etapas mais importantes aquelas que foram mais utilizadas e/ou mencionadas através de cada publicação. Neste sentido, vale destacar o conjunto de requisitos associados às etapas definidas como obrigatórias: (I) Coletar os indícios relacionados ao problema; (II) Analisar e Identificar as causas raiz; (III) Tratar as causas raiz identificadas. Desta forma, pode-se dizer que um método que vise atender ao referido processo deverá contemplar, primordialmente, este conjunto de requisitos.

Haja vista a importância das demais etapas evidenciadas ao longo das análises, recomenda-se de forma opcional a adoção dos seguintes requisitos, os quais podem ser adotados dependendo do contexto do problema a ser analisado: (I) Priorizar os problemas e/ou soluções; (II) Armazenar as informações obtidas no processo de análise e tratamento. As etapas associadas a estes requisitos são definidas como recomendadas.

No tocante às práticas mais importantes para a execução deste processo, levando-se em consideração os dados obtidos na etapa de análise qualitativa, obtém-se dois grupos de prática: das práticas obrigatórias, o qual contempla as práticas básicas que são fundamentais nas etapas obrigatórias; das práticas recomendadas, o qual contempla as práticas que foram relatadas como importantes em determinadas publicações. As práticas definidas como obrigatórias foram mapeadas aos seguintes requisitos: (I) Promover a participação de todos os envolvidos com o problema durante as fases de coleta e análise de causa; (II) Explorar as relações de causa e efeito dos indícios coletados; (III) Designar uma equipe responsável pelo tratamento das causas raiz. As demais práticas definidas como recomendadas foram mapeadas aos requisitos: (I) Prever a priorização dos problemas/soluções; (II) Compartilhar o conhecimento adquirido durante o processo de análise e resolução de problemas.

A consolidação dos requisitos para elaboração de um método de análise de causa e resolução de problemas pode ser vista por meio da Tabela 10, a qual associa cada requisito como uma etapa ou prática, obrigatória ou recomendada.

Tabela 10 – Requisitos para Elaboração de um Método de Análise de Causa e Resolução de Problemas

Nível de Recomendação		Requisitos
Etapas	**Obrigatórias**	I Coletar os indícios relacionados ao problema II Analisar e Identificar as causas raiz III Tratar as causas raiz identificadas
	Recomendadas	I Priorização os problemas e/ou soluções II Armazenar as informações do processo
Práticas	**Obrigatórias**	I Promover a participação dos envolvidos com o problema na coleta e análise II Explorar as relações de causa e efeito dos indícios III Designar uma equipe de ação para o tratamento das causas
	Recomendadas	I Prever a priorização dos problemas/soluções II Compartilhar o conhecimento adquirido no processo

I.2.2. Resultados da pesquisa

Nesta seção são exibidos os resultados obtidos com a execução do protocolo de pesquisa e as informações extraídas das publicações. A lista dos resultados considera tanto as publicações incorporadas do estudo de SCHOTS (2010), como também as demais publicações obtidas por meio do protocolo de pesquisa deste trabalho. A extração das informações de cada publicação seguiu o procedimento definido na seção I.1.8.

I.2.2.1. Listagem das publicações retornadas

Na Tabela 11 estão listadas todas as 14 publicações obtidas com a execução do protocolo de pesquisa definido na seção I.1.6 e as 23 publicações incorporadas do mapeamento realizado por SCHOTS (2010).

Tabela 11 – Listagem dos resultados da pesquisa

Autor	Ano	Título	2ª Etapa		3ª Etapa
			CI	AC	
Endres, A.	1975	An Analysis of Errors and their Causes in System Programs	Incorporada		
Mays, R.G., Jones, C.L., Holloway, G.J., Studinski, D.P.	1990	Experiences with Defect Prevention	Incorporada		
Mays, R. G.	1990	Applications of Defect Prevention in Software Development	Incorporada		
Dew, J. R.	1991	In search of the root cause	Incorporada		
Collofello, J., Gosalla, B.	1993	Application of Causal Analysis to the Software Modification Process	Incorporada		
Grady, R. B.	1996	Software Failure Analysis for High-Return Process Improvement Decisions	Incorporada		
Dorsch, J. J., Yasin M. M., Czuchry A.	1997	Application of root cause analysis in a service delivery operational environment: A framework for implementation	Incorporada		
Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.	2000	A Case Study in Root Cause Defect Analysis	Incorporada		

Autor	Ano	Título	2ª Etapa		3ª Etapa
			CI	AC	
Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.	2002	Classification and Evaluation of Defects in a Project Retrospective	Incorporada		
Johnson, C.	2003	The Application of Causal Analysis Techniques for Computer-Related Mishaps	Incorporada		
Rooney, J. J. and Heuvel, L. N. V.	2004	Root Cause Analysis for Beginners	Incorporada		
Latino, R. J.	2005	The Application of PROACT® RCA to Terrorism/Counter Terrorism Related Events	Incorporada		
Card, D. N.	2005	Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning	Incorporada		
Pollack, K. T. and S. M. Uttamchandani	2006	GENESIS: A Scalable Self-Evolving Performance Management Framework for Storage Systems	Incorporada		
Jin, Z. X., Hajdukiewicz, J., Ho, G., Chan, D., Kow, Y.	2007	Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation	Incorporada		
Mirgorodskiy, A. V. and B. P. Miller	2008	Diagnosing Distributed Systems with Self-Propelled Instrumentation	Incorporada		
Gonçalves, F., Bezerra, C., Belchior, A., Coelho, C., Pires, C.	2008	Implementing causal analysis and resolution in software development projects: The MiniDMAIC approach	Incorporada		
Kalinowski, M., Travassos, G. H., Card, D. N.	2008	Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach	Incorporada		
Kim, S., Aurisicchio, M., Wallace, K.	2008	Towards Automatic Causality Boundary Identification from Root Cause Analysis Reports	Incorporada		
Gupta, A., Li. J., Conradi R., Ronneberg, H., Landre, E.	2009	A Case Study Comparing Defect Profiles of a Reused Framework and of Applications Reusing it	Incorporada		
Shenvi, A. A.	2009	Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification	Incorporada		
Bjornson, F. O., Wang, A. I., and Arisholm E.	2009	Improving the effectiveness of root cause analysis in post mortem analysis: A controlled experiment	Incorporada		
Eckert, C. and Hughes, B.	2010	The Root of the Cause	Incorporada		
Rodríguez C., Silveira P., Daniel F., Casati F.	2010	Analyzing compliance of service-based business processes for root-cause analysis and prediction	CI1	N	
Khalil R., Kang P., Stockton D.	2010	Integration of Discrete Event Simulation with an automated problem identification	CI2	N	
Cheng K.-L., Chang C.-P., Chu C.-P.	2010	Causal analysis using program patterns	CI2	N	
De S., Das A., Sureka A.	2010	Product failure root cause analysis during warranty analysis for integrated product design and quality improvement for early results in downturn economy	CI1	N	
Fix G.	2010	An expert system for test failure root cause discovery	CI1	N	
Silveira F., Diot C.	2010	URCA: Pulling out anomalies by their root causes	CI1	N	
Murugaiah U.,	2010	Scrap loss reduction using the 5-whys	CI1	N	

Autor	Ano	Título	2ª Etapa		3ª Etapa
			CI	AC	
Benjamin S.J., Marathamuthu M.S., Muthaiyah S.		analysis			
Hall M.	2010	A solution for IT	CI1	N	
Chang X., Terpenny J., Koelling P.	2010	Reducing errors in the development, maintenance and utilisation of ontologies	CI1	N	
Jayswal A., Li X., Zanwar A., Lou H.H., Huang Y.	2011	A sustainability root cause analysis methodology and its application	CI1	S	OK
Miyazawa M., Nishimura K.	2011	Scalable root cause analysis assisted by classified alarm information model based algorithm	CI1	N	
Russo D., Birolini V.	2011	A computer aided approach for reformulating "ill-defined" problems	CI1	N	
Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J.	2011	Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies	CI1	S	OK
Peng P., Liao Z., Wen F., Xin J.	2011	A root cause analysis based fault diagnosis approach for digital substations	CI1	N	
Alaeddini A., Dogan I.	2011	Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control	CI1, CI2	S	OK
Kechadi M.-T., Bellec J.H., Tari A.	2011	Behavioural Proximity Discovery: An adaptive approach for root cause analysis	CI1	N	
Magalhães J.P., Silva L.M.	2011	Root-cause analysis of performance anomalies in web-based applications	CI1	N	
Maejima H., Kohtake N., Ohkami Y.	2012	A root cause analysis method using dual vee model for cause identification reliability improvement	CI2	N	
Zawawy H., Kontogiannis K., Mylopoulos J., Mankovskii S.	2012	Requirements-driven root cause analysis using markov logic networks	CI1	N	
Zheng Z., Yu L., Lan Z., Jones T.	2012	3-Dimensional root cause diagnosis via co-analysis	CI1	N	
Honda N., Yamada S.	2012	"Defect root-cause analysis and 1+n procedure" technique to improve software quality	CI1	S	OK
Szilágyi P., Nováczki S.	2012	An automatic detection and diagnosis framework for mobile communication systems	CI2	N	
Yan H., Breslau L., Ge Z., Massey D., Pei D., Yates J.	2012	G-RCA: A Generic Root Cause Analysis Platform for Service Quality Management in Large IP Networks	CI1	N	
Peng P., Liao Z., Wen F., Huang J.	2013	A root-cause-analysis based method for fault diagnosis of power system digital substations	CI1	N	
Romano E., Murino T., Asta F., Costagliola P.	2013	Lean Maintenance model to reduce scraps and WIP in manufacturing system: Case study in power cables factory	CI1	S	
Liu H.-C., Lin Q.-L., Ren M.-L.	2013	Fault diagnosis and cause analysis using fuzzy evidential reasoning approach and dynamic adaptive fuzzy Petri nets	CI2	S	OK
Heger C., Happe J., Farahbod R.	2013	Automated root cause isolation of performance regressions during software development	CI2	N	
Immel J.	2013	Root cause analysis for young engineers	CI1	S	

Autor	Ano	Título	2ª Etapa		3ª Etapa
			CI	AC	
He B., Chen T., Yang X.	2014	Root cause analysis in multivariate statistical process monitoring: Integrating reconstruction-based multivariate contribution analysis with fuzzy-signed directed graphs	CI1	S	OK
Lehtinen T.O.A., Virtanen R., Viljanen J.O., Mäntylä M.V., Lassenius C.	2014	A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams	CI1	S	OK
Mahajan S., Li B., Halfond W.G.J.	2014	Root cause analysis for HTML presentation failures using search-based techniques	CI2	N	
Atagoren C., Chouseinoglou O.	2014	A case study in defect measurement and root cause analysis in a turkish software organization	CI1	S	
Okitsu J., Khamis M.F.I., Majid M.A.A., Naono K., Sulaiman S.A.	2014	Root cause analysis on changes in chiller performance using linear regression	CI2	N	
Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J., Itkonen J., Lassenius C.	2014	Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships	CI1	S	OK
Kovalenko O., Winkler D., Kalinowski M., Serral E., Biffl S.	2014	Engineering Process Improvement in Heterogeneous Multi-disciplinary Environments with Defect Causal Analysis	CI1	N	
Xiaoming Z., Sato A., Kudo Y., Okitsu J., Nakamura T., Abd Majid M.A.	2015	Energy efficient operation based on root cause analysis for multiple-chiller plant	CI1	N	
Wang K., Fung C., Ding C., Pei P., Huang S., Luan Z., Qian D.	2015	A methodology for root-cause analysis in component based systems	CI1	N	
Zawawy H., Mankovskii S., Kontogiannis K., Mylopoulos J.	2015	Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis	CI2	S	OK
Donauer M., Peças P., Azevedo A.	2015	Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery	CI2	S	OK
Sikora A., Margalef T., Jorba J.	2015	Online root-cause performance analysis of parallel applications	CI1	S	OK
Ferreira A., Huynen J.-L., Koenig V., Lenzini G.	2015	In cyber-space no one can hear you s·CREAM: A root cause analysis for socio-technical security	CI1	N	
Wang J., Xu J., Zhu D.	2015	Online root-cause analysis of alarms in discrete Bayesian networks with known structures	CI1	N	
Wee Y.Y., Cheah W.P., Tan S.C., Wee K.	2015	A method for root cause analysis with a Bayesian belief network and fuzzy cognitive map	CI1	S	OK
Schaaf M., Wilke G., Mikkola T., Bunn E., Hela I., Wache H., Grivas S.G.	2015	Towards a timely root cause analysis for complex situations in large scale telecommunications networks	CI1	N	
Nieminen M., Raty T.	2015	Adaptable Design for Root Cause Analysis of a Model-Based Software	CI1	N	

Autor	Ano	Título	2ª Etapa		3ª Etapa
			CI	AC	
		Testing Process			
Gupta N., Anand K., Sureka A.	2015	Pariket: Mining business process logs for root cause analysis of anomalous incidents	CI2	N	
Ali N.N.K., Soon B.Y., Goh L.S., Razi N.A.A.	2015	Symptoms versus problems (SVP) in household high speed broadband (HSBB): Regaining momentum for Unifi, Malaysia	CI1	N	

Legenda: CI = Critério de Inclusão / AC = Artigo Completo / S = Sim / N = Não

I.2.2.2. Informações extraídas das publicações selecionadas

Durante a leitura foram extraídas as seguintes informações da lista de publicações:

Dados da publicação	
Título:	An Analysis of Errors and their Causes in System Programs
Autor (es):	Endres, A.
Data da publicação:	1975
Referência completa:	Endres, A. (1975). "An Analysis of Errors and Their Causes in Systems Programs", IEEE Transactions on Software Engineering, SE-1, 2, June 1975, pp. 140-149.
Resumo da publicação	
O artigo é baseado em uma análise de erros de sistemas. O objetivo é investigar quais possíveis causas de erros podem ser obtidas a partir de uma análise específicas dos dados, realizada com base na classificação dos erros segundo uma série de atributos específicos.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
A coleta dos indícios ocorreu durante a fase de testes. Cada erro continha a seguinte informação: 1) Dados administrativos na descoberta do problema (versão do sistema, configuração, caso de teste, etc.) 2) Descrição do problema 3) Dados administrativos da correção efetuada (módulos alterados, dados da mudança, nome do programador, etc.) 4) Código da causa do erro 5) Descrição da correção efetuada	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A identificação da causa raiz ocorre por meio de uma série de perguntas que podem ser realizadas em mais de um ciclo, dentre as quais: 1) Onde foi feito o erro? 2) Quando foi feito o erro? 3) Quem fez o erro? 4) O que foi feito de errado? 5) Por que o erro particular foi feito? 6) O que poderia ser feito para prevenir o erro particular? 7) Se o erro não pode ser prevenido, qual procedimento pode auxiliar a detectá-lo?	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
Os erros foram classificados de acordo com os seguintes grupos: 1) Erro de máquina 2) Erros de usuário ou operador 3) Sugestão de melhoria 4) Duplicação (de um erro de programa identificado previamente) 5) Erro de documentação	

6) Erro de programa (não identificado previamente)

As causas dos erros foram classificadas em:

1) Tecnológico
2) Organizacional
3) Histórico
4) Dinâmica de grupo
5) Individual
6) Outros

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não existe nenhum processo, abordagem ou recomendação sobre priorização das ações para tratamento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Detalhar os erros relatados
2) Classificar os erros
3) Fazer a análise da causa de cada erro
4) Identificar a causa do erro a partir de questões

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Testes internos dos componentes do sistema operacional DOS/VS (erros de programa).

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- Conhecer os tipos de erros que ocorrem nos sistemas é útil para todos aqueles que desejem melhorar a confiabilidade do software;
- É desejável que o conhecimento sobre um erro, experimentado individualmente por um programador, seja difundido entre todos os profissionais da organização. Para isso, é essencial identificar quais erros estão sendo realizados por um grande grupo de programadores.

Dados da publicação	
Título:	Experiences with Defect Prevention
Autor (es):	Mays, R.G., Jones, C.L., Holloway, G.J., Studinski, D.P.
Data da publicação:	1990
Referência completa:	Mays, R.G., Jones, C.L., Holloway, G.J., Studinski, D.P. (1990). "Experiences with Defect Prevention", IBM Systems Journal, 29(1), pp. 4-32.

Resumo da publicação

O artigo descreve um processo de Prevenção de Defeitos e detalha os passos necessários para implementar esse processo e os resultados que podem ser obtidos com a sua adoção. São apresentados alguns dados sobre a qualidade, os custos do processo, os benefícios e as experiências práticas da sua adoção. Além disso, são discutidas a natureza dos erros de programação e a aplicação deste processo em ambientes de trabalho.

A principal diferença entre o processo de Prevenção de Defeitos para as abordagens existentes de análise de causa e prevenção é a integração das atividades de Prevenção de Defeitos dentro do processo de desenvolvimento. Dessa forma, a análise de causa é feita pela própria equipe de desenvolvimento durante o ciclo de implementação.

As ações de prevenção são implementadas pela Equipe de Ação e comunicadas aos desenvolvedores por meio de um feedback sistemático provido pelas reuniões de abertura de fase e pelos status das ações de prevenção planejadas na base de dados. Segundo o autor, esse processo foi implementado em diversas organizações da IBM.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

Durante as atividades de teste e validação, realizadas ao final de cada fase do ciclo de desenvolvimento, os defeitos que foram corrigidos são coletados e analisados na reunião de análise de causa.

Para cada defeito são realizadas as seguintes perguntas:

1) Qual a categoria da causa do erro?
2) Como o erro foi introduzido ou criado?
3) Em qual fase o erro foi criado ou inserido?
4) Como podemos prevenir o erro no futuro?

5) Como defeitos similares podem ser detectados e removidos de outras partes do produto?

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa raiz ocorre durante a reunião de análise de causa. Essa reunião é realizada ao final da fase de desenvolvimento, após a correção do defeito, com o objetivo de rever cada defeito a fim de determinar a causa raiz do erro de programação e propor ações para prevenir a recorrência desse erro no futuro.

Os defeitos foram enumerados em um quadro negro com as seguintes informações: número do defeito; abstração do defeito; categoria da causa; categoria da abstração; fase do processo; quando o defeito foi criado; ações preventivas. O detalhamento de cada defeito/causa não era o foco dessa atividade, a não ser que essa tarefa viesse a promover boas sugestões de ações preventivas.

Um formulário em papel também foi utilizado para gravar as informações escritas no quadro.

Ao final da reunião, as seguintes perguntas deveriam ser respondidas:

1) Existe alguma tendência nos erros que indique um problema maior?
2) Quais sugestões adicionais são aplicáveis a essa tendência?
3) O que deu certo e o que deu errado na última fase de desenvolvimento?
4) Quais as ações podem ser adotadas para prevenir ou evitar tais problemas?
5) Como podemos melhorar o processo de detecção de defeitos?

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

As seguintes categorias de problema foram utilizadas:

1) Descuido – Nessa categoria o desenvolvedor não conseguiu considerar todos os casos e condições. Normalmente algum detalhe do problema ou processo foi ignorado.
2) Educação – Nessa categoria o desenvolvedor não compreendeu algum aspecto do produto ou do processo.
3) Falha de Comunicação – O desenvolvedor não recebeu a informação requerida ou a informação estava incorreta.
4) Erro de Transcrição – O desenvolvedor sabia o que tinha que ser feito, mas simplesmente cometeu um erro.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

As ações de melhoria são categorizadas em:

1) Melhorias de processos, refinamentos ou documentações.
2) Ferramentas (desenvolvimento ou melhoria)
3) Educação (aprimorar o conhecimento do produto ou do negócio)
4) Mudança de produtos
5) Aprimorar as Comunicações

A equipe de ação define uma prioridade para as ações que devem ser primeiramente executadas. Na priorização das ações, a equipe de ação deve levar em consideração o retorno do investimento (valor da prevenção do tipo de defeito *versus* o custo da prevenção).

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Coleta dos dados apoiada por ferramentas
2) Reunião de Análise de Causa
    a. Levantamento dos defeitos
    b. Análise da causa raiz
    c. Propostas de melhoria
3) Registro das ações de melhoria na base de dados de ação
4) Implementação das ações de melhoria
    a. Equipe de Ação
5) Reuniões de abertura de fase
    a. Rever a lista de erros e preparar a equipe para o próximo ciclo de desenvolvimento, a fim de prevenir defeitos

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Desenvolvimento de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- A análise de causa realizada diretamente pelo desenvolvedor resulta em uma maior acurácia na determinação da causa do defeito e uma maior relevância nas ações de prevenção;
- Uma equipe de ação é um elemento crítico para o processo, pois assegura que as ações preventivas serão implementadas. Além disso, essa equipe é responsável por: rever regularmente as ações que foram propostas; decide quais devem ser implementadas; como devem ser implementadas; atribuem novas ações; discutem o status das ações abertas; revisam ações encerradas para assegurar que o trabalho foi efetivamente completo; reporta o status das atividades para o gerente;
- Os seguintes elementos são chaves para a prevenção de defeitos: (I) análise de causa sistemática; (II) gestão de equipes de ação; (III) reunião de abertura de fase; (IV) base de dados e ferramentas para coleta de dados e rastreio das ações;
- Melhorias significantes de qualidade e produtividade podem ser alcançadas por meio de uma análise de causa sistemática de erros, implementação de ações preventivas e *feedback* dos desenvolvedores;
- A análise sistemática dos erros e a atenção aos detalhes em todos os aspectos do processo de desenvolvimento, constitui a abordagem disponível mais promissora para alcançar um produto de alta qualidade e uma alta satisfação dos clientes;
- As causas de defeitos de fabricação são analisadas utilizando diagramas de causa e efeito e gráficos de Pareto;
- A equipe de ação deve ser utilizada como um recurso dedicado, protegido contra corte de recursos e pressões de cronograma. Além disso, deve ser composta por pessoas motivadas e dedicadas à melhoria dos processos na área;
- Os esquemas de classificação de erros são úteis para identificar as áreas e atividades propensas a erros, mas não determinam a causa raiz. Além disso, esses esquemas podem esconder os detalhes dos erros e suas causas. Dessa forma, ressalta-se a importância de uma análise profunda de cada erro durante a análise de causa a fim de obter uma melhor compreensão do motivo da ocorrência do erro e como prevenir sua recorrência.

Dados da publicação	
Título:	Applications of Defect Prevention in Software Development
Autor (es):	Mays, R. G.
Data da publicação:	1990
Referência completa:	Mays, R.G. (1990) "Applications of Defect Prevention in Software Development", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.8, No.2.

Resumo da publicação

O artigo descreve como um Processo de Prevenção de Defeitos pode ser aplicado para diferentes tipos de organização envolvidas com o desenvolvimento de software, incluindo: Projeto, Desenvolvimento, Teste, Desenvolvimento de Informação, Serviço, Planejamento e Requisitos, Fatores Humanos. O autor ressalta que cada tipo de organização utiliza diferentes processos, ferramentas e metodologias.
Esse processo foi aplicado com sucesso em diversas organizações de desenvolvimento dentro da IBM.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

Durante as atividades de teste e validação, realizadas ao final de cada fase do ciclo de desenvolvimento, os defeitos que foram corrigidos são coletados e analisados na reunião de análise de causa.
Durante a reunião, os seguintes dados devem ser obtidos:

1) Qual é o erro?
2) Qual sua categoria de causa?
3) Qual a causa do erro?
4) Qual estágio de desenvolvimento foi inserido o erro?
5) Quais ações devem ser tomadas para prevenir o erro?

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa raiz ocorre nas Reuniões de Análise de Causa, após o término de cada ciclo de desenvolvimento, onde os erros foram identificados e corrigidos. A reunião dura por volta de 2 horas com a participação da equipe de desenvolvimento.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não apresenta nenhuma categorização.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Nenhum procedimento foi identificado.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos dados dos erros (Reuniões de Análise de Causa) 2) Identificação da causa raiz (Reuniões de Análise de Causa) 3) Implementação das ações preventivas (Equipe de Ação) 4) Reuniões de *feedback* antes do início do próximo ciclo de desenvolvimento 5) Coleta e Rastreamento dos Dados associados às ações
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Desenvolvimento de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– O Processo de Prevenção de Defeitos pode ser aplicado com sucesso em qualquer área que envolva o desenvolvimento do produto, desde o desenvolvimento da informação até o serviço de software. Tendo em vista que cada área de processo é diferente, os erros também são particulares dos processos utilizados, bem como as ações preventivas são específicas de cada processo.

Dados da publicação	
Título:	In Search of the Root Cause
Autor (es):	Dew, J. R.
Data da publicação:	1991
Referência completa:	Dew, J. R. (1991). "In Search of the Root Cause". Quality Progress 24(3): 97-102.

Resumo da publicação
O artigo descreve que o processo da busca da causa raiz ocorre por meio das seguintes atividades: Definição do problema; Descoberta da causa imediata; Execução do tratamento do problema; Busca da causa raiz; Uso de ferramentas para identificação da causa raiz (Diagrama de fatores de evento e causa; Análise de camadas de proteção; Análise de mudança); Identificação dos fatores sistêmicos que constituem o sistema de trabalho da organização (equipe, procedimentos, equipamentos, material e ambiente).
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O autor não descreve um processo formal para a coleta dos indícios, apenas ressalta que esse processo deve ocorrer por meio de um questionamento eficaz que define o problema e restringe o âmbito de aplicação das possíveis causas descrevendo: o que o problema é, quando existe, quando se ocorre, e se ele tende a aumentar, diminuir ou se manter estável. Além disso, com base nas ferramentas utilizadas, infere-se a necessidade da coleta dos seguintes indícios: • Eventos que levaram ao problema e as causas relacionadas a cada evento. • Identificação das proteções que reduziriam ou removeriam o risco de ocorrência do problema. Com o objetivo de identificar qual proteção falhou ou deixou de ser aplicada.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação da causa raiz pode ser realizada a partir de três ferramentas utilizadas para a condução dos questionamentos: 1) Diagrama de fatores de evento e causa a. O diagrama de fatores de evento e causa estabelece uma sequência cronológica dos eventos que levam ao problema. Cada evento do diagrama está relacionado a diversas causas que podem ser a raiz do problema. 2) Análise de camadas de proteção a. Apresenta uma maneira estruturada para visualizar os eventos relacionados à falha do sistema e a criação do problema. O objetivo dessa técnica é identificar a proteção e os controles para remover ou reduzir os riscos, reforçar a conformidade com os procedimentos e tornar os alvos invulneráveis a risco. Baseia-se em três elementos: Fonte

do Problema, Métodos de Proteção, Alvo/Vítima.

3) Análise de mudança
    a. Realiza uma comparação do estado presente do sistema (problema) com o estado ideal do sistema (funcionamento normal). O objetivo é identificar a mudança que ocasionou o problema.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Infere-se que os problemas podem ser categorizados nos seguintes fatores sistêmicos: Humanos, Procedurais, Equipamento, Materiais, Ambiente.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Definir o problema
2) Identificar causa imediata
3) Tratar a causa identificada
4) Identificar a causa raiz
5) Classificá-la com base nos fatores sistêmicos

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas industriais.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- O autor ressalta a importância de identificar a causa imediata. Essa causa imediata pode ser uma ação, ou uma série de ações, que decorrem das diferenças entre o desempenho atual e o esperado;
- A análise de causa raiz tende a ser ignorada por razões de política interna a partir do momento em que questões embaraçosas relacionadas à gestão da organização precisem ser feitas;
- Além disso, o ato de perguntar questões embaraçosas que as pessoas não costumam discutir é um sinal de que o processo da busca da causa raiz está no caminho certo.

Dados da publicação	
Título:	Application of Causal Analysis to the Software Modification Process
Autor (es):	Collofello, J., Gosalla, B.
Data da publicação:	1993
Referência completa:	Collofello, J., Gosalla, B. (1993). "Application of Causal Analysis to the Software Modification Process", Software Practice and Experience, 23(10), pp. 1095–1105.

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma abordagem de análise de causa para um processo de manutenção de software. A abordagem foi aplicada em um projeto de manutenção evolutiva de software e verificou a causa raiz dos erros detectados após a implementação, durante a primeira fase do teste de integração.
A distribuição das categorias de defeito e de causa, detectadas durante o estudo de caso, foi analisada por meio de um gráfico de Pareto no qual foi possível detectar onde se concentrava a maioria dos problemas.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A coleta dos indícios ocorre por meio dos relatos de problema que são obtidos nos testes ou a partir do usuário. As seguintes informações devem ser obtidas para cada defeito:

- Tipo de defeito
- Fase em que o defeito foi encontrado
- Fase em que o defeito foi inserido
- Causa do defeito
- Soluções para prevenir a recorrência do defeito no futuro

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa raiz ocorre na fase "Analisar a causa dos defeitos". Nessa fase uma entrevista informal deve ser conduzida com o responsável (programador ou projetista) pela inserção do erro. Após a coleta das informações na entrevista, uma categoria de causa deve ser atribuída para cada erro.

A fim de determinar qual categoria de causa está levando a maioria dos problemas, deve-se determinar uma categoria de causa para cada defeito.
Categorias de causa:

- Conhecimento/Experiência com o sistema
- Comunicação
- Impacto no software
- Métodos/Padrões
- Implantação de recursos
- Ferramentas de suporte
- Erro humano

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

A abordagem apresenta um conjunto de categorias associadas ao processo de manutenção de software:

- Falha de projeto
- Incompatibilidade de interface
- Sincronização de código incorreta com projetos paralelos
- Transferência incorreta do caminho do objeto
- Esgotamento do recurso do sistema

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Após a coleta dos indícios de cada problema, ocorre a **priorização** de cada problema para **análise** com base nas seguintes categorias:

- Crítica – Funcionalidades prejudicadas e testes adicionais proibidos
- Alta – Funcionalidades parcialmente prejudicadas
- Baixa – Não afetam a operação normal do sistema

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

A abordagem apresentada pelo artigo é composta pelas seguintes fases:

1) Obter relatório de problemas
2) Priorizar problemas
3) Categorizar os erros
4) Analisar a causa dos defeitos
5) Desenvolver as recomendações

Apesar de não existir um passo para armazenagem dos dados, o autor menciona a importância de ter as informações armazenadas em uma base de dados.

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Desenvolvimento de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- A categorização da falha auxilia na identificação da causa da falha. Além disso, provê informação útil para avaliar o custo-benefício de eliminar as causas de falha *versus* a tentativa de detectar a falha caso ela ocorra;
- A categorização da causa provê um meio para avaliar o custo-benefício da implementação das recomendações para eliminar ou reduzir a causa das falhas.

Dados da publicação	
Título:	Software Failure Analysis for High-Return Process Improvement Decisions
Autor (es):	Grady, R. B.
Data da publicação:	1996
Referência completa:	Grady, R. B. (1996). "Software Failure Analysis for High-Return Process Improvement Decisions." Hewlett-Packard Journal 47(4): 15-24.

Resumo da publicação

O artigo apresenta um modelo de categorias padrão de causas de defeito utilizado na HP em 1996 (Modelo de Análise de Falha). Além disso, apresenta também três abordagens de Análise de Causa Raiz utilizados

pela mesma empresa: (I) *One-Shot Root-Cause Analysis*; (II) *Post-Project Root-Cause Analysis*; (III) *Continuous Process Improvement Cycle*.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

O processo de coleta envolve o registro das seguintes informações do defeito: Origem; Tipo; Modo.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa raiz varia conforme o método adotado:

Método *One-Shot*

- Adequado para organizações que ainda não categorizam os dados de defeito pela causa raiz. Utiliza diagrama de Ishikawa e sessões de *Brainstorming*.

Método *Post-Project*

- Adequado para empresas que já realizam a coleta dos defeitos e mantêm um entendimento dos padrões anteriores. Utiliza diagrama de Ishikawa e sessões de *Brainstorming*.

Método *Continuous Process Improvement*

- Adequado para organizações mais maduras quanto ao processo de Análise de Causa de Defeitos. A análise pode surgir de diferentes formas: seja a partir de um produto, *release* do sistema, fim da fase de desenvolvimento, ou uma série de inspeções.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

A categorização utilizada pela HP baseia-se em:

- Origem: requisitos/especificação, projeto, codificação, ambiente de suporte, documentação, dentre outros;
- Tipo: funcionalidades, interfaces, projeto, lógica, testes, integração, dentre outros;
- Modo: ausente, obscuro, incorreto, alterado, melhor maneira.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

No método *Post-Project* é ressaltado a importância de identificar os objetivos de negócio para auxiliar na priorização das melhorias propostas.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

Em suma, os métodos apresentados contemplam a execução dos seguintes passos:

1) Apresentação do método
2) Identificação dos objetivos de negócio para priorização dos defeitos
3) Seleção dos defeitos
4) Classificação dos defeitos
5) Análise da causa raiz
6) Proposição de melhorias
7) Elaboração de um plano de mudanças

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Desenvolvimento de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

– O resultado da análise dos defeitos deve ser incorporado em treinamentos e processos de mudança, a fim de que o processo de aprendizagem dos indivíduos seja transferido para as organizações com o objetivo de evitar a recorrência dos erros.

Dados da publicação	
Título:	Application of Root Cause Analysis in a Service Delivery Operational Environment: a Framework for Implementation
Autor (es):	Dorsch, J. J., Yasin M. M., Czuchry A.
Data da publicação:	1997
Referência completa:	Dorsch, J. J., Yasin M. M., Czuchry A. (1997). "Application of Root Cause Analysis in a Service Delivery Operational Environment: a Framework for Implementation." International Journal of Service Industry Management 8(4): 268-289.
Resumo da publicação	

O objetivo do artigo é apresentar um *framework* integrado que observa a organização pela perspectiva de um sistema aberto e leva em consideração os elementos e as características do ambiente operacional da indústria de serviços. Esse *framework* baseia-se na importância de criar uma orientação ao negócio que considera o cliente como um fim para os processos organizacionais. Dessa forma, leva o gerente do serviço a considerar os problemas pelas perspectivas operacional e estratégica.
O artigo apresenta dois *frameworks* para implementar a análise de causas no setor de serviços, contemplando tanto a aplicação proativa como a reativa da análise. Um dos *frameworks* é mais genérico e é composto pelas seguintes atividades: investigar; identificar; analisar; agir; monitorar e testar; gerenciar proativamente.
O outro *framework* possui o objetivo de guiar o reconhecimento, o isolamento e a resolução de um problema específico de um sistema de entrega de serviços. Foi realizado um estudo de caso para avaliar a utilização destes dois *frameworks* em conjunto.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A seleção dos dados para análise é feita por meio de entrevistas estruturadas e não-estruturadas, observação, *brainstorming*.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação ocorre na fase de "Analisar" com o auxílio de um diagrama de Ishikawa preenchido em uma sessão de *brainstorming*.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Não foi realizada categorização dos problemas.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não existe nenhum procedimento para priorizar a análise. Porém, as informações e sugestões coletadas são categorizadas em três grupos:

- Levantamento e dados de uso corrente;
- Resoluções Técnicas;
- Sugestões de Treinamento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Investigar (coleta dos fatores que contribuem para o processo)
2) Identificar um problema
3) Analisar causa raiz
4) Agir (plano de ação de correção)
5) Monitorar e Testar (por meio de surveys)
6) Gerenciar proativamente

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas relacionados à um sistema de correio de voz.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

– Muitos componentes e ideias que descrevem a abordagem da causa raiz são comuns a todos os métodos de análise de causa raiz. Entretanto, há muitas diferenças no desenvolvimento e aplicação das técnicas individualmente. Algumas técnicas de análise de causa raiz são relativamente simples para entender e usar, enquanto outras são altamente detalhadas e complexas;
– Na aplicação da filosofia da análise de causa raiz para solução de problemas e melhoria dos processos, é fundamental que as distinções entre sintomas, causas aparentes e causas raiz sejam desenhadas. A delimitação por meio do isolamento e tratamento das verdadeiras causas dos problemas dentro da organização constitui a essência da filosofia da causa raiz. Isso geralmente é realizado apenas através de uma análise minuciosa e detalhada de processos e sistemas internos.

Dados da publicação	
Título:	A Case Study in Root Cause Defect Analysis
Autor (es):	Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.
Data da publicação:	2000
Referência completa:	Leszak, M., Perry, D., Stoll, D. (2000) "A Case Study in Root Cause Defect Analysis", in 'International Conference on Software Engineering, ICSE 2000', pp.

	428-437.

Resumo da publicação

O artigo relata um estudo retrospectivo da análise de causa raiz dos defeitos em *Modification Request* (MR) de projetos de desenvolvimento de um componente de rede. A metodologia foi inserida no desenvolvimento de novos projetos como um requisito de coleta de medidas *in-process* para cada defeito principal de MR.
Foram apresentados: o estudo de caso sobre a abordagem; a classificação da causa raiz; e os mecanismos utilizados para selecionar os MRs para análise e coleta. Além disso, também foram relatados os defeitos e a causa raiz, bem como as contramedidas criadas para prevenir ou detectar os defeitos o mais rápido possível.
A categorização das falhas utilizada nesse estudo está baseada tanto nas categorias publicadas em artigos anteriores como na experiência dos desenvolvedores do projeto relatado.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A abordagem sugere um método de seleção aleatória dos problemas a serem tratados pela análise de causas, o qual consiste em agrupar os problemas e selecioná-los em dois momentos: (1) manualmente a partir de algum critério estabelecido; (2) seleção de forma aleatória. Os dados são agrupados em: modificação de inicialização, modificação de aprimoramento, modificação de defeitos.
Em seguida, os dados são classificados com base nas seguintes informações:

- Fase de detecção do defeito
- Classe do defeito (Implementação, Interface, Externo)
- Natureza do defeito (Incorreto, Incompleto, Outros)
- Severidade do defeito quanto ao tempo para tratá-lo (0, menor que 1 dia, 1-5 dias, 5-20 dias, mais que 20 dias)
- Localização do defeito (documento, software, hardware)
- Causas do defeito (fase, humano, projeto, revisão)
- Análise de barreira (medidas para assegurar a detecção/prevenção)

Como ocorre a identificação da causa raiz?

O artigo não apresenta como ocorre a identificação da causa raiz. O autor apenas menciona que será necessário selecionar um procedimento para análise de causa raiz. Além disso, sugere que a causa raiz de cada defeito detectado deve ser pontuado nas seguintes dimensões:

- Fatores relacionados à fase
- Fatores Humanos
- Fatores de Projeto
- Fatores de Revisão

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Os pedidos de modificação de software são classificados em: modificação de inicialização, modificação de aprimoramento e modificação de defeitos.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

No que se refere à análise, o estudo de caso utiliza um diagrama de Pareto para demonstrar quais os maiores problemas encontrados a partir da classificação dos defeitos, a fim de priorizá-los para análise.
No que se refere ao tratamento, ocorre uma priorização das contramedidas de acordo com três fatores (Escala de 0 até 1): percentual do esforço total, eficácia da contramedida sugerida, custo estimado de implementação.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Seleção dos dados
2) Classificação
3) Seleção do procedimento para Análise da Causa Raiz
4) Seleção da amostra mais significante (Pareto)
5) Priorização das contramedidas
6) Definição das ações de melhoria
7) Implantação das ações de melhoria

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Desenvolvimento de hardware/software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A abordagem apresentada é essencialmente uma retrospectiva e um processo de feedback do final da fase de desenvolvimento; – A novidade principal da abordagem é a substituição de uma classificação de causa raiz unidimensional (que permite seleção de apenas uma causa raiz) por uma classificação em quatro dimensões.

Dados da publicação	
Título:	Classification and Evaluation of Defects in a Project Retrospective
Autor (es):	Leszak, M., Perry, D., Stoll, D.
Data da publicação:	2002
Referência completa:	Leszak, M., Perry, D. E., Stoll, D. (2002) "Classification and Evaluation of Defects in a Project Retrospective", Journal of Systems and Software, 61(3), 173 – 187.
Resumo da publicação	
O artigo é uma extensão de LESZAK *et al.* (2000), a qual consiste em três investigações: um estudo da análise da causa raiz de defeitos, um estudo do processo de métrica, e uma investigação da complexidade do código. Além disso, apresenta uma nova abordagem para classificação de defeitos e causa raiz e os mecanismos utilizados para a seleção aleatória dos dados de *Modification Request* (MR).	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Tal qual LESZAK *et al.* (2000).	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
Tal qual LESZAK *et al.* (2000).	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
Tal qual LESZAK *et al.* (2000).	
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?	
Tal qual LESZAK *et al.* (2000).	
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?	
1) Seleção dos dados 2) Classificação 3) Seleção do procedimento para Análise da Causa Raiz 4) Seleção da amostra mais significante (Pareto) 5) Priorização das contramedidas 6) Definição das ações de melhoria 7) Implantação das ações de melhoria Cita a importância do armazenamento das informações de forma estruturada, mas não contempla um processo específicos.	
Qual o contexto de aplicação do estudo?	
Tal qual LESZAK *et al.* (2000).	
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?	
– A análise de causa raiz tem um esforço baixo e tolerável, quando comparado com os seus benefícios aparentes. Segundo o autor, as atividades de RCA são mais baratas quando executadas durante o projeto e quando o conhecimento detalhado sobre os defeitos pode ser obtido facilmente.	

Dados da publicação	
Título:	The Application of Causal Analysis Techniques for Computer-Related Mishaps
Autor (es):	Johnson, C.
Data da publicação:	2003
Referência completa:	Johnson, C. (2003). "The Application of Causal Analysis Techniques for Computer-Related Mishaps". Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in

	Bioinformatics). 2788: 368-381.

Resumo da publicação

O artigo apresenta um overview das técnicas de análise de causa para incidentes relacionados a sistemas elétricos e eletrônicos. As abordagens diferem com relação à quantidade de investimento, treinamento e tempo de investigação, requerido para a aplicação de cada um deles. Ao final do artigo foi apresentado um resumo das abordagens que podem ser utilizadas.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

O processo de coleta ocorre por meio de duas técnicas:

- Análise de Barreiras: Analisar as razões que levaram a falha, ou não, de cada barreira durante a tentativa de proteger o alvo.
- Análise da Mudança: Coletar as informações durante a verificação dos eventos atuais (problemas), as práticas normais ou ideais (anteriores ao problema) e os efeitos da mudança ocorrida.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa raiz ocorre por meio das seguintes técnicas.

- Baseada em eventos:
  - Linha do Tempo: Os eventos são dispostos de forma horizontal na linha do tempo, cada um agrupado de acordo com o agente envolvido.
  - Árvore de Falha: A árvore de falha apresenta um conjunto de fatores que contribuem, direta ou indiretamente, para o incidente relatado. Os fatores podem representar a causa raiz do problema.
- Baseada em fluxos:
  - MORT: apresenta um mapa de fluxo para a identificação dos fatores de causa. Os investigadores começam a análise a partir dos níveis de topo e vão questionando cada fator de nível inferior até encontrar a causa raiz, que pode ser composta de um ou mais fatores.
  - PRISMA: apresenta uma classificação de causa genérica que direciona os investigadores a uma série de soluções genéricas.
- Baseada em acidente:
  - TRIPOD: O modelo gráfico Tripod pode ser usado para apresentar como instâncias específicas de diversos tipos de falham são combinados para criar um incidente ou acidente.
  - STAMP: Explora elementos da teoria de controle para ajudar a identificar fatores causais. Isto é motivado pela observação de acidentes que ocorrem quando problemas externos não são controlados.
- Baseada em argumentação
  - As técnicas de argumentação apresentam um diagrama dos eventos relatados, e os relacionamentos entre cada evento são criados a partir de argumentos que justifiquem a relação de causa.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

Não foi identificado um conjunto de passos, pois o foco do artigo foi apenas a técnica para identificação da causa raiz.

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Incidentes em sistemas elétricos e eletrônicos de uma refinaria.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

– A maioria das empresas não tem os recursos para treinar os investigadores em uma gama de diferentes técnicas de análise de causa. Logo, é importante que os gerentes possam focar os recursos limitados na identificação das técnicas que são melhor aplicadas para analisar a causa de incidentes.

Dados da publicação	
Título:	Root Cause Analysis for Beginners
Autor (es):	Rooney, J. J. and Heuvel, L. N. V.

Data da publicação:	2004
Referência completa:	Rooney, J. J., Heuvel, L. N. V. (2004). "Root Cause Analysis for Beginners." Quality Progress 37(7): 45-53.

Resumo da publicação

O artigo apresenta as quatro etapas principais que devem ser consideradas durante o processo de Análise de Causa Raiz: Coleta das informações; Gráfico dos fatores de causa; Identificação da causa raiz; Recomendações geradas e implementação.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A coleta dos indícios foi realizada a partir dos relatos das pessoas envolvidas e fotografias do ambiente, a fim de identificar os fatores de causa.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

O processo de identificação da causa raiz passa pela elaboração do gráfico de fatores de causa e, em seguida, pelo mapeamento da causa raiz. O gráfico de fatores de causa é um diagrama de sequência com os testes lógicos que descrevem os eventos que levaram à ocorrência, além das condições que envolvem esses eventos.

A identificação da causa raiz é realizada com o apoio do Mapa da Causa Raiz, um diagrama de decisão que é elaborado para cada fator de causa identificado anteriormente.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Cada problema tem uma fonte de dificuldade primária, cada qual com um conjunto de categorias de problema relacionadas:

1) Equipamento
   - Projeto
   - Confiabilidade
   - Instalação/Fabricação
   - Mal-uso
2) Pessoal
   - Funcionário próprio
   - Funcionário contratado
3) Outras
   - Fenômeno natural
   - Sabotagem
   - Eventos externos
   - Outros

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento para priorizar a análise do problema. Todavia, as recomendações geradas são descritas na Tabela de Resumo da Causa Raiz. Essa tabela é composta por 3 colunas:

- Fator de causa
- Caminho pelo mapa da causa raiz
- Recomendações

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Coleta das informações
2) Gráfico dos fatores de causa
3) Identificação da causa raiz
4) Recomendações

Não existe uma fase específica para garantir a implementação das melhorias, o artigo apenas cita que a organização deve garantir a implementação das recomendações, a fim de evitar desperdício do esforço da análise.

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Incêndio em uma cozinha.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

– Causas raiz são causas subjacente (ocultas). Logo, quanto mais específica for a investigação, mais fácil

será chegar a recomendações para evitar a recorrência do problema;
- Causas raiz são passíveis de serem gerenciadas e controladas. As causas raiz devem ser específicas de tal forma que seja possível gerenciá-las por meio de alguma ação. Evitar classificações generalizadas;
- Causas raiz devem ser endereçadas por meio de recomendações diretas e eficazes. Caso um analista chegue a uma recomendação vaga, é um sinal de que a causa não foi detalhada o bastante.

Dados da publicação	
Título:	Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning
Autor (es):	Card, D. N.
Data da publicação:	2005
Referência completa:	Card, D. N. (2005). "Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning". Advances in Computers. 65: 259-295.

Resumo da publicação

O artigo apresenta três propostas práticas de análise de defeitos: (1) Modelagem/Predição da qualidade de software, (2) Monitoramento do Desempenho do Processo, (3) Aprendizagem e Melhoria de Processos através de erros passados.

A terceira proposta, de Aprendizagem e Melhoria, aborda de que forma a informação do defeito é utilizada para entender os fatores que levaram ao desvio apresentado no desempenho do processo e quais mudanças devem ser realizadas para a melhoria desse desempenho. A primeira abordagem dessa proposta é o Sistema Causal, o qual é um conjunto interligado de eventos e condições que produz consequências reconhecíveis. A identificação da relação de causa e efeito é o foco dessa abordagem. A segunda abordagem é a Análise da Causa de Defeito, na qual são expostos os conceitos básicos da análise de causa aplicada a defeitos.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

O processo de coleta ocorre a partir da identificação de uma anomalia no perfil do defeito (ver 1ª proposta) ou quando ocorre um desvio no gráfico de controle do processo (ver 2ª proposta).

Dados gravados sobre o defeito durante a fase de identificação
- Tipo de Defeito (interface, lógica, estrutura de dados, dentre outros)
- Fase/Atividade na qual foi inserido
- Fase/Atividade na qual foi detectado
- Esforço para corrigi-lo

Como ocorre a identificação da causa raiz?

Após a classificação dos problemas e identificação dos erros sistêmicos, se inicia a atividade de determinação da causa raiz, na qual foi utilizada o diagrama de Ishikawa com suas respectivas categorias de causa: Métodos; Ferramentas/Ambiente; Pessoas; Entrada/Requisitos.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Os tipos de defeitos podem ser de interface, lógica, estrutura de dados, dentre outros.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

O procedimento de priorização da análise inicia-se com a classificação dos problemas selecionados, em seguida, por meio de um gráfico de Pareto ou gráfico de Tabelas, ocorre a identificação dos erros sistêmicos relacionados a uma atividade ou parte específica do produto.

No que se refere ao procedimento de priorização do tratamento, o autor não especifica nenhum procedimento, apenas ressalta a importância de priorizar as propostas de ações de melhoria.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Selecionar a amostra do problema
2) Classificar os problemas selecionados
3) Identificar os erros sistêmicos
4) Determinar a causa principal
5) Desenvolver propostas de ação
6) Priorização das ações propostas
7) Planejamento das ações e Monitoramento
8) Documentar os resultados da reunião

Qual o contexto de aplicação do estudo?
Desenvolvimento de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– Sem um *framework* de processo básico é bem difícil entender onde e como defeitos foram inseridos no software e quais ações estão mais suscetíveis para preveni-los e encontrá-los mais cedo.

Dados da publicação	
Título:	The Application of PROACT® RCA to Terrorism/Counter Terrorism Related Events
Autor (es):	Latino, R. J.
Data da publicação:	2005
Referência completa:	Latino, R. J. (2005). "The Application of PROACT® RCA to Terrorism/Counter Terrorism Related Events". Lecture Notes in Computer Science.

Resumo da publicação
O artigo apresenta a abordagem PROACT para Análise de Causa Raiz.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
A área deve ser observada, os itens recolhidos e etiquetados e condução de entrevistas. Cada indício deve ser categorizado com as seguintes informações: Peças, Posição, Pessoas, Papel, Paradigmas.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação da causa raiz ocorre a partir da representação gráfica da sequência de causa-efeito de cada evento em uma árvore lógica. É responsabilidade do time definir a sequência dos eventos e basear cada evidência em fatos sólidos. O foco da investigação não deve ser apenas o incidente, mas também as suas consequências. O topo da árvore deve ser a consequência e o segundo nível deve descrever os eventos que levaram à consequência. Cada nó da árvore possui um fator de confiança (0 a 5) que descreve o nível de confiança da evidência coletada. É papel do facilitador garantir que cada hipótese é provada ou não por meio de uma evidência. Segundo o autor, a causa raiz pode estar relacionada a: • Fatores físicos (tangíveis) • Fatores humanos • Fatores latentes (deficiências no processo organizacional)
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
A categorização do problema é realizada durante a coleta, conforme os 5Ps: Peças, Posição, Pessoas, Papel, Paradigmas.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos dados e categorização 2) Determinação da equipe de análise 3) Análise dos dados e busca da causa raiz 4) Comunicação dos Resultados e Recomendações 5) Acompanhamento dos Resultados (Medição)
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas relacionados a incidentes terroristas.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A Análise da Causa Raiz não é específica de nenhuma indústria ou situação, mas específica do ser humano. Esse processo é aplicado em diversos ramos, como aeroespacial, militar, indústria química, nuclear e de saúde. – A Análise da Causa Raiz é uma habilidade desenvolvida e aperfeiçoada pela mente humana em como determinar com precisão por que as coisas dão errado e por que as pessoas tomam determinadas decisões.

– Perguntas a serem respondidas pela Análise da Causa Raiz: • Qual o problema a ser analisado (definição do problema)? • Qual é a sua importância para os interessados (significado do problema)? • Quais são os fatores de causa que combinados definem o problema (análise do problema)? • Como os fatores de causa estão relacionados (gráfico causal)? • Qual evidência existe para manter cada fator de causa (validação de causa)? • Quais são as ações recomendadas para resolver os problemas similares (recomendações)? • Qual garantia existe de que as ações recomendadas são justificadas (validação da solução)? • Quais são as lições a serem aprendidas da análise do problema (lições)?

Dados da publicação	
Título:	GENESIS: A Scalable Self-Evolving Performance Management Framework for Storage Systems
Autor (es):	Pollack, K. T. and Uttamchandani, S. M.
Data da publicação:	2006
Referência completa:	Pollack, K. T., Uttamchandani, S. M. (2006). "GENESIS: A Scalable Self-Evolving Performance Management Framework for Storage Systems". Proceedings - International Conference on Distributed Computing Systems.

Resumo da publicação
O artigo apresenta um *framework* que auxilia administradores de *storage* com a análise da causa raiz em sistemas distribuídos. O *framework*, denominado GENESIS, é composto pelos seguintes módulos: Detecção de anormalidades, Geração de snapshot, Diagnóstico. As causas e os efeitos do problema de desempenho são detectados e armazenados com uma fotografia do estado do sistema associado ao período de ocorrência do problema. O diagnóstico é iniciado pelo administrador por meio de uma interface de consulta que é utilizada para mapear as causas com os efeitos de desempenho.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O processo ocorre a partir da extração, realizada pelo módulo de detecção de anomalia, dos dados da base de dados de monitoramento e, em seguida, procede com comparação dos dados com o modelo apropriado de normalidade para avaliar se o dado é referente a uma situação normal ou anormal.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação da causa raiz ocorre a partir da classificação das mudanças que ocorreram no sistema em tempo de execução, como uma causa ou efeito, baseado no conhecimento semântico geral e/ou em qual componente ocorreu o problema. O módulo de diagnóstico provê um ranking da lista de possíveis causas raiz do problema utilizando uma combinação do conhecimento caixa branca com as estatísticas de caixa preta. É responsabilidade do administrador, a partir do módulo de diagnóstico, decidir se uma anomalia é considerada problema ou não.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Detectar anomalia (problema) 2) Gerar snapshot (fotografia do estado atual do sistema) 3) Diagnóstico da causa raiz 4) Armazenar dados do diagnóstico na base de dados
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas em sistemas distribuídos.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A análise de causa raiz de problemas de desempenho em sistemas empresariais de larga escala não é

uma tarefa trivial devido aos seguintes fatores: O conceito de anormalidade de desempenho não é bem definido; Necessidade de armazenar o histórico do desempenho do sistema como um todo; A causa-raiz envolve eventos comuns, cujo impacto no sistema é bem conhecido.

Dados da publicação	
Título:	Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation
Autor (es):	Jin, Z. X., Hajdukiewicz, J., Ho, G., Chan, D., Kow, Y.
Data da publicação:	2007
Referência completa:	Jin, Z. X., Hajdukiewicz, J., Ho, G., Chan, D., Kow, Y. (2007). "Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation". Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 4562 LNAI: 79-88.

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma aplicação da análise de causa raiz por meio do método *Knowledge Failure Modes Effects Analysis* (FMEA) utilizado para analisar dados brutos de entrevistas. A proposta apresentada defende que a partir da análise detalhada dos dados, é possível identificar as relações de causalidade entre as informações e classificá-las para análises quantitativas.

O *Knowledge* FMEA é uma técnica de análise de dados projetada para decompor e organizar a informação textual conforme as relações de causa e efeito, quantificando-as pelos níveis de Severidade, Ocorrência, Detecção, levando a classificações de Número de Prioridade de Risco.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A coleta dos indícios ocorre por meio de entrevistas. Os dados brutos possuem quatro dimensões que simplificam a análise:

- Classificação temática e semântica
- Clareza
- Caminho de resolução do problema e causalidade
- Importância e relevância

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A condução da análise da causa raiz é realizada por meio de um processo iterativo, onde são realizadas perguntas abertas (O que, Quando, Onde, Por que, Como) e as informações obtidas são alinhadas conforme as relações de causa e efeito.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

A categorização ocorre a partir dos temas em comum que emergem da análise.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Durante o processo de "Avaliação Quantitativa", a classificação dos problemas é tratada com base nos seguintes fatores:

- Gravidade - qual sério é o problema
- Ocorrência - quão frequente é o problema
- Detecção - quão fácil é detectá-lo

Cada fator normalmente contém uma escala de 0,1,3,5,7,9. A multiplicação dos três fatores determina o Número de Prioridade do Risco (RPN), importante para indicar o risco e impacto de determinado problema e a atenção necessária para tratá-lo.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

A análise *Knowledge* FMEA é dividida em seis estágios:

1) Familiarizar com os dados (codificação e agrupamento das informações)
2) Análise Temática Fundamental (classificação das informações – indutiva ou dedutiva)
3) Análise de Causa Raiz (buscar a causa raiz a partir de perguntas abertas)
4) Avaliação Quantitativa (avaliação dos itens conforme prioridade)
5) Revisão da Análise (revisão dos problemas e soluções)
6) Análise Quantitativa e Interpretação (consolidação dos dados em uma matriz)

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de processos de produção industrial.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– O nexo de causalidade e a sua importância na resolução de problemas é o que nos leva a analisar os dados de acordo com os relacionamentos de causa e efeito. O caminho para resolver os problemas envolve identificar problemas, provas, causas, consequências e soluções que fornecem ações corretivas e preventivas.

Dados da publicação	
Título:	Implementing Causal Analysis and Resolution in Software Development Projects: The MiniDMAIC Approach
Autor (es):	Gonçalves, F., Bezerra, C., Belchior, A., Coelho, C., Pires, C.
Data da publicação:	2008
Referência completa:	Gonçalves, F., Bezerra, C., Belchior, A., Coelho, C., Pires, C. (2008). "Implementing Causal Analysis and Resolution in Software Development Projects: The MiniDMAIC Approach". 19th Australian Conference on Software Engineering, pp. 112-119.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta uma abordagem denominada MiniDMAIC que tem como objetivo analisar e resolver defeitos e causas de problemas em projetos de desenvolvimento de software. A abordagem é baseada na metodologia DMAIC do *Six Sigma* e na área de processos Análise de Causa e Resolução do CMMI nível 5. A abordagem é uma simplificação do DMAIC, visando endereçar causa de problemas e resolução em projetos de software de uma maneira rápida e prática, reduzindo riscos e custos, prevenindo a recorrência no futuro e implementando melhorias de processo a fim de aumentar a satisfação dos clientes. A metodologia é composta pelas seguintes fases: Definir; Medir; Analisar; Melhorar; Controlar.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
O processo de coleta ocorre nas fases Definir e Medir. Na primeira fase ressalta-se a importância da busca por problemas semelhantes no repositório de dados históricos, bem como a descrição do impacto ou consequências para o problema do projeto. Na segunda fase deve-se produzir evidência sobre o problema a ser investigado.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A identificação da causa raiz ocorre por meio das seguintes técnicas: *Brainstorming*, Diagrama de Ishikawa; *Five Whys*.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
O artigo menciona a importância da existência de uma lista de categorias pré-definidas para facilitar a categorização do problema. Sugere-se as seguintes categorias: processos, tecnologia e pessoas.	
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?	
O artigo não cita como ocorre a priorização, apenas informa a necessidade de priorizar as soluções para tratamento dos problemas.	
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?	
1) Definição do problema e fontes do problema 2) Definição dos objetivos e alocação do time 3) Medição (produzir evidência sobre o problema) 4) Categorizar o problema 5) Determinar causa raiz 6) Determinar ações e avaliar risco 7) Priorizar ações propostas 8) Plano de ação 9) Monitoramento 10) Avaliar resultados 11) Reportar resultados e lições aprendidas	
Qual o contexto de aplicação do estudo?	

Projetos fora de controle, considerando indicadores críticos de satisfação dos clientes e desvios dos objetivos organizacionais; Problemas com causa raiz incerta; Problemas relacionados ao critério de aceitação.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– Uma das maiores dificuldades na aplicação da área de processos Análise de Causa e Resolução em projetos de software é que os projetos normalmente têm recursos limitados. Dada essa dificuldade, apenas ações imediatas para a solução do problema são tomadas e os mesmos problemas surgem mais tarde no projeto.

Dados da publicação	
Título:	Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach
Autor (es):	Kalinowski, M., Travassos, G. H., Card, D. N.
Data da publicação:	2008
Referência completa:	Kalinowski, M., Travassos, G. H., Card, D. N. (2008). "Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach", 34th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications (SEAA), 199-206, Parma, Italy.

Resumo da publicação
O artigo apresenta algumas orientações, baseada em uma revisão sistemática da literatura, sobre como implementar de forma eficiente a Análise da Causa de Defeitos nas organizações. É apresentada a abordagem DBPI (*Defect Based Process Improvement*), cujas principais contribuições são: suporte para Análise da Causa de Defeitos baseada em Melhoria de Processos; integração de mecanismos de aprendizagem organizacional nos relacionamentos de causa e efeito dentro da Análise de Causa de Defeitos conduzida. Segundo o autor, não foi identificado no estado da arte da DCA nenhum mecanismo que permitia a atualização automática (e uso) das relações de causa e efeito para que os resultados de eventos de análise causal sucessivas pudessem ser integrados para uma compreensão do contexto organizacional mais profunda.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O processo de coleta se inicia a partir das análises dos gráficos de controle estatístico do processo, mas não estão descritos quais indícios que foram coletados.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A partir das probabilidades obtidas com a rede Bayesiana, as causas do defeito são desenhadas no Diagrama de Ishikawa.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Os tipos de defeitos não foram definidos, o que pode variar de acordo com o contexto organizacional.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
A priorização das ações de melhoria deve levar em consideração a probabilidade bayesiana definida pelo modelo.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Seleção das amostras (análise dos gráficos de controle estatístico e do gráfico de Pareto) 2) Classificação das causas (rede Bayesiana) 3) Identificação da causa raiz 4) Proposição de melhorias
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Defeitos em artefatos de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A Análise da Causa de Defeitos (DCA) pode ser considerada parte da prevenção de defeitos, a qual adicionalmente aborda a implementação de ações e a comunicação de mudanças para a equipe de desenvolvimento. Compreende a aplicação da análise de causa e resolução para um tipo de problema específico: defeitos introduzidos em artefatos de software por meio do ciclo de vida de software.

Dados da publicação	
Título:	Towards Automatic Causality Boundary Identification from Root Cause Analysis Reports
Autor (es):	Kim, S., Aurisicchio, M., Wallace, K.
Data da publicação:	2008
Referência completa:	Kim, S., Aurisicchio, M., Wallace, K. (2008). "Towards Automatic Causality Boundary Identification from Root Cause Analysis Reports." Journal of Intelligent Manufacturing: 1-11.

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma abordagem que explora as relações de causalidade nas descrições dos relatórios de Análise de Causa Raiz. Essas relações podem ocorrer em uma única sentença, denominada expressão de causalidade, composta por pares de causa e efeito.
O foco do artigo é a extração de pares de Causa e Efeito das sentenças dos relatórios. Não obstante, também trata da identificação dos limites de Causa e Efeito. Foi utilizado técnicas de processamento de linguagem natural (NLP) e probabilidade.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

O processo de coleta ocorre por meio de um relatório de análise de causa raiz contendo as seguintes informações:

- Identificação da sequência dos eventos ocorridos;
- Relações de causalidade que identificam a causa raiz;
- Medidas e recomendações propostas para evitar a recorrência de eventos similares.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

O artigo não trata da identificação de causa raiz, trata apenas de identificar as relações de causa e efeito em relatórios de engenharia que descrevem o processo de análise de causa raiz.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

Não existe uma sequência de passos definidos desde a coleta até o tratamento. O artigo descreve apenas o uso de técnicas de processamento de linguagem natural no apoio à identificação da causa raiz.

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de engenharia.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

– Relatórios narrativo tendem a mencionar informações de causalidade em diferentes partes de um único relatório, tornando difícil para o leitor o entendimento correto dos eventos e a identificação das complexas interações de causa e efeito. Além disso, a análise de causa raiz a partir de todos esses dados do relatório é feito de forma manual, o que dificulta a implementação de uma análise baseada em dados com o objetivo de quantificar quais causas raiz são recorrentes e precisam de uma investigação especial. Dessa forma, a conversão de tais relatórios em uma estrutura semelhante a banco de dados, sumarizando as relações de causa e efeito, pode ser útil.

Dados da publicação	
Título:	Diagnosing Distributed Systems with Self-Propelled Instrumentation
Autor (es):	Mirgorodskiy, A. V. and Miller, B. P.
Data da publicação:	2008
Referência completa:	Mirgorodskiy, A. V. and Miller, B. P. (2008). “Diagnosing Distributed Systems with Self-Propelled Instrumentation”. Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 5346 LNCS: 82-103.

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma abordagem para diagnóstico de *bugs* e problemas de desempenho em ambientes distribuídos. O objetivo da abordagem é monitorar a execução do sistema com uma baixa granularidade, descobrindo e orquestrando a comunicação dos processos ao longo da execução, e coletando rastros no nível de funcionalidade nos ambientes distribuídos. O algoritmo que faz parte da abordagem automaticamente compara os rastros de cada um a fim de identificar atividades anormais e pontuar as causas raiz.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O algoritmo apresentado coleta os *bugs* que relatam problemas de desempenho.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação da causa raiz ocorre a partir da comparação do rastro observado com os perfis de rastro de sucesso e de fracasso, a fim de identificar o perfil do rastro observado, chegando a causa raiz do problema.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Os problemas são caracterizados segundo o perfil de sucesso ou fracasso.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos *bugs* 2) Análise dos perfis de desempenho 3) Identificação da causa-raiz
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Defeito de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	Improving the Effectiveness of Root Cause Analysis in Post Mortem Analysis: A Controlled Experiment
Autor (es):	Bjornson, F. O., Wang, A. I., and Arisholm E.
Data da publicação:	2009
Referência completa:	Bjornson, F. O., Wang, A. I., and Arisholm E. (2009). "Improving the Effectiveness of Root Cause Analysis in Post Mortem Analysis: A Controlled Experiment." Information and Software Technology 51(1): 150-161.

Resumo da publicação
O artigo apresenta uma proposta de melhoria para a fase de análise de causa raiz do método de Análise *Post Mortem* (PMA). A fim de avaliar essa proposta de melhoria, os autores conduziram um experimento controlado para comparar o método original com o método proposto. Ao final do artigo, observa-se que o método proposto é mais efetivo. A modificação proposta pelo autor explora o uso do *brainstorming* e a técnica de Mapa Causal. O autor adaptou a sessão de *brainstorming*, a partir do uso de *post-it*, dando oportunidade de participação para todos os membros da sessão. Além disso, a substituição do diagrama de Ishikawa pela técnica de Mapa Causal permitiu mais liberdade na diagramação dos resultados.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O processo de coleta ocorre nas sessões de *brainstorming*, denominada KJ-session, onde são levantados os pontos positivos e negativos de uma determinada experiência a partir do uso de *post-it* pelos participantes.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
O levantamento realizado na KJ-session resultava em diagramas de afinidades que agrupavam experiências de conceitos similares. A partir desse agrupamento são elaborados os diagramas de Ishikawa ou Mapa Causal, os quais auxiliam na identificação da causa raiz.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Introdução da técnica e explicação do propósito da revisão 2) KJ-session 1 - Levantamento da experiência positiva 3) KJ-session 2 - Levantamento da experiência negativa 4) Análise de Causa Raiz Cita a importância do armazenamento das informações em relatórios de análise, mas não contempla um processo específico.
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Processos de engenharia de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A avaliação qualitativa observou que os grupos utilizando a técnica de mapa causal participaram mais durante as fases de análise do que os grupos que utilizaram os diagramas de Ishikawa. Esse resultado pode ser explicado pelo fato de que os grupos que construíram o mapa causal utilizaram uma técnica nominal de *brainstorming*, enquanto os grupos que construíram o diagrama de Ishikawa utilizaram uma técnica interativa; – No diagrama de Ishikawa fatores menos relevantes são expostos pelo simples objetivo de completar a estrutura da espinha de peixe. Além disso, dificilmente são analisadas as subcausas das causas, pois as causas não são analisadas em uma profundidade maior que três níveis e a maioria delas são causas genéricas; – Os estudantes que utilizavam o digrama Ishikawa atribuíam subcausas a todas as causas principais, independente da sua relevância. Os estudantes que utilizavam o mapa causal tipicamente selecionavam as causas mais relevantes e criavam uma cadeia de causa e efeito, ignorando as causas principais mais irrelevantes; – As cadeias mais longas geradas pela abordagem de mapa causal tendem a desenhar um cenário com mais detalhes da situação do projeto, primeiramente destacando as causas gerais e, em um segundo momento, destacando as causas mais específicas no final da cadeia.

Dados da publicação	
Título:	A Case Study Comparing Defect Profiles of a Reused Framework and of Applications Reusing it
Autor (es):	Gupta, A., Li. J., Conradi R., Ronneberg, H., Landre, E.
Data da publicação:	2009
Referência completa:	Gupta, A., Li. J., Conradi R., Ronneberg, H., Landre, E. (2009). "A Case Study Comparing Defect Profiles of a Reused Framework and of Applications Reusing it." Empirical Software Engineering 14(2): 227-255.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta um estudo de caso em uma grande empresa de petróleo e gás da Noruega, envolvendo um *framework* Java reutilizável e duas aplicações que usam esse *framework*. Foram analisados todos os relatórios de problemas a partir do uso do *framework* e das aplicações de acordo com a Classificação de Defeitos Ortogonal (ODC), seguida por uma Análise de Causa Raiz qualitativa. O propósito do estudo é comparar e encontrar explicações para as possíveis semelhanças e diferenças entre os perfis de defeitos.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Quando um defeito é identificado durante o teste de integração/sistema, um relatório do problema é escrito e armazenado na ferramenta Rational ClearQuest. Cada defeito é registrado com as seguintes informações: • ID • Descrição • Prioridade (Urgência do Problema - Crítica, Alta, Média, Baixa) • Severidade (Crítica, Alta, Média, Baixa) • Classificação (erro, erro em outro sistema, duplicação, rejeitado, adiado etc.) • Esforço estimado para correção	

- Tempo estimado para correção
- Localização no subsistema
- Localização no sistema
- Ação atualizada

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação da causa dos defeitos ocorre por meio de diagrama de Ishikawa. As causas são classificadas por meio dos seguintes aspectos: ferramentas e ambiente, inputs e requisitos, métodos, pessoas.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Os problemas são categorizados por meio do esquema de classificação ODC (*Orthogonal Defect Classification*) desenvolvida pela IBM que classifica a natureza dos defeitos de software. No estudo, a classificação ODC foi adaptada. Utilizaram-se os seguintes tipos de erros:

- Atribuição/inicialização
- Controle
- Algoritmo/método
- Função/classe/objeto
- Serialização
- Interface/Mensagem OO
- Relacionamento
- Interface (GUI)
- Dados (estrutura, conteúdo, declaração)

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não ocorreu uma priorização das ações, apenas uma classificação com relação ao nível de urgência dos problemas. Foram utilizados gráficos para analisar a prioridade de cada tipo de defeito.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Coleta dos defeitos
2) Classificação dos defeitos (ODC)
3) Comparação das densidades, severidades e impactos dos tipos de defeito
4) Análise da causa raiz
5) Apresentação dos resultados

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Defeitos de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification
Autor (es):	Shenvi, A. A.
Data da publicação:	2009
Referência completa:	Shenvi, A. A. (2009). "Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification". Proceedings of the 2nd India Software Engineering Conference, ISEC 2009

Resumo da publicação

O objetivo do artigo é demonstrar, por meio de um estudo de caso, um processo estruturado para prevenção de defeitos utilizando alguns atributos do IBM's ODC (*Orthogonal Defect Classification*) para classificação dos defeitos.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A coleta dos defeitos ocorre durante as fases de testes e processos de revisão em pares. Na abertura do defeito são conhecidas as circunstâncias que levarão ao defeito:

- Atividade
- Gatilho
- Impacto

Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação ocorre a partir de sessões de *brainstorming* e com a elaboração do Diagrama de Ishikawa para cada tipo de defeito identificado. No fechamento do defeito a natureza exata do problema e o escopo da correção são conhecidas: objetivo, tipo, qualificador, fonte, idade.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Os problemas foram categorizados conforme as fases: • Requisitos • Projeto • Desenvolvimento • Teste Unitário • Teste de Integração • Teste Alfa • Teste Beta
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Identificação do Defeito 2) Classificação do Defeito em Padrão 3) Análise de Causa 4) Plano de Ação e Rastreamento 5) Medição 6) Verificação dos Resultados 7) Lições Aprendidas 8) Armazenar informações da análise em uma base de dados
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Defeitos de software.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– Não faz sentido criar uma ação para cada erro que surge ao longo do desenvolvimento de software, pois grande parte deles tem sintomas de uma causa raiz comum.

Dados da publicação	
Título:	The Root of the Cause
Autor (es):	Eckert, C. and Hughes, B.
Data da publicação:	2010
Referência completa:	Eckert, C., Hughes, B. (2010). "The Root of the Cause". Industrial Engineer, vol. 42(2), pp. 38-43.
Resumo da publicação	
O artigo descreve um conjunto de orientações e passos para o estabelecimento de um programa de análise de causa raiz, e explica que a melhor maneira de minimizar proativamente os riscos de falhas futuras é aprender com as falhas na cadeia de suprimento. A componente chave para solucionar proativamente um problema é um sistema de gerenciamento de solução robusto construído em um sólido e adaptável programa de análise de causa raiz.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
A partir do reconhecimento do problema, deve-se documentar as informações específicas relacionadas a ele: • Título do problema • Limite de gatilho • Quando ocorreu • Onde ocorreu • Impacto na cadeia de suprimento	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	

Tendo em vista que toda causa tem um efeito associado, o autor recomenda sempre questionar o porquê dos problemas, a fim de encontrar mais causas. Ele utiliza um diagrama em forma de árvore, onde o problema é o tronco e as folhas são as causas associadas ao problema (podem ser condições de ambiente ou condições de mudança).
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Mapear a cadeia de suprimento 2) Gerenciar gargalos 3) Identificar indicadores chave de desempenho 4) Identificar critério de gatilho (para investigação da RCA) 5) Implementar uma metodologia RCA consistente 6) Identificar riscos sistêmicos 7) Relatar/Compartilhar resultados 8) Escalar por toda a cadeia de suprimento
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Não foi identificado um contexto específico.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– Para alcançar bons resultados, as empresas precisam fazer mais do que *brainstorming*, diagrama de Ishikawa e "5 Whys", precisam desenvolver um processo de RCA que viabilize a capacidade proativa de reduzir riscos no futuro; – *Brainstorming* e Ishikawa são formas de análise bruta. O ideal é utilizar um processo lógico de desconstrução do problema a fim de identificar as causas subjacentes; – O objetivo da investigação é explicar o problema para outros e reduzir o risco de recorrência. A equipe deve conseguir explicar o que ocorreu e identificar uma lista de soluções para reduzir esse risco.

Dados da publicação	
Título:	A sustainability root cause analysis methodology and its application
Autor (es):	Jayswal A., Li X., Zanwar A., Lou H.H., Huang Y.
Data da publicação:	2011
Referência completa:	Jayswal, A.A, Li, X.A, Zanwar, A.A, Lou, H.H.A, Huang, Y. (2011). "A sustainability root cause analysis methodology and its application", Computers and Chemical Engineering, Volume 35, Issue 12, 14 December 2011, Pages 2786-2798.
Resumo da publicação	
O artigo descreve uma abordagem sistemática para análise de causa raiz da sustentabilidade de um processo de produção de biodiesel, considerando variáveis econômicas, ambientais e sociais. A metodologia apresentada utiliza a Análise de Pareto para identificar as principais causas e o Diagrama de Ishikawa para analisar as relações de causa e efeito de cada variável.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Os dados para cada variável (econômica, ambiental e social) foram tabulados e analisados com Pareto.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A identificação da causa raiz ocorre por meio da aplicação do Diagrama de Ishikawa.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
Os problemas eram associados aos tipos de variáveis definidas: econômicas, ambientais e sociais.	
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?	
Os dados foram priorizados apenas para a análise, por meio do gráfico de Pareto.	
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?	
1) Seleção dos dados para análise	

2) Análise da causa raiz
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas econômicos relacionados a produção de biodiesel e os derivados deste processo; problemas relacionados ao impacto ambiental dos derivados químicos do processo; problemas relacionados à segurança em cada unidade da usina de biodiesel.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies
Autor (es):	Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J.
Data da publicação:	2011
Referência completa:	Lehtinen, T.O.A., Mäntylä, M.V., Vanhanen, J. (2011) "Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies", Information and Software Technology, Volume 53, Issue 10, October 2011, Pages 1045-1061.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta um método para Análise de Causa Raiz denominado ARCA, bem como uma avaliação empírica deste método. A descoberta do foco do problema é baseada em uma reunião de grupo focal. O método foi avaliado em quatro organizações de médio porte. Ao final do artigo, o método foi avaliado como de útil e de fácil uso. Além disso, o método também é eficiente para descobrir oportunidades de melhoria de processo e desenvolver novas ideias de melhoria de processo. O método é composto por quatro etapas: descoberta do foco do problema; identificação da causa raiz; ação corretiva das causas e documentação dos resultados. O método não prevê a implementação e monitoramento das ações corretivas, pois seria impossível separar os efeitos do método dos fatores de contexto específicos das empresas.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
O processo de coleta ocorre a partir de uma reunião de grupo focal, onde é definido o foco do problema e ocorre a seleção dos participantes para o workshop de análise de causa. Dentre as informações coletadas sobre um determinado problema, destacam-se: impacto, efeitos adversos do problema, dificuldades de prevenção, esforço da companhia para prevenção, impacto para usuários finais, impacto interno, experiência técnica com o problema, conhecimento do impacto do problema nos usuários finais.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A identificação da causa raiz ocorre por meio de duas fases: Na primeira, após o levantamento das causas dos problemas pelos participantes do workshop, no mínimo cinco causas são coletadas para um único problema. Essas causas que são coletadas dão origem a um diagrama de causa e efeito inicial. Na segunda, o diagrama é refinado em causas e subcausas e o facilitador seleciona as entidades de causa mais importantes para serem analisadas no workshop. Durante o workshop, os participantes escrevem as causas dos problemas em papel (*post-it*) e apresentam as causas levantadas em uma sessão de *brainstorming*. A identificação da causa raiz é realizada a partir da construção de um grafo onde as causas são estruturadas com base nos relacionamentos de causa e efeito. O grafo deve representar uma rede de causas, onde cada causa só pode ser colocada uma única vez no grafo.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
Não foi identificado nenhum procedimento.	
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?	
As ações corretivas são avaliadas por todos os participantes do workshop, que avaliam cada ação em uma	

escala de 1 a 5 com relação ao impacto do problema e a viabilidade da correção. A priorização para o tratamento ocorre em função desta avaliação.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Coleta das informações do problema
2) Identificação da causa raiz
3) Levantamento das ações corretivas
4) Avaliação das ações corretivas
5) Documentação dos resultados da análise

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- Segundo o autor, existem dois tipos de abordagens para identificação da causa raiz: as abordagens públicas e as abordagens anônimas. Para ele, ambas são importantes para a identificação da causa raiz. O anonimato encoraja os participantes a endereçarem as causas que eles acreditam que são perigosas de serem ditas, enquanto a publicidade ajuda endereçar as causas que muitos participantes consideram de alto valor;
- Os diagramas de causa e efeito dos métodos de análise de causa identificados anteriormente apresentam um problema de duplicação da mesma causa, caso esta causa represente mais que uma causa. Card (1998) recomenda o uso do Diagrama de Ishikawa, justificando a sua simplicidade. Entretanto, utilizar o Diagrama de Ishikawa não resolve o problema de duplicidade. O problema também persiste quando uma árvore lógica é utilizada, a qual é recomendada por Latino e Latino (2006). Rooney e Heuvel (2004) recomendam o uso de um diagrama de sequência seguido por um diagrama de decisão. Infelizmente, o diagrama de sequência também contém o problema de duplicidade e o diagrama de decisão inclui o desafio de identificar a causa correta do problema antecipadamente, dado que o foco do problema pode variar;
- Ammerman (1998) sugere que a estruturação da causa do problema possa ser feita com ferramentas visuais como listas, planilhas e gráficos. Provavelmente muitas causas serão identificadas após serem visualizadas com essas ferramentas, entretanto, o problema de duplicação dos problemas poderá ocorrer;
- O artigo prevê uma avaliação do próprio método para melhoria;
- Segundo o autor, na Engenharia de Software há pouco conhecimento prático sobre como a causa dos problemas são detectadas e prevenidas e o que é requerido para isso.

Dados da publicação	
Título:	Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control
Autor (es):	Alaeddini A., Dogan I.
Data da publicação:	2011
Referência completa:	Alaeddini, A., Dogan, I. (2011) "Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control", Expert Systems with Applications, Volume 38, Issue 9, September 2011, Pages 11230-11243

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma rede para capturar o relacionamento de causa e efeito entre padrões gráficos, informações de processo e possíveis causas raiz ou causas atribuíveis. Esta rede foi treinada sob um *framework* de redes Bayesianas e uma estrutura de dados sugerida, utilizando informações de processo e padrões gráficos. O método provê uma identificação em tempo real de uma ou múltiplas causas atribuíveis de falhas, bem como alarmes falsos, enquanto aperfeiçoa o seu próprio desempenho pela aprendizagem com os erros.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A partir dos padrões gráficos e das informações de processo, ocorre a coleta dos dados de execução dos processos relacionados.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

A identificação das causas ocorre por meio da rede Bayesiana proposta. Sempre que uma condição fora de controle é detectada, dada a informação do processo e o padrão observado relacionado a falha, a probabilidade de ocorrência para cada possível causa raiz pode ser calculada pela rede bayesiana.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
As causas dos problemas foram classificadas em: homem, máquina, material, método, medida e ambiente.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
O *framework* gera uma lista das causas raiz mais importantes e a probabilidade de ocorrência de cada uma delas.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos dados de execução do processo 2) Análise da causa 3) Armazenamento dos dados de análise
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas de processo em uma fábrica de sistemas de telecomunicação.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	"Defect root-cause analysis and 1+n procedure" technique to improve software quality
Autor (es):	Honda N., Yamada S.
Data da publicação:	2012
Referência completa:	Honda N., Yamada S. (2012) “"Defect root-cause analysis and 1+n procedure" technique to improve software quality”, International Journal of Systems Assurance Engineering and Management Volume 3, Issue 2, June 2012, Pages 111-121
Resumo da publicação	
O artigo apresenta uma técnica para detectar defeitos de software por meio de análise de causa de defeito. Esta técnica compõe um software de gerenciamento de qualidade denominado "Quality Accounting". A técnica é projetada para o Modelo V de processo de desenvolvimento de software. A técnica é projetada para analisar a causa raiz de um defeito de software e detectar defeitos do mesmo tipo utilizando a informação das causas raiz. "Defeitos do mesmo tipo" são definidos como defeitos de software latentes que estão escondidos e foram introduzidos pela mesma causa raiz específica do defeito de software originalmente encontrado.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Os dados do problema são catalogados em uma planilha, denominada de planilha de Análise de Causa de Defeitos, que consolida, dentre outras informações: criticidade do problema, categoria, localização, detalhes da causa de defeito introduzido ou negligenciado.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A identificação da causa raiz ocorre a partir da consolidação dos dados do problema na planilha de Análise de Causa Raiz de Defeitos. Uma vez consolidados os dados, ocorre uma análise de cada fator e a sua correlação com uma determinada causa. Primeiramente identifica-se o processo onde o defeito foi introduzido, em seguida, são investigados os fatores que levaram a introdução do defeito. Neste momento, a base de dados de conhecimento pode ser utilizada. Os fatores são investigados à medida que forem sendo identificados com o apoio da planilha. Em um segundo momento, verifica-se a extensão dos impactos das causas raiz. Neste momento, são propostas sugestões de melhoria para os problemas identificados.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
As causas raiz estão limitadas aos seguintes tipos:	

- Causas de defeito introduzido (causa tecnológica ou procedural)
- Causas de defeito negligenciado durante a revisão
- Causas de defeito negligenciado durante o teste

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Seleção dos dados a partir da planilha da Análise de Causa de Defeitos
2) Análise de causa a partir dos dados da planilha
3) Elaboração das propostas de melhoria
4) Implementação das melhorias
5) Avaliação dos resultados das melhorias
6) Armazenamento dos dados da análise de causa

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de desenvolvimento de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- A técnica deve ser aplicada apenas a problemas realmente importantes.
- O termo "defeito de software" é equivalente a "falha" definido como "uma condição anormal que pode causar uma redução, ou perda, da capacidade de uma unidade funcional desempenhar uma função requerida" (ISSO/IEC 2382-14).
- A causa raiz de um defeito consiste em dois tipos de causa, causa raiz específica e causa raiz comum. A causa raiz específica é uma causa direta de um defeito introduzido e negligenciado. Exemplo: falta de dados de engenharia ou erros de testes causados por falhas na especificação do projeto. A causa raiz comum é uma causa indireta de um defeito introduzido e negligenciado. Exemplo: falta de treinamento, padrões organizacionais inadequados, etc. Se ações específicas para uma causa raiz específica de um defeito são executadas, o defeito não será introduzido e negligenciado. Mas ações específicas para uma causa raiz comum não garantem o mesmo resultado, apenas reduzem a probabilidade de ocorrência do defeito.
- A técnica "5 whys" ou "why-why analysis" é aplicável para análise de causa raiz em diversas áreas. Os objetivos da técnica variam bastante, dependendo da sua aplicação. Existem diversas causas raiz para serem identificadas e a técnica "5 whys" necessita de um objetivo específico para alcançar a real causa raiz, caso contrário, encontrará diversas causas incluindo causas específicas e causas comuns. Quando utilizam essa técnica, os usuários necessitam constantemente estarem atentos aos objetivos a serem alcançados, em vez de simplesmente questionarem repetidamente a fim de alcançar a real causa raiz.
- Algumas medidas podem ser aplicadas a fim de melhorar a técnica: prover treinamento; apoiar à equipe da garantia da qualidade; revisão dos resultados pela alta direção; compartilhar os resultados das implementações com todos os membros da organização.

Dados da publicação	
Título:	Fault diagnosis and cause analysis using fuzzy evidential reasoning approach and dynamic adaptive fuzzy Petri nets
Autor (es):	Liu H. C., Lin Q. L., Ren M. L.
Data da publicação:	2013
Referência completa:	Liu H. C., Lin Q. L., Ren M. L. (2013) “Fault diagnosis and cause analysis using fuzzy evidential reasoning approach and dynamic adaptive fuzzy Petri nets”, Computers and Industrial Engineering, Volume 66, Issue 4, 2013, Pages 899-908.

Resumo da publicação

O artigo apresenta um modelo para diagnóstico de falha e análise de causa utilizando a abordagem *fuzzy* evidential reasoning (FER) e redes dinâmicas adaptativas difusas de Petri (DAFPNs). O diagnóstico de falha e a análise de causa é aplicada quando uma informação é incerta, incompleta e desconhecida. O modelo foi aplicado de forma exemplificativa em um sistema de diagnóstico de falha de turbina de aeronave.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

A coleta dos dados, relacionados ao desempenho da turbina avaliada, foi realizada pelo modelo FER, responsável também por consolidar os domínios de conhecimento.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
A identificação da causa raiz ocorre por meio do modelo reversed DAFPN, utilizado para análise de causa retroativa. Este modelo prediz as consequências potenciais dos eventos anormais do problema. Em seguida, o modelo RADFPN é utilizado na análise de causa retroativa dos problemas.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coletar dados 2) Identificar a causa raiz 3) Implementar as ações propostas
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Dados lógicos do desempenho da turbina.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
O modelo apresentado tem um ótimo potencial de utilização em tempo real e serve para ajudar os operadores de sistemas em situações de emergência e para a automatização do sistema.

Dados da publicação	
Título:	A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams
Autor (es):	Lehtinen T.O.A., Virtanen R., Viljanen J.O., Mäntylä M.V., Lassenius C.
Data da publicação:	2014
Referência completa:	Lehtinen, T.O.A., Virtanen, R., Viljanen, J.O., Mäntylä, M.V., Lassenius, C. (2014a) "A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams", Information and Software Technology, Volume 56, Issue 4, April 2014, Pages 408-437.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta um software de tempo real baseado na nuvem desenvolvido para prover Análise de Causa Raiz no contexto de uma retrospectiva de projeto com equipes distribuídas. A ferramenta foi comparada com mais de 35 ferramentas e nenhuma delas atendeu todas as funcionalidades do ARCA-tool. A aplicação permite colaboração em tempo real, expressa por meio das etapas de: criação dos diagramas de causa e efeito; desenvolvimento de melhorias para os problemas; votação nas causas mais severas e nas melhores ideias de melhoria. O software também suporta o compartilhamento de conhecimento organizacional.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
A coleta dos dados ocorre em uma reunião de retrospectiva de projeto, onde os membros da equipe elencam os problemas que ocorreram durante o período analisado. Com base nessa listagem, obtida por meio de questionários, entrevistas e observações, combinadas com gravação de vídeos, os problemas são selecionados.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
A análise de causa é realizada com o auxílio da ferramenta, a qual modela as relações de causa e efeito que permeiam o problema em uma estrutura de grafo. Esta ferramenta permite que os participantes entrem com os problemas, as causas e as relações de causa e efeito do diagrama. Assim, os membros da equipe modelam o grafo e avaliam os relacionamentos de causa e efeito constituídos.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
A ferramenta prevê a classificação dos problemas em duas dimensões: áreas de processo e tipos de causa.	

A dimensão referente às áreas de processo refere-se às áreas de desenvolvimento relacionadas ao problema:

- Teste
- Requisitos
- Gerenciamento
- Equipe do projeto

Os tipos de causa referem-se aos seguintes tipos:

- Recursos
- Valores
- Output
- Cooperação

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

As causas e as ideias de melhoria de processo passam por um processo de votação pelos membros da equipe, a fim de que as iniciativas para tratamento do problema sejam priorizadas. A votação ocorre por meio de um "like" ou "dislike" em cada causa e iniciativa.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Reunião de retrospectiva
2) Coleta dos dados
3) Análise da Causa Raiz
4) Desenvolvimento das propostas de melhoria
5) Armazenamento dos dados de análise na base de dados

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de projeto de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- Análise de Causa Raiz (RCA) é uma prática usual em retrospectivas de projeto de software e é tipicamente realizado em reuniões síncronas realizadas pessoalmente.
- Retrospectivas, também conhecidas como *post-mortens*, são atividades onde os membros do time compartilham experiências sobre problemas e suas causas, analisando um projeto encerrado recentemente e/ou uma iteração. A análise de causa raiz é uma investigação estruturada de um problema para detectar quais causas endereçadas devem ser resolvidas e uma prática usual para retrospectivas. Retrospectivas são normalmente conduzidas em reuniões presenciais, em que os membros da equipe primeiramente identificam os problemas que ocorreram. Em seguida, eles conduzem uma análise de causa raiz de forma colaborativa criando um diagrama de causa e efeito para visualização da causa dos problemas.
- A chave para prevenção de problemas de maneira efetiva é o controle da causa dos problemas, dado que um problema não pode ser resolvido sem a resolução das suas causas. Retrospectivas são um meio para auxiliar a identificação e a prevenção da recorrência de problemas que ocorreram em projetos prioritários. Nessas retrospectivas, os membros da equipe compartilham experiências sobre os problemas e as suas causas.
- Uma retrospectiva de projeto de software pode ser vista como um processo passo-a-passo: primeiramente os problemas referentes ao projeto, iteração ou entrega, são identificados; em seguida, os participantes colaboram para o processo de identificação da causa raiz por meio de um método de RCA; ao identificar as causas dos problemas, ideias para a melhoria do processo são desenvolvidas.
- As retrospectivas devem ser leves, mas sob restrições de orçamentos e tempo, raramente são conduzidos.

Dados da publicação	
Título:	Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships
Autor (es):	Lehtinen T.O.A., Mäntylä M.V., Vanhanen J., Itkonen J., Lassenius C.
Data da publicação:	2014

Referência completa:	Lehtinen, T.O.A., Mäntylä, M.V., Vanhanen, J., Itkonen, J., Lassenius, C. (2014b) "Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships", Information and Software Technology, Volume 56, Issue 6, June 2014, Pages 623-643.

Resumo da publicação

O artigo apresenta uma análise das falhas de projetos de software em quatro empresas de software a fim de entender a causa das falhas e os seus relacionamentos. A causa das falhas foi identificada por meio do método ARCA para análise de causa raiz.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?

Tal qual LEHTINEN *et al.* (2014a).

Como ocorre a identificação da causa raiz?

Tal qual LEHTINEN *et al.* (2014a).

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

O sistema de classificação incluía as seguintes dimensões para classificação das causas: Área de processo, tipo, interligação e viabilidade.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Tal qual LEHTINEN *et al.* (2014a).

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Descoberta do foco do problema
2) Identificação da causa raiz
3) Ação corretiva das causas
4) Documentação dos resultados

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas de software.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- A análise dos relacionamentos entre causas ajuda a desenvolver ideias efetivas e viáveis para melhoria de processo de software bem como permite extrair os relacionamentos de causa e efeito que podem ser utilizados na melhoria de processo.
- Análise de causa raiz tem sido apresentada como uma parte lógica das retrospectivas e atividades de prevenção de defeitos. Nas atividades de prevenção de defeitos, a análise de causa raiz tem sido utilizada para detectar a causa dos defeitos de vários processos da companhia, ao passo que nas retrospectivas, a análise de causa raiz tem sido utilizada para detectar a causa dos problemas internos para que a equipe do projeto consiga melhorar as práticas de trabalho.

Dados da publicação	
Título:	Root cause analysis in multivariate statistical process monitoring: Integrating reconstruction-based multivariate contribution analysis with fuzzy-signed directed graphs
Autor (es):	He B., Chen T., Yang X.
Data da publicação:	2014
Referência completa:	He B., Chen T., Yang X. (2014) "Root cause analysis in multivariate statistical process monitoring: Integrating reconstruction-based multivariate contribution analysis with fuzzy-signed directed graphs", Computers and Chemical Engineering, Volume 64, 7 May 2014, Pages 167-177.

Resumo da publicação

O artigo apresenta um método para análise de causa raiz integrando uma análise multivariável com gráficos gerados a partir de lógica *fuzzy* (SDG – *Signed Directed Graph*). A determinação do efeito de cada falta é realizada por um *framework* denominado PRBMCA (*penalty term for variable reconstruction*), o qual isola as variáveis faltosas com os efeitos correspondentes.

A lógica *fuzzy* é utilizada para construir o relacionamento de causa e efeito entre os nós e auxiliar a identificação da causa raiz.

Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
O processo de coleta contemplou um conjunto de 38 variáveis e as respectivas falhas operacionais. A seleção dos dados ocorreu a partir da definição dessas variáveis.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
O SDG, o qual utiliza a lógica *fuzzy*, representa os relacionamentos de causa e efeito das variáveis analisadas e serve como base para a identificação da causa raiz. O SDG consiste de nós e arcos os quais representam, respectivamente, as variáveis e os relacionamentos de causa e efeito. Cada variável recebe um status qualitativo (+ ou -) que varia em função do valor normal.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
O *framework* isola as variáveis analisadas para que o algoritmo possa se concentrar apenas nas variáveis mais influentes. Dessa forma, essas variáveis isoladas serão priorizadas para a análise.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos dados 2) Avaliação das variáveis para análise 3) Análise da causa raiz
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Não foi identificado nenhum contexto específico, apenas foi utilizado um problema hipotético para validar o método.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	A method for root cause analysis with a Bayesian belief network and fuzzy cognitive map
Autor (es):	Wee Y. Y., Cheah W. P., Tan S. C., Wee K.
Data da publicação:	2015
Referência completa:	Wee Y. Y., Cheah W. P., Tan S. C., Wee K. (2015) "A method for root cause analysis with a Bayesian belief network and fuzzy cognitive map", Expert Systems with Applications, Volume 42, Issue 1, January 2015, Pages 468-487.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta um método para análise de causa raiz utilizando Redes Bayesianas (BBN) e Mapa Cognitivo Fuzzy (FCM). A BBN é utilizada para a construção do modelo causal da base de dados, além disso, prediz as descobertas futuras e identifica a causa raiz. A FCM é um método que apresenta o peso de cada causa de maneira mais intuitiva. É apresentado um teste experimental das ferramentas, a teoria desses algoritmos e um estudo de caso. O estudo de caso foi baseado em um problema de partida em um automóvel.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Foi utilizado um conjunto de 18 variáveis, para as quais haviam 9999 instâncias armazenadas na base de dados. Os dados eram relacionados aos possíveis problemas que impactam a partida do carro.	
Como ocorre a identificação da causa raiz?	
Primeiramente ocorreu a construção do modelo causal com o BBN, o qual estrutura as relações de causa e efeito das variáveis. Uma vez estruturada as relações entre cada variável, a rede bayesiana é utilizada para identificar a causa raiz a partir da mudança da probabilidade de uma variável de interesse.	
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?	
As categorias de problema estão relacionadas às partes mecânicas de um automóvel.	
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?	
Não foi identificado nenhum procedimento.	
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?	

1) Coleta dos dados da base de dados 2) Análise da causa raiz a partir das instâncias analisadas
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas que impedem a partida de um carro.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
– A Análise de Causa Raiz é capaz de identificar os relacionamentos de causa e efeito de um conjunto de eventos e realizar diagnóstico e prognósticos. Diagnóstico significa encontrar a causa e prognóstico significa predizer o efeito.

Dados da publicação	
Título:	Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis
Autor (es):	Zawawy H., Mankovskii S., Kontogiannis K., Mylopoulos J.
Data da publicação:	2015
Referência completa:	Zawawy H., Mankovskii S., Kontogiannis K., Mylopoulos J. (2015) "Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis", The Art and Science of Analyzing Software Data, September 01, 2015, Pages 519-554.
Resumo da publicação	
O artigo apresenta uma abordagem para análise de causa raiz baseada no uso de modelos de requisitos (*goal models*) para capturar os relacionamentos de causa e efeito, e uma abordagem de raciocínio probabilístico para lidar com os logs de dados e observações parciais ou incompletos. O *framework* é composto por três fases: Modelagem do Sistema, Geração da Observação, Diagnóstico. Primeiramente os *goal models* foram utilizados para indicar as condições, restrições, ações e tarefas que um sistema deve atender para cumprir com seus requisitos. Similarmente, *antigoal models* foram utilizados para indicar as condições, restrições, ações e tarefas que podem ser executadas por um agente externo a fim de invalidar ou ameaçar os requisitos funcionais e não funcionais de um sistema. Esses modelos representam as relações de causa e efeito e provêm os significados para o diagnóstico do sistema observado. Os nós desses modelos são anotados com um padrão de expressões. Esses modelos são gerados na primeira fase de Modelagem do Sistema. A fase de Geração da Observação é iniciada a partir da identificação de um comportamento inesperado do sistema. Nesta fase, as anotações são utilizadas, primeiramente, como *queries* no processo de recuperação das informações baseadas na LSI para reduzir o volume dos logs considerados para cada nó. Em segundo lugar, estas anotações são utilizadas como padrões para inferir se as pré-condições, ocorrências e pós-condições de cada nó foram satisfeitas. A estrutura permite que um processo de transformação seja aplicado para que uma base de regras possa ser gerada a partir dos modelos especificados. O processo de transformação também permite a geração de fatos de observação do log de dados obtidos. A base de regra e a base de fato formam uma base de conhecimento de diagnóstico completa, para uma sessão particular. Na fase de Diagnóstico, o *framework* utiliza um mecanismo de raciocínio probabilístico baseado no conceito de Redes Lógicas de Markov. Neste contexto, o uso de um mecanismo de raciocínio probabilístico é importante porque permite que a inferência comece mesmo na presença de dados de registro incompletos ou parciais e classifique as causas raiz obtidas por seus valores de probabilidade ou verossimilhança.	
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?	
Na primeira fase os administradores do sistema geram um conjunto de modelos para representar os requisitos da aplicação monitorada. Nesta fase são utilizados os *goal* e *antigoal models*. Estes modelos são transformados em um conjunto de regras, formando uma base de diagnóstico de regras. Os nós dos *goal* e *antigoal models* são anotados com informações adicionais que representam pré-condições, pós-condições e restrições de ocorrência para cada um dos nós. O processo de coleta ocorre durante a fase de Geração da Observação. Nesta fase as anotações dos modelos	

correspondentes à falha são transformadas em *queries* para extrair as informações de log do evento. Essas informações, caso não estejam estruturadas, passam por um processo de análise semântica (LSI) que identifica os relacionamentos entre termos e conceitos de um conjunto de dados não-estruturados. Em seguida, são armazenadas em uma base de conhecimento de diagnóstico.

Como ocorre a identificação da causa raiz?

Quando uma falha é observada, os *goal* e *antigoal models* dos nós correspondentes à falha são analisados a fim de identificar as tarefas e ações que poderiam explicar a falha observada. Todos os logs correspondentes à falha são compilados em uma base de conhecimento. O processo de raciocínio, baseado em Redes Lógicas de Markov, é aplicado nesta base de conhecimento para identificar a causa raiz por meio da inferência das relações de causa e efeito entre cada evento.

A confiança em uma causa raiz aumenta quando, tanto o *goal model* como o *antigoal model*, sustentam esta hipótese de causa raiz. O nível de confiança é computado como parte do processo de raciocínio lógico de Markov, combinado com as regras ponderadas aprendidas das observações passadas, proporcionando assim um nível de treinamento no processo de raciocínio.

Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?

Não foi identificado nenhum procedimento.

Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?

Ao final da fase de diagnóstico, o processo de raciocínio baseado nas redes lógicas de Markov gera uma lista ordenada indicando as tarefas/componentes mais prováveis de serem a causa raiz.

Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?

1) Modelagem do Sistema
2) Geração da Observação (Coleta)
3) Diagnóstico (Análise da causa raiz)
4) Armazenamento dos dados

Qual o contexto de aplicação do estudo?

Problemas em sistemas de informação.

Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?

- A falha pode ser definida como qualquer desvio do comportamento esperado de um sistema observado, enquanto o erro pode ser referenciado como um bug de software ou uma má configuração do sistema.
- As abordagens de análise de causa raiz podem ser classificadas dentro de três categorias: baseadas em regras, probabilística, e abordagens baseadas em modelos.
- Abordagens baseadas em regras: Utiliza regras para capturar o domínio de conhecimento do ambiente de TI monitorado. O conjunto de regras é definido manualmente pelos administradores do sistema, ou automaticamente por meio de métodos de aprendizagem de máquina aplicados nos dados passados.
- Abordagens probabilísticas: Estas abordagens focam na modelagem dos relacionamentos de causa e efeitos entre os componentes de TI utilizando probabilidades para representar os possíveis efeitos de um componente no outro. Exemplo: Redes Bayesianas.
- Abordagens baseadas em modelos: Estas técnicas compilam um modelo de representação do comportamento normal de um sistema e detecta anomalias quando o comportamento observado não está aderente ao modelo. Os modelos denotam o comportamento e estrutura do sistema para anotar o código fonte em tempo de projeto. Em tempo de execução, os dados de log são comparados com os modelos de tempo de projeto a fim de inferir possíveis causas raiz.

Dados da publicação	
Título:	Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery
Autor (es):	Donauer M., Peças P., Azevedo A.
Data da publicação:	2015
Referência completa:	Donauer M., Peças P., Azevedo A. (2015) "Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery", Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, Volume 36, 11 July 2015, Article number 1308, Pages 84-92.

Resumo da publicação
O artigo apresenta uma metodologia para identificar máquinas específicas dentro do processo de manufatura que podem ser a origem de não-conformidades. Foi apresentado um estudo de caso em uma indústria automotiva, na qual foi avaliado a qualidade dos produtos de um determinado processo a fim de identificar as máquinas responsáveis pelos produtos não-conformes. O método auxilia na identificação das causas raiz por meio da análise de um conjunto de dados utilizando KDD.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
Os dados de produção coletados foram: máquina, operador, tempo de produção e data.
Como ocorre a identificação da causa raiz?
Após a coleta e identificação dos dados, as informações são agrupadas conforme os padrões identificados. Após a seleção de uma determinada não-conformidade, ela é analisada por meio de um diagrama de causa e efeito (Ishikawa).
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
Não foi identificado nenhum procedimento.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Coleta dos dados 2) Identificação de padrões 3) Análise de causa 4) Armazenamento dos dados da análise em base histórica
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas em linhas de produção composta por múltiplas máquinas.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

Dados da publicação	
Título:	Online root-cause performance analysis of parallel applications
Autor (es):	Sikora A., Margalef T., Jorba J.
Data da publicação:	2015
Referência completa:	Sikora A., Margalef T., Jorba J., 2015, “Online root-cause performance analysis of parallel applications”, Parallel Computing, Volume 48, 9 July 2015, Pages 81-107.

Resumo da publicação
O artigo apresenta uma abordagem sistemática para análise online da causa raiz de desempenho. A análise automatizada utiliza um modelo online para identificar os problemas de desempenho mais importantes e correlacioná-los com o código fonte da aplicação. A técnica é capaz de descobrir dependência causal entre os problemas, inferir as causas raiz e explicá-las para os desenvolvedores. Em todos os cenários o modelo permitiu o entendimento do comportamento das aplicações, avaliar o desempenho e localizar a causa dos problemas sem o conhecimento específico das aplicações internas. A análise de desempenho é realizada em tempo de execução e baseada no modelo continuamente atualizado. Os problemas de desempenho podem ser identificados de maneira mais rápida do que em uma abordagem *post mortem*.
Como ocorre o processo de coleta dos indícios relacionados ao problema?
Periodicamente são coletados dados de execução (dados de comunicação e atividades computacionais) da aplicação para avaliação posterior do desempenho. A partir desses dados são identificados os gargalos de desempenho mais severos e a sua localização nas aplicações.
Como ocorre a identificação da causa raiz?

Uma análise é realizada de maneira individual em cada problema pela aplicação da base de conhecimento de ineficiência. A busca pela causa raiz é realizada pela comparação do fluxo de execução concorrente seguido pelas tarefas de comunicação, verificando as diferenças. Isto permite correlacionar os diferentes problemas de desempenho nos relacionamentos causais e distinguir a geração de ineficiências (causa raiz) da propagação (sintoma). Uma árvore causal é criada para cada categoria de problema, cada nó da árvore possui um peso em função da sua contribuição para a causa do problema.
Qual o procedimento utilizado para categorizar os problemas?
Os problemas foram categorizados em: problemas de comunicação e atividade computacional.
Qual o procedimento utilizado para priorizar a análise e/ou tratamento dos problemas?
O software identifica os problemas mais severos a fim de priorizá-los para a análise.
Quais os passos devem ser seguidos desde a coleta até o tratamento dos problemas?
1) Identificação dos gargalos de desempenho 2) Análise de causa de cada problema 3) Atualização do código da aplicação 4) Avaliação do código alterado com o código original
Qual o contexto de aplicação do estudo?
Problemas de desempenho de aplicação.
Quais são as lições aprendidas e/ou recomendações elencadas?
Não foi identificado nenhuma lição/recomendação relevante.

I.3. Referências

ALAEDDINI, A., DOGAN, I., 2011, "Using Bayesian networks for root cause analysis in statistical process control", *Expert Systems with Applications*, Volume 38, Issue 9, September 2011, Pages 11230-11243.

BASILI, V.R., CALDIERA, G., ROMBACH, H.D., 1994, "The Experience Factory". In: Marciniak, J.J. (ed), *Encyclopedia of Software Engineering*, vol. 1, New York, John Wiley & Sons.

BJORNSON, F. O., WANG, A. I., AND ARISHOLM E., 2009, "Improving the Effectiveness of Root Cause Analysis in Post Mortem Analysis: A Controlled Experiment." *Information and Software Technology 51*(1): 150-161.

CARD, D. N., 2005, "Defect Analysis: Basic Techniques for Management and Learning". *Advances in Computers*. 65: 259-295.

COLLOFELLO, J., GOSALLA, B., 1993, "Application of Causal Analysis to the Software Modification Process", *Software Practice and Experience*, 23(10), pp. 1095–1105.

DEW, J. R., 1991, "In Search of the Root Cause". *Quality Progress*, vol. 24, n. 3, pp. 97-102.

DONAUER M., PEÇAS P., AZEVEDO A., 2015, “Identifying nonconformity root causes using applied knowledge discovery”, *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, Volume 36, 11 July 2015, Article number 1308, Pages 84-92.

DORSCH, J. J., YASIN M. M., CZUCHRY A., 1997, "Application of Root Cause Analysis in a Service Delivery Operational Environment: a Framework for Implementation." *International Journal of Service Industry Management 8*(4): 268-289.

ENDRES, A., 1975, “An Analysis of Errors and their Causes in System Program”, *IEEE Transactions on Software Engineering*, SE-1, pp. 140-149.

ECKERT, C., HUGHES, B., 2010, "The Root of the Cause", *Industrial Engineer*, vol. 42(2), pp. 38-43, February.

GONÇALVES, F., BEZERRA, C., BELCHIOR, A., COELHO, C., PIRES, C., 2008, “Implementing Causal Analysis and Resolution in Software Development Projects: The MiniDMAIC Approach”, *IEEE Computer Society*, 19th Australian Conference on Software Engineering, pp. 112-119.

GRADY, R. B., 1996, “Software Failure Analysis for High return Process Improvement Decisions”, *Hewlett-Packard Journal*, v. 47, n. 4, pp. 15 – 24, August.

GUPTA, A., LI. J., CONRADI R., RONNEBERG, H., LANDRE, E., 2009, "A Case Study Comparing Defect Profiles of a Reused Framework and of Applications Reusing it.", *Empirical Software Engineering 14*(2): 227-255.

HE B., CHEN T., YANG X., 2014, “Root cause analysis in multivariate statistical process monitoring: Integrating reconstruction-based multivariate contribution analysis with fuzzy-signed directed graphs”, *Computers and Chemical Engineering*, Volume 64, 7 May 2014, Pages 167-177.

JAYSWAL, A.A, LI, X.A, ZANWAR, A.A, LOU, H.H.A, HUANG, Y., 2011, “A sustainability root cause analysis methodology and its application”, *Computers and Chemical Engineering*, Volume 35, Issue 12, 14 December 2011, Pages 2786-2798.

JIN, Z. X., HAJDUKIEWICZ, J., HO, G., CHAN, D., KOW, Y., 2007, “Using Root Cause Data Analysis for Requirements and Knowledge Elicitation”. *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 4562 LNAI: 79-88.

JOHNSON, C., 2003, “The Application of Causal Analysis Techniques for Computer-Related Mishaps”. *Lecture Notes in Computer Science* (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics). 2788: 368-381.

KALINOWSKI, M., TRAVASSOS, G. H., CARD, D. N., 2008, “Towards a Defect Prevention Based Process Improvement Approach”, *34th Euromicro Conference on Software Engineering and Advanced Applications* (SEAA), 199-206, Parma, Italy.

KIM, S., AURISICCHIO, M., WALLACE, K., 2008, "Towards Automatic Causality Boundary Identification from Root Cause Analysis Reports." *Journal of Intelligent Manufacturing*: 1-11.

LATINO, R. J., 2005, “The Application of PROACT® RCA to Terrorism/Counter Terrorism Related Events”. *Lecture Notes in Computer Science*.

LESZAK, M., PERRY, D., STOLL, D., 2000, “A Case Study in Root Cause Defect Analysis”, in '*International Conference on Software Engineering*, ICSE 2000', pp. 428-437.

LESZAK, M., PERRY, D. E., STOLL, D., 2002, “Classification and Evaluation of Defects in a Project Retrospective”, *Journal of Systems and Software*, 61(3), 173 – 187.

LEHTINEN, T.O.A., MÄNTYLÄ, M.V., VANHANEN, J., 2011, “Development and evaluation of a lightweight root cause analysis method (ARCA method) - Field studies at four software companies”, *Information and Software Technology*, Volume 53, Issue 10, October 2011, Pages 1045-1061.

LEHTINEN, T.O.A., VIRTANEN, R., VILJANEN, J.O., MÄNTYLÄ, M.V., LASSENIUS, C., 2014a, “A tool supporting root cause analysis for synchronous retrospectives in distributed software teams”, *Information and Software Technology*, Volume 56, Issue 4, April 2014, Pages 408-437.

LEHTINEN, T.O.A., MÄNTYLÄ, M.V., VANHANEN, J., ITKONEN, J., LASSENIUS, C., 2014b, “Perceived causes of software project failures - An analysis of their relationships”, *Information and Software Technology*, Volume 56, Issue 6, June 2014, Pages 623-643.

MAYS, R. G., JONES, C. L., HOLLOWAY, G. J., STUDINSKI, D. P., 1990, “Experiences with Defect Prevention”, *IBM System Journal*, v. 29, n. 1, pp. 4-32.

ROONEY, J. J., HEUVEL, L. N. V., 2004, "Root Cause Analysis for Beginners." *Quality Progress* 37(7): 45-53.

SCHOTS, N. C. L., 2010, *Uma Abordagem para a Identificação de Causas de Problemas Utilizando Grounded Theory*. Dissertação de M.Sc., Programa de Engenharia de Sistemas e Computação, UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, Brasil.

SIKORA A., MARGALEF T., JORBA J., 2015, “Online root-cause performance analysis of parallel applications”, *Parallel Computing*, Volume 48, 9 July 2015, Pages 81-107.

SEI, 2010, *CMMI for Development*, Versão 1.3, Pittsburg, Software Engineering Institute.

SHENVI, A. A., 2009, “Defect Prevention with Orthogonal Defect Classification”. *Proceedings of the 2nd India Software Engineering Conference*, ISEC 2009.

SOFTEX, 2016, *Guia Geral MPS de Software*, SOFTEX - Associação para Promoção da Excelência do Software Brasileiro. Disponível em: http://www.softex.br/mpsbr/guia-geral-de-software/

ZAWAWY H., MANKOVSKII S., KONTOGIANNIS K., MYLOPOULOS J., 2015, “Mining Software Logs for Goal-Driven Root Cause Analysis”, *The Art and Science of Analyzing Software Data*, September 01, 2015, Pages 519-554.

APÊNDICE II – Procedimentos para Desenvolvimento dos Processos de Pensamento

Este apêndice descreve os procedimentos e os conceitos básicos que devem ser levados em consideração durante o desenvolvimento dos Processos de Pensamento da Teoria das Restrições que fundamentam o método CARTOC.

II.1 – Termos Básicos

Os relacionamentos que constituem os Processos de Pensamento podem ser de dois tipos, conforme exposto na Figura 12 (COX III e SCHLEIER, 2013):

- **Causa Suficiente:** baseia-se no relacionamento de causa e efeito para representar a existência de causalidade entre as entidades. Observa-se esse relacionamento quando uma entidade (causa) é suficiente para a existência de uma outra entidade (efeito).
- **Condição Necessária:** baseia-se no relacionamento de necessidade, onde verifica-se quais entidades são necessárias (condição necessária) para que uma outra entidade exista (objetivo).

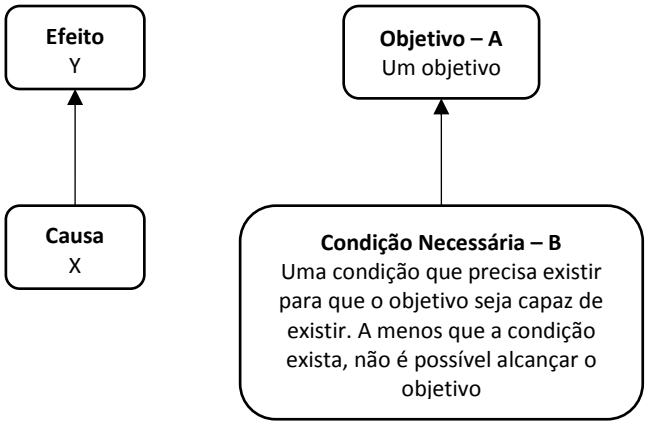


Figura 12 – Ilustração dos relacionamentos de suficiência – entre X e Y – e necessidade – entre A e B (adaptado) (COX III e SCHLEIER, 2013)

Os elementos utilizados para a criação das Árvores da Realidade Atual (ARA), Árvore da Realidade Futura (ARF) e Árvore de Transição (AT), dado que são construídas com base no relacionamento de Causa Suficiente, possuem características específicas que estão descritas a seguir (COSTA, 2012; COX III e SCHLEIER, 2013; DETTMER, 2007):

- **Entidade:** é a descrição de um elemento do sistema ou do processo, que pode ser uma "causa" e/ou um "efeito", expressa como uma afirmação. É representada por meio de um retângulo com bordas arredondadas.
- **Seta:** expressa o relacionamento de suficiência entre duas entidades, na qual a origem é a "causa" e o destino é o "efeito". Os "pressupostos" são os responsáveis pelo significado e existência da relação de causalidade representada pela seta.
- **Conector E (elipse):** representado por uma elipse, ou uma linha reta, ao longo das setas de causa e efeito utilizado para mostrar uma relação de "E lógico" entre várias entidades que, juntas, formam uma única causa para um efeito.
- **Causa:** representada por uma entidade (ou conjunto de entidades conectadas por um "conector E") que, dada a sua existência, será suficiente para a existência de outra entidade (efeito).
- **Efeito:** representada por uma entidade que existe como resultado de uma "causa".
- **Pressuposto:** razão e significado da existência de uma relação de causa-e-efeito (seta).
- **Ponto de entrada**: entidade que não possui uma seta (não é efeito de nenhuma entidade) como destino existente na realidade atual.
- **Injeção**: entidade que não possui uma seta como destino (não é efeito de nenhuma

entidade) e não existe na realidade atual. Utilizada apenas para simular hipoteticamente pontos de entrada. Ocorrem apenas na ARF e na AT. Representado por um retângulo.

Os elementos utilizados para os diagramas restantes, Evaporação de Nuvens (EN) e Árvore de Pré-Requisitos (APR), utilizam o relacionamento de Condição Necessária. Tais elementos estão descritos a seguir (COSTA, 2012):

- **Entidade:** representam um único elemento do sistema ou do processo. Não são expressas como uma afirmação. Os termos "deve", "pode", "precisa" e demais variações podem ser utilizados. É representada por meio de um retângulo com bordas arredondadas.
- **Seta:** expressa um relacionamento de condição básica entre duas entidades. A entidade na origem da seta é a "Condição Necessária" e o destino é o "objetivo". Toda seta existe com base em um ou mais "pressupostos".
- **Condição Necessária:** representa uma entidade considerada necessária para que outra entidade (objetivo) exista ou que a permita existir.
- **Objetivo:** uma entidade que só pode existir se, pelo menos, outra entidade (Condição Necessária) existir.
- **Pressuposto:** representa a razão para a existência do relacionamento de "Condição Necessária" (razão pela qual a entidade é requerida para que outra exista).
- **Ramo:** é representado por um agrupamento de entidades relacionadas entre si através de relacionamento de "Condição Necessária" (uma parte – galho – da árvore).

A fim de melhorar a comunicação na utilização do Processo de Pensamento, Goldratt desenvolveu um conjunto de regras lógicas, denominadas Categorias de Ressalva Legítimas (CRL), para verificar a lógica dos diagramas que são elaborados. As CRL oferecem uma metodologia precisa para a identificação de erros de raciocínio. Elas estão relacionadas com as entidades e os enunciados de um diagrama lógico (COX III e SCHLEIER, 2013).

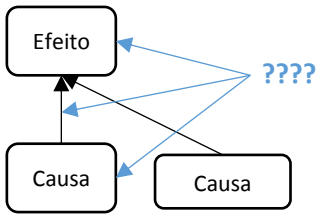
As CRL são utilizadas para verificar a consistência e completude nas correlações de causa e efeito que permeiam os relacionamentos das árvores baseadas no relacionamento de Causa Suficiente (ARA, ARF, AT). As sete CRL estão descritas a

seguir, agrupadas em três níveis, que refletem um aprofundamento da investigação da estrutura lógica (COX III e SCHLEIER, 2013):

Ressalva de nível 1

A ressalva de esclarecimento é utilizada para compreender melhor uma entidade (um enunciado lógico), a causalidade entre duas entidades ou uma área do diagrama. Dessa forma, ela é sempre a primeira ressalva a ser empregada.

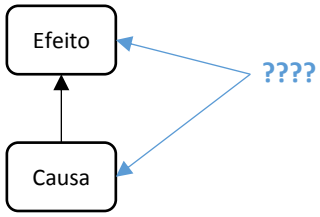
- **Esclarecimento:** solicita uma melhor compreensão da situação ao apresentador.



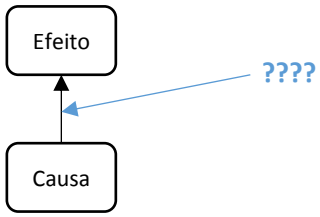
Ressalvas de nível 2

As ressalvas de existência de entidade e existência da causalidade são utilizadas para determinar se a entidade ou o enunciado em si existe ou se a relação de causalidade existe.

- **Existência de entidade:** contesta a existência na realidade da entidade de causa ou da entidade de efeito.



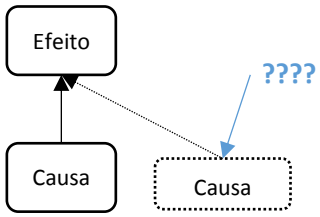
- **Existência de causalidade:** contesta a existência da causalidade entre as duas entidades, a seta causal. A entidade de causa de fato provoca a entidade de efeito?



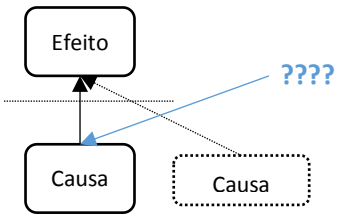
Ressalvas de nível 3

As ressalvas de nível 3 são utilizadas apenas após a aplicação dos níveis anteriores.

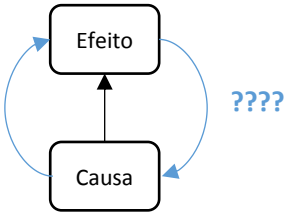
- **Causa adicional:** contesta se as principais causas da entidade de efeito foram identificadas. Deseja-se saber se existe pelo menos uma causa adicional que gera pelo menos o mesmo dano que a entidade da causa atual. Um "conector E magnitudinal" é utilizado para satisfazer essa ressalva. Neste caso, toda causa contribui independentemente para a existência do efeito. Assim, todas devem ser eliminadas para suprimir o efeito.



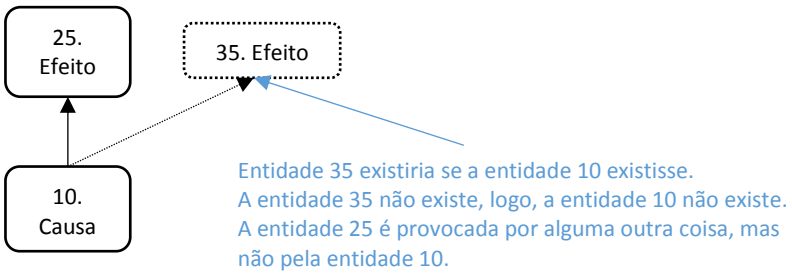
- **Insuficiência de causa:** contesta que a entidade da causa atual é por si só insuficiente para provocar a entidade de efeito, o que leva a perguntar se existe alguma outra coisa além da causal atual para criar o efeito. Um "conector E conceitual", diagramado como uma elipse ou uma linha entre as setas, normalmente é necessário para satisfazer essa ressalva.



- **Causa-efeito invertidos:** contesta o padrão de raciocínio em que a causa e o efeito parecem invertidos. Ocorre quando o apresentador confunde o "motivo" pelo qual a entidade de causa existe com o "como sabemos" que a entidade de efeito existe.



- **Existência de efeito previsto:** verifica se a partir da causa original, um novo efeito (que invalide a relação de causa-efeito original) é relacionado.



II.2 – Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Atual (ARA)

A ARA descreve por meio de um modelo de causa e efeito uma situação existente, a fim de prover uma resposta para a pergunta "O que mudar?". As relações de causa e efeito que são enfocadas na ARA são os efeitos indesejáveis (EIs). Define-se EI como uma entidade que descreve um elemento da situação que se deseja melhorar, ou seja, ele descreve um aspecto indesejável do sistema que desejamos mudar (COX III e SCHLEIER, 2013). Os procedimentos descritos a seguir auxiliam na construção da ARA, conforme descrito em COX III e SCHLEIER (2013) e DETTMER (2007):

1. A partir das informações descritas no Formulário de Registro do Problema (FRP), identifique os aspectos indesejáveis da situação e redija-os como entidade. Essas entidades são os EIs.
2. Criar uma matriz de causas (vide Tabela 12) com duas camadas de causa para cada EI. Determine duas causas predecessoras para cada EI, de forma que as entidades da camada 2 sejam causas diretas das entidades da camada 1 e estas sejam causas diretas dos efeitos indesejados. Preencha as causas e os efeitos indesejados como sentenças completas dentro de cada bloco da matriz.

Tabela 12 – Exemplo de Matriz de Causas (adaptado) (DETTMER, 2007)

Efeito Indesejado (EI)	1 XXXX	2 XXXX	3 XXXX	4 XXXX
Camada de causa 1	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX
Camada de causa 2	XXXX	XXXX	XXXX	XXXX

3. Quando a matriz estiver completa, transfira as sentenças para uma estrutura de árvore, seja por meio de um software ou por notas de *post-it*, colocando cada grupo de causa alinhados lateralmente, conforme Figura 13. Posicione as

sentenças embaixo de cada efeito indesejado conectando-os por meio de setas.

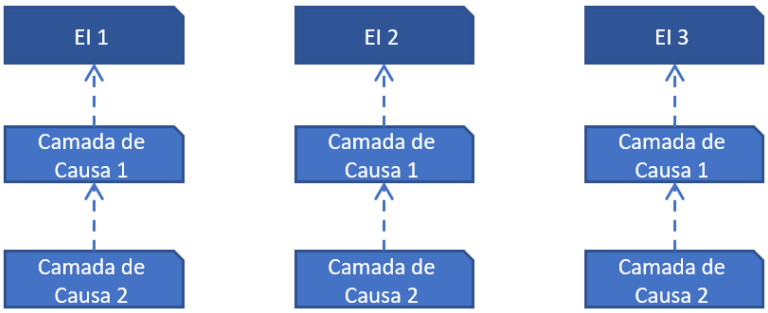


Figura 13 – Estrutura proposta (adaptado) (DETTMER, 2007)

4. Aprimore a lógica dos grupos de causa de cada EI. Por meio das CRL, avalie e aperfeiçoe cada conexão. Inclua entidades, setas (causa suficiente) e elipses conforme necessário. Continue até que se chegue a um consenso sobre a estrutura de cada grupo individualmente. Reposicione conforme necessário para colocar os grupos relacionados um ao lado do outro, conforme Figura 14.

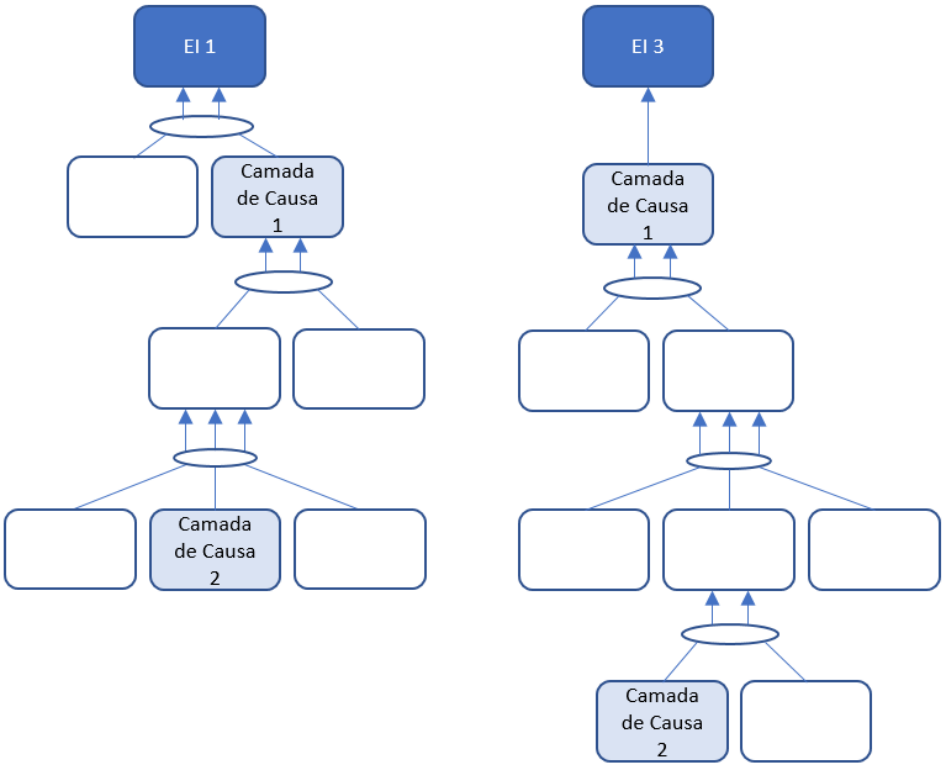


Figura 14 – Estrutura lógica dos grupos de causa (adaptado) (DETTMER, 2007)

5. Identifique possíveis causas adicionais. Procure por outras causas independentes para o mesmo efeito observado. Qualquer causa adicional proposta deverá ser realista e provável. Posicione-a na árvore e conecte-a ao efeito apropriado.

6. Procure por conexões laterais. Identifique causas em um grupo que produz efeitos em outro. Verifique primeiramente os relacionamentos laterais dos grupos uns com os outros. Conecte as causas aos efeitos por meio de setas (causa suficiente). Aprimore a lógica das novas conexões (passo 4). Reposicione os grupos conforme necessário para eliminar a possibilidade de cruzamento das setas, conforme Figura 15.

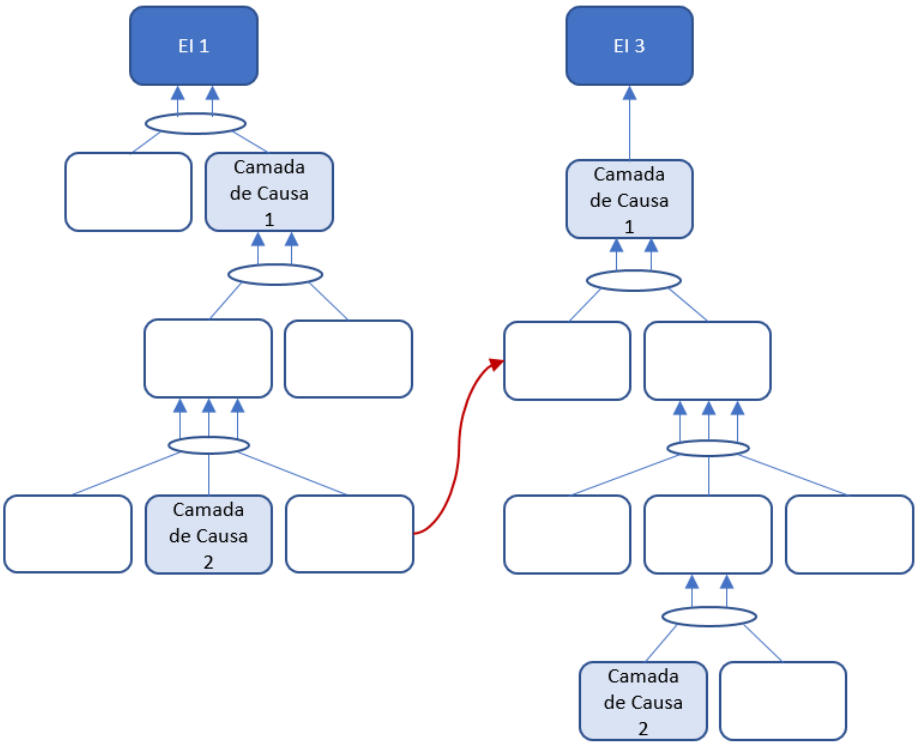


Figura 15 – Conexão lateral (adaptado) (DETTMER, 2007)

7. Estenda os relacionamentos de causa e efeito de cada grupo para baixo. Continue questionando cada causa mais baixa. Para cada nova camada de causa, observe as conexões laterais com outros grupos. À medida que novas camadas forem adicionadas, procure por novas causas. Pare apenas quando alcançar o nível mais baixo de causa que esteja dentro da esfera de atuação do tomador de decisão. Todos os grupos devem convergir em uma única árvore, conforme Figura 16.

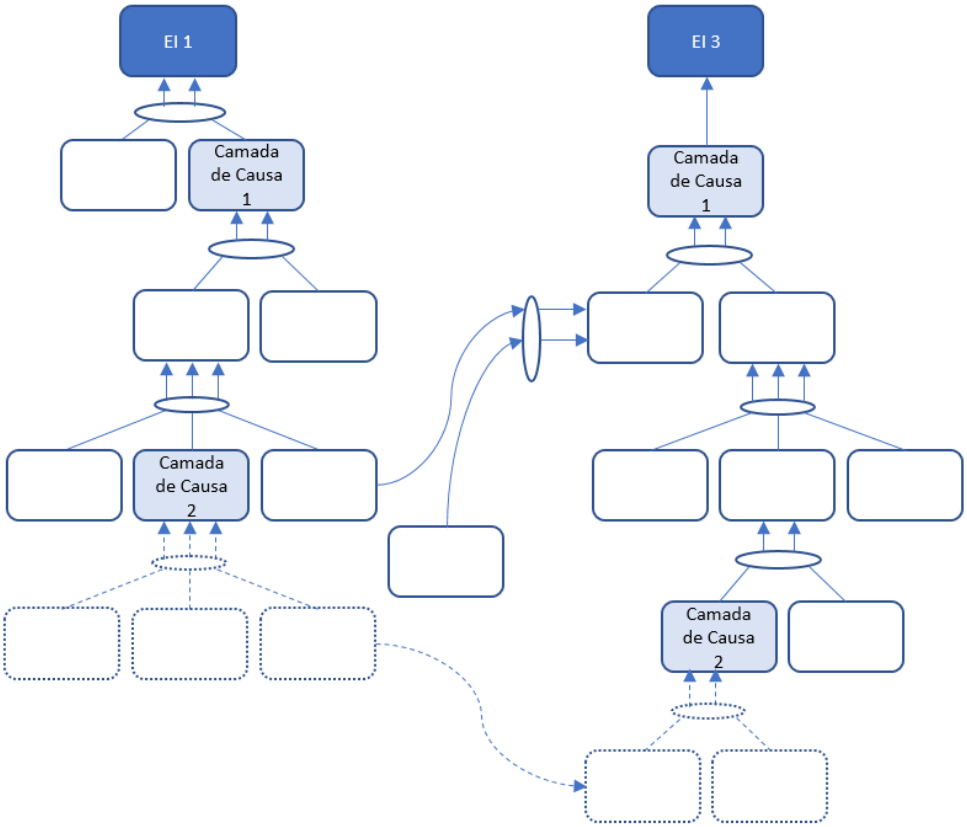


Figura 16 – Detalhamento dos grupos de causa e formação da árvore (adaptado) (DETTMER, 2007)

8. Investigue inteiramente a ARA. Todos os efeitos indesejáveis importantes e causas raiz foram incluídas? A lógica de cada conexão é suficiente? A estrutura da árvore faz sentido para as pessoas que não participaram da sua construção? Recorra a opinião de outras pessoas que não participaram da construção para investigar a árvore. O conhecimento das CRL não é obrigatório, o único conhecimento necessário é sobre a situação do problema.
9. Decida qual causa raiz atacar. Identifique as entidades que são apenas causa (pontos de entrada). Para cada ponto de entrada, identifique os efeitos indesejados dependentes da entidade, vide Figura 17. Ao final, apresente o grau de impacto dos efeitos indesejados ocasionados por cada entidade utilizando a matriz de dependência da causa raiz, conforme Tabela 13.

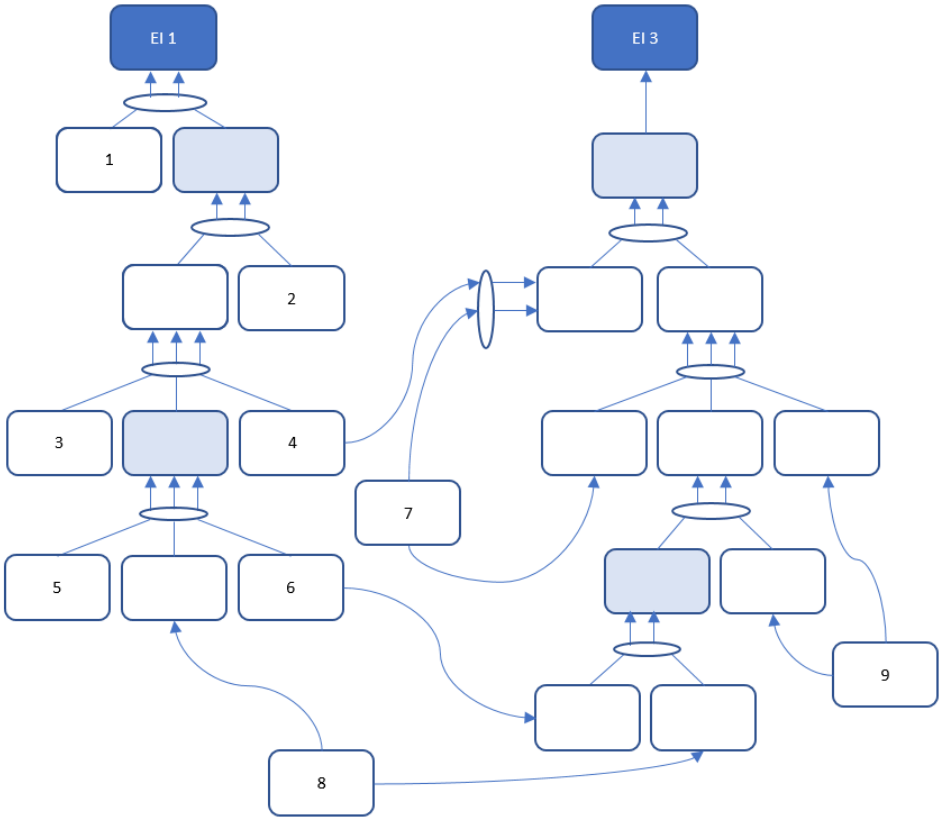


Figura 17 – ARA com pontos de entrada numerados

Tabela 13 – Matriz de dependência da causa raiz

Ponto de Entrada	EI1	EI3	Grau de Impacto
1	X		50%
2	X		50%
3	X		50%
4	X	X	100%
5	X		50%
6	X	X	100%
7		X	50%
8	X	X	100%
9		X	50%

10. Identifique qual a entidade, ou conjunto de entidades, é responsável pela maioria dos efeitos indesejados e verifique a causa comum de cada uma delas.

Vale destacar que a busca por uma lógica "perfeita" auxilia o processo de elaboração da ARA. Todavia, COX III e SCHLEIER (2013) não recomendam despender uma quantidade desmensurada de tempo no delineamento de uma "ARA perfeita", haja vista que o conjunto completo do Processo de Pensamento oferece uma excelente segurança. Caso a ARA não esteja perfeita, as próximas etapas auxiliarão na captura de

qualquer coisa importante que tenha passado despercebido.

II.3 – Procedimentos para Construção da Evaporação de Nuvens (EN)

Dado que um problema é algo que desejamos resolver, então devemos substituí-lo por um não problema oposto. Independente do problema ser básico (a causa de vários EIs) ou um EI (um elemento indesejável do sistema), ele é um obstáculo à harmonia que deve ser eliminado. Desta forma, qualquer problema pode ser verbalizado como um conflito, o que nos leva a utilizar a EN (COX III e SCHLEIER, 2013).

A estrutura básica de uma nuvem pode ser vista na Figura 18. Esta estrutura é dividida em três funções distintas (COX III e SCHLEIER, 2013):

- Objetivo [quadro "A"] – o objetivo que está sendo obstruído ou comprometido pelo problema.
- Necessidades ou condições básicas [quadros "B" e "C"] – o termo "necessidade" é empregado para denotar que a condição é obrigatória para a consecução do objetivo A. As setas B $\rightarrow$ A e C $\rightarrow$ A apresentam um vínculo lógico de necessidade, onde se lê: "Para conseguir o objetivo desejado 'A', nós/eu devemos/devo ter as necessidades B e C". A lógica estabelece que, se estiver faltando uma das necessidades, o objetivo não será atingido.
- Táticas [quadros "D" e "D'"] – ações, vontades ou decisões que são escolhidas para satisfazer as necessidades. As setas D $\rightarrow$ B e D' $\rightarrow$ C estabelecem que, para satisfazer a necessidade, uma ação (atitude) específica deve ser tomada. Essas atitudes, vontades ou decisões não podem existir ao mesmo tempo, pois isso as coloca em conflito, o que é indicado pela seta de conflito D-D'.
- Os enunciados dos quadros A, B, C, D e D' apresentam as entidades mais importantes que ajudam a verbalizar o conflito.
- Os pressupostos apresentam os argumentos lógicos que respaldam as relações de causa e efeito entre as entidades escritas nos quadros.
- As injeções, quando introduzidas na realidade do problema, podem eliminar o conflito (por isso a solução é chamada "evaporação de nuvens"). Entretanto, embora teoricamente existam injeções para qualquer vínculo lógico, vale mencionar que é improvável que os vínculos lógicos entre A e B ou entre A e C precisem ser eliminados porque, por definição, B e C são condições básicas para

se obter A. Caso seja verificado a necessidade dessas injeções, a nuvem não é uma representação verdadeira do conflito ou dilema.

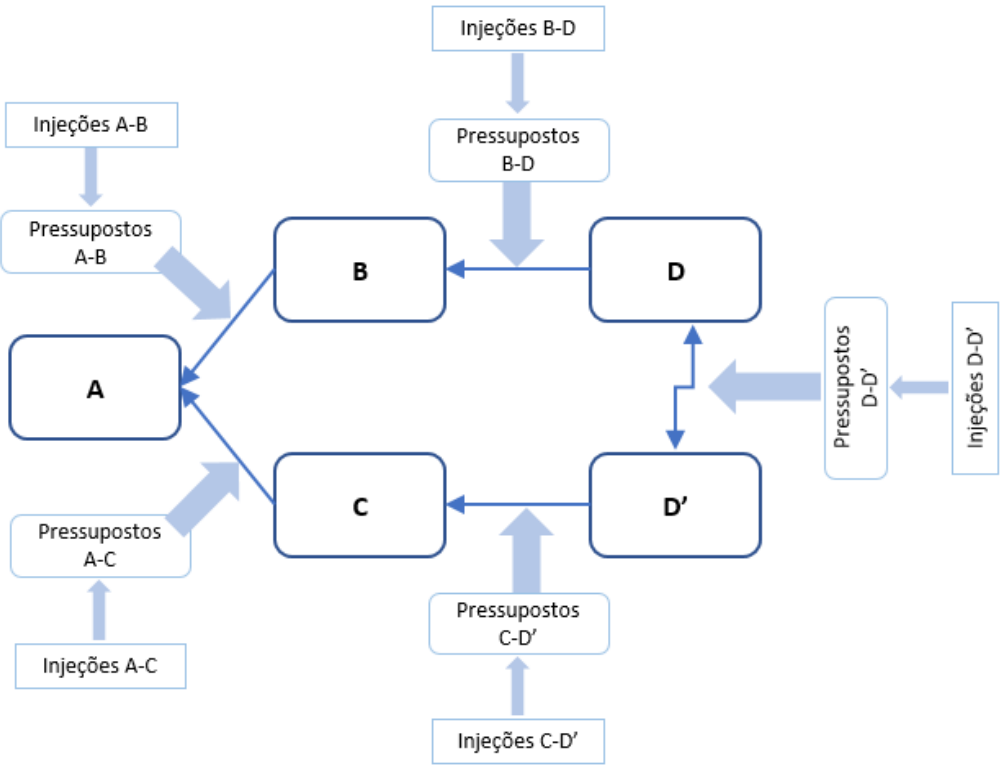


Figura 18 – Estrutura geral de uma nuvem com pressupostos e injeções (COX III e SCHLEIER, 2013)

Os procedimentos descritos a seguir auxiliam na construção da EN, conforme COX III e SCHLEIER (2013):

1. Para cada efeito indesejado da ARA, verifique a existência de conflito entre as entidades (causa raiz) compartilhadas. Caso não exista, não será necessário construir a EN. Caso exista, redija as causas dentro das entidades D e D' da nuvem de uma forma que evidencie que elas são mutuamente excludentes. As entidades D e D' são verbalizadas como ações e estão evidente e diretamente em conflito.
2. Redija as entidades B e C correspondentes. As entidades B e C são verbalizadas como necessidades evidentes e positivas.
    - B deve responder as seguintes perguntas: D é essencial para quê? Qual necessidade não será atendida se D não se concretizar?
    - Utilize a validação a seguir: B não ocorrerá sem D. Para ter B, devemos ter D.
    - C deve responder às seguintes perguntas: D' é essencial para quê? Qual

necessidade não será atendida se D’ não se concretizar?

- Utilize a validação a seguir: C não ocorrerá sem D’. Para ter C, devemos ter D’.
- Deve-se utilizar também a seguinte verificação: Se D existir, C não poderá existir. Se D’ existir, B não poderá existir.

3. Identifique A, o objetivo comum de B e C. Utilize o enunciado a seguir como validação: A não ocorrerá sem B e C. Para ter A, devemos ter B e C.
4. Traga à tona os pressupostos de cada uma das relações da condição básica e identifique os que são inválidos na situação de conflito sob análise. Utilize as perguntas abaixo para facilitar o levantamento dos pressupostos:
    - Para A, devemos B, porque _____. Por que A não pode ocorrer sem B?
    - Para A, devemos C, porque _____. Por que A não pode ocorrer sem C?
    - Para B, devemos D, porque _____. Por que B não pode ocorrer sem D?
    - Para C, devemos D’, porque _____. Porque C não pode ocorrer sem D’?
    - D e D’ não podem coexistir porque _____. Por que B não poderá ocorrer se D’ existir? Por que C não poderá ocorrer se D existir?
5. Traga à tona as injeções para cada pressuposto levantado. Utilize os enunciados abaixo como guia:
    - Se [injeção], então A pode ser obtido sem B porque _____.
    - Se [injeção], então A pode ser obtido sem C porque _____.
    - Se [injeção], então B pode ser obtido sem D porque _____.
    - Se [injeção], então C pode ser obtido sem D’ porque _____.
    - Se [injeção], então D e D’ coexistem porque _____.
6. Assim que todas as injeções possíveis forem levantadas, deve-se optar por uma ou mais injeções, ou até criar uma nova injeção que utilize alguns dos elementos das injeções enunciadas. Depois de escolher a injeção, verifique a nova realidade em que ela substituirá uma ou ambas as ações (D e/ou D’) e se a injeção desenvolvida contribui para a consecução de B e C.
7. A solução escolhida para evaporar a nuvem cria uma nova tática que pode ser representada como D*. A implementação da injeção cria o formato de diamante que substitui a nuvem, conforme Figura 19.

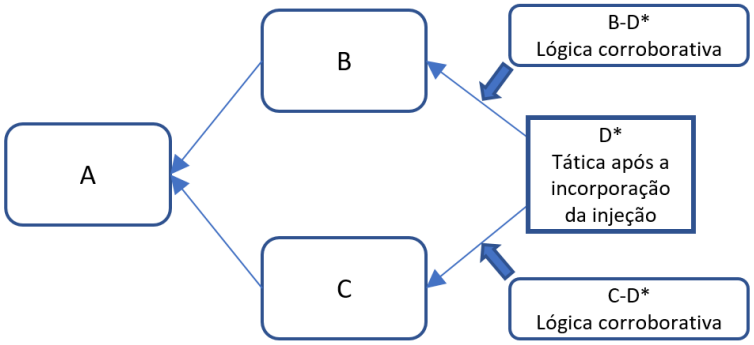


Figura 19 – Figura em formato de diamante (COX III e SCHLEIER, 2013)

II.4 – Procedimentos para Construção da Árvore da Realidade Futura (ARF)

A ARF é uma estrutura lógica baseada em relacionamentos do tipo causa suficiente projetada para prever como mudanças no processo atual afetam a realidade e produzem efeitos desejáveis. É uma expressão da realidade que ainda não existe. A ARF visualmente desdobra os relacionamentos de causa e efeito entre as mudanças que são feitas nos sistemas existentes e os resultados advindos (DETTMER, 2007).

Dado que a ARF é uma projeção do futuro a partir da situação presente, a sua construção deve ser iniciada da base para o topo (DETTMER, 2007). A situação presente é representada pela ARA, a qual apresenta as causas raiz e os efeitos indesejáveis que, no futuro, deverão ser representados por situações exatamente opostas. Desta forma, a ARA é o começo do roteiro para a elaboração da realidade futura. Ademais, vale destacar também que a ARF incorpora os elementos da EN, conforme apresentado na Figura 20 (DETTMER, 2007).

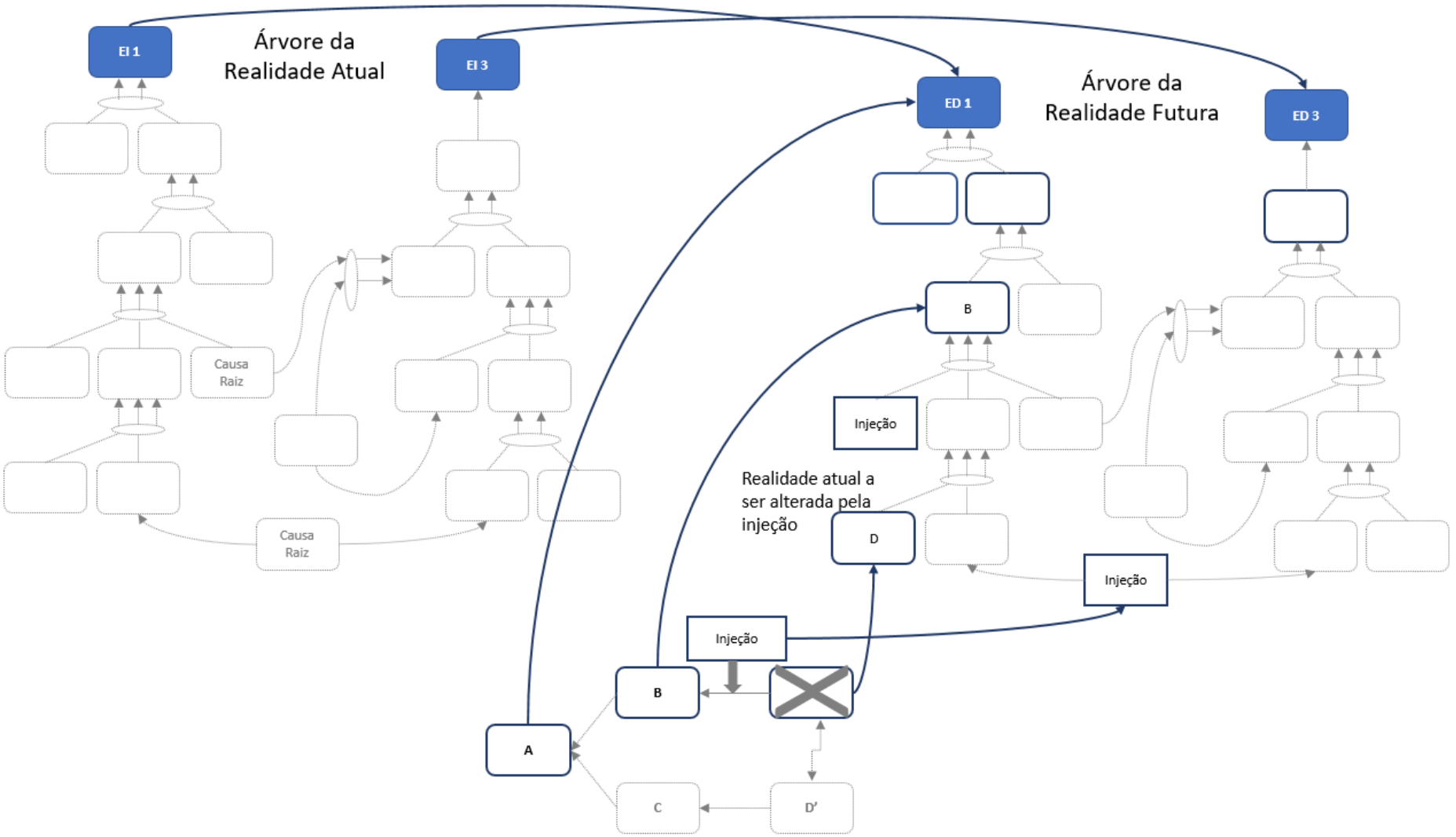


Figura 20 – Mapeamento da ARA e EN para a ARF (adaptado) (DETTMER, 2007)

Os procedimentos descritos a seguir auxiliam na construção da ARF, conforme descrito em DETTMER (2007):

1. Formule os Efeitos Desejáveis (ED) a partir da lista de Efeitos Indesejáveis (EI) levantados na ARA, tal qual Figura 21. Descreva-os como uma sentença no presente, de forma objetiva e com sentido oposto de cada EI.

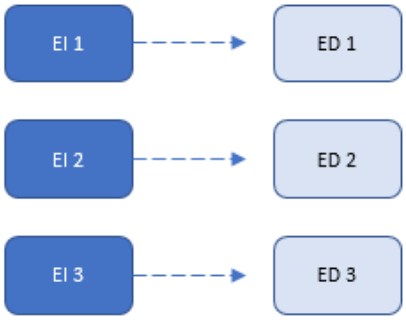


Figura 21 – Mapeamento EI para ED (DETTMER, 2007)

2. Descreva todas as injeções elaboradas, tanto as decorrentes da EN como as outras soluções propostas. Posicione as injeções na base do diagrama, juntamente com as causas raiz identificadas na ARA. Os ED devem ser posicionados no topo e as necessidades da EN, caso existam, entre as injeções e os ED. Escolha uma injeção para começar a árvore, conforme Figura 22.

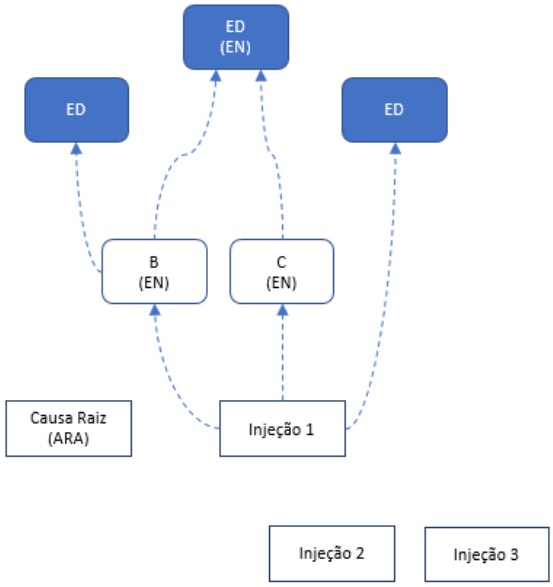


Figura 22 – Início da construção da ARF (adaptado) (DETTMER, 2007)

3. Preencha os espaços entre as entidades. Construa os relacionamentos a partir das injeções para os ED, acrescentando as sentenças da realidade conforme

necessidade. Inclua entidades da ARA que ainda são relevantes para o futuro. Construa um nível por vez. Caso necessário, adicione injeções a cada nível a fim de progredir aos ED, conforme Figura 23.

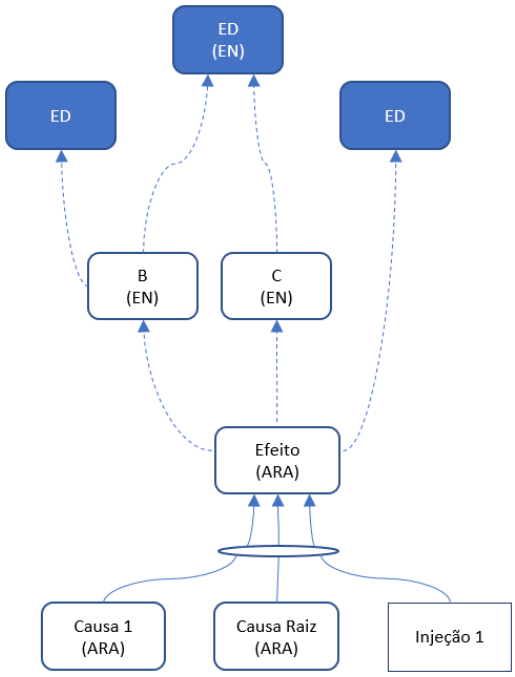


Figura 23 – Preencha os espaços da ARF (adaptado) (DETTMER, 2007)

4. Construa laços de reforços positivos. Encontre ED que possam ampliar o efeito de outras entidades em um nível mais baixo na árvore. Acrescente injeções, entidades reais, elipses, conforme necessidade. Verifique se a ampliação em determinada entidade demanda uma causa adicional, conforme exemplo na Figura 24.

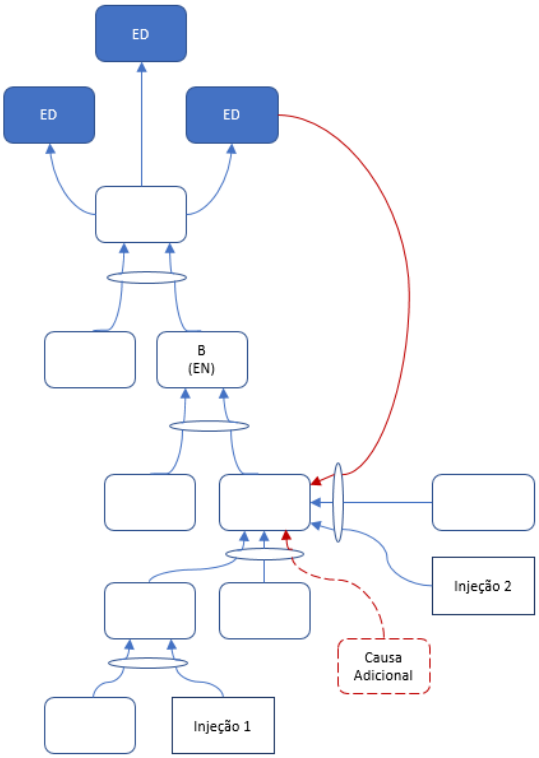


Figura 24 – Laço de reforço positivo e causa adicional na ARF (adaptado) (DETTMER, 2007)

5. Após a construção da árvore, procure por ramificações negativas decorrentes das injeções. Solicite ajuda externa para essa validação. Avalie cada efeito esperado verificando a existência de algum resultado desfavorável. Observe se existe algum novo EI resultante ao lado dos ED.
6. Desenvolva o diagrama de cada ramificação negativa separada. Identifique todas as premissas e entidades, bem como o ponto de inflexão para o EI, conforme Figura 25.

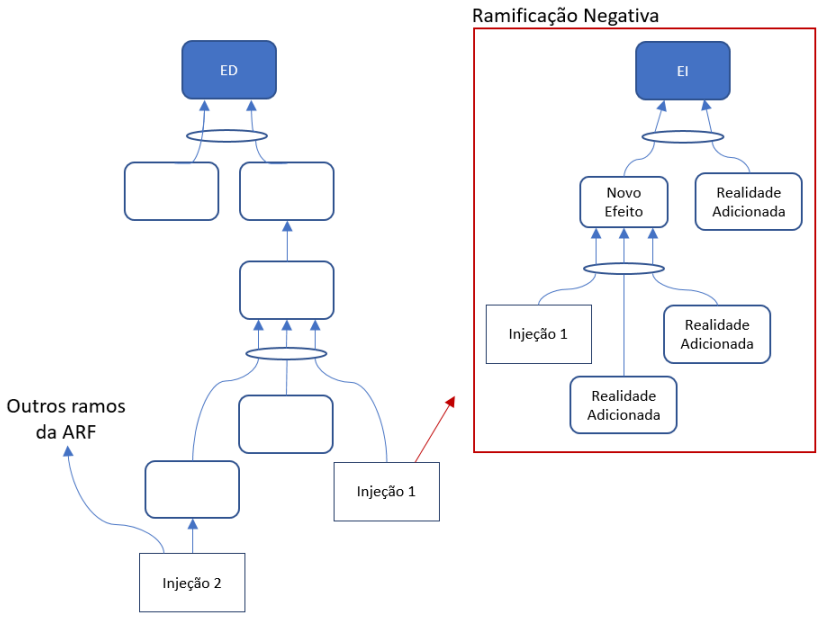


Figura 25 – Exemplo de ramificação negativa (adaptado) (DETTMER, 2007)

7. Desenvolva injeções para os novos efeitos da ramificação negativa. Valide as injeções de forma separada. Projete a direção e as consequências inevitáveis das injeções. Verifique a necessidade de combinar as injeções com outros elementos. Prossiga até que seja obtido uma situação oposta ao EI, neutralizando assim a ramificação negativa. Certifique-se de que não surja nenhum EI adicional.
8. Incorpore a ramificação negativa neutralizada na ARF, conforme Figura 26.

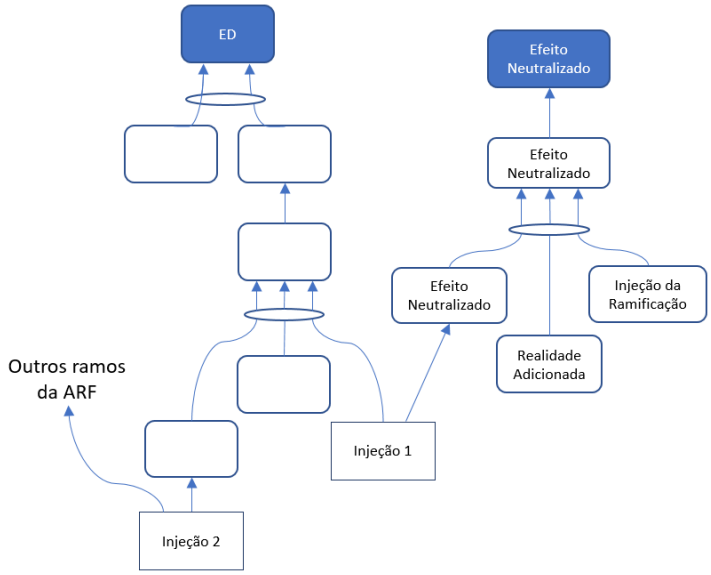


Figura 26 – Exemplo de ramificação negativa neutralizada (adaptado) (DETTMER, 2007)

9. Investigue inteiramente a ARF utilizando as CRL. Recomenda-se que este passo seja realizado em grupo.

APÊNDICE III – Modelos de Formulário do Método

Este apêndice apresenta os modelos de formulário sugeridos para a execução das atividades do método CARTOC. Os modelos possuem instruções de preenchimento entre colchetes, em itálico e azul, que devem ser removidas tão logo os formulários comecem a ser utilizados.

III.1 – Planejamento para Análise do Problema (PAP)

III.1.1. Introdução

O Planejamento para Análise do Problema (PAP) visa auxiliar a condução do método CARTOC durante a fase de encerramento de um projeto ou de uma iteração. O objetivo deste planejamento é realizar um levantamento dos desvios críticos do projeto, avaliar a criticidade de cada um deles com o intuito de justificar a aplicação das próximas tarefas do método. Além disso, este planejamento visa registrar as pessoas envolvidas com a aplicação do método, as tarefas que deverão ser desempenhadas e o planejamento de prazo e custo para a execução de cada uma dessas tarefas.

III.1.2. Análise dos Desvios Críticos de Projeto

Esta análise tem como objetivo contextualizar cada desvio crítico do projeto *[nome do projeto]* que motivou a aplicação do método CARTOC.

[Para cada desvio crítico do projeto, preencha uma tabela igual à apresentada abaixo com as informações solicitadas. Os desvios críticos são caracterizados por: desvios em indicadores (prazo, custo, qualidade, etc.); problemas recorrentes de projeto; problemas circunstanciais não previstos.].

Desvio:	*Descrição do desvio identificado (Ex: Aumento excessivo do custo do projeto; Baixa qualidade nas entregas; Término de contrato)*
Tipo:	( ) Indicador de projeto ( ) Problema recorrente ( ) Problema circunstancial
Previsto:	*Descrição da situação prevista para o desvio. Caso seja um indicador de projeto, preencher com o dado quantitativo planejado.*
Realizado:	*Descrição da situação ocorrida para o desvio. Caso seja um indicador de projeto, preencher com o dado quantitativo realizado.*
Justificativa:	*Descrição da justificativa para continuação, ou não, da aplicação do método para o projeto escolhido.*

III.1.3. Tarefas e Responsáveis

As tarefas a serem realizadas durante a condução do método, bem como os respectivos papéis responsáveis pela sua execução, estão descritos na Tabela 14 a seguir:

Tabela 14 – Tarefas e papéis da análise de causa e resolução de problemas

Tarefa	RA	RG	EA	EP
Elaborar Planejamento para Análise	X	X		
Coletar Indícios do Problema	X		X	
Desenvolver Diagrama de Causa	X		X	
Avaliar Diagrama de Causa	X		X	X
Identificar Causa Raiz	X		X	
Elaborar Proposta de Solução	X		X	
Analisar Proposta de Solução	X		X	X
Priorizar Soluções Propostas	X		X	
Elaborar Plano de Ação	X		X	
Reportar Resultados Obtidos	X		X	
Registrar Artefatos	X	X		
Registrar Lições Aprendidas	X	X		

Legenda: **RA** – Responsável pela Análise; **RG** – Responsável do Grupo de Processo; **EA** – Equipe de Análise; **EP** – Equipe do Projeto

A Tabela 15 a seguir relaciona todas as pessoas envolvidas com a execução do método, com os respectivos papéis e o custo da hora de trabalho:

Tabela 15 – Responsáveis e papéis

Responsável	RA	EA	EP	RG	Custo da hora
Responsável pela condução da análise	*X*				*R$ 999,99*
Membro 1 da equipe		*X*		*X*	*R$ 999,99*
Membro 2 da equipe		*X*			*R$ 999,99*
Membro 3 da equipe			*X*		*R$ 999,99*

Legenda: **RA** – Responsável pela Análise; **RG** – Responsável do Grupo de Processo; **EA** – Equipe de Análise; **EP** – Equipe do Projeto

III.1.4. Planejamento de Prazo e Custo

O prazo e o custo para a condução de cada tarefa do método CARTOC estão

descritos, respectivamente, nas Tabela 16 e Tabela 17:

Tabela 16 – Cronograma planejado x realizado

Tarefa	Data de Início Planejado	Data de Término Planejado	Data de Início Realizado	Data de Término Realizado
Tarefa 01	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*
Tarefa 02	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*
Tarefa 03	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*
XXX	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*
XXX	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*	*DD/MM/AAAA*

Tabela 17 – Estrutura de custo planejada x realizada

Tarefa	Esforço planejado por pessoa	Esforço realizado por pessoa	Custo total planejado	Custo total realizado
Tarefa 01	*HH*	*HH*	*R$ 999,99*	*R$ 999,99*
Tarefa 02	*HH*	*HH*	*R$ 999,99*	*R$ 999,99*
Tarefa 03	*HH*	*HH*	*R$ 999,99*	*R$ 999,99*
XXX	*HH*	*HH*	*R$ 999,99*	*R$ 999,99*
XXX	*HH*	*HH*	*R$ 999,99*	*R$ 999,99*
TOTAL	***HH***	***HH***	***R$ 999,99***	***R$ 999,99***

III.2 – Formulário de Registro do Problema (FRP)

III.2.1. Introdução

Este formulário tem como objetivo caracterizar o cenário problemático a ser investigado. Para isso, deve-se descrever o contexto do projeto, as partes envolvidas e o cenário problemático que acarretou os desvios críticos detalhados anteriormente.

III.2.2. Descrição do objetivo do projeto investigado

[Descreva o objetivo do projeto no qual foi observado o cenário problemático. Esta descrição é importante pois o objetivo do projeto pode conter alguma particularidade que contribuiu para o contexto do problema.].

III.2.3. Lista dos envolvidos com o projeto

[Descreva as pessoas e organizações envolvidas com o projeto e as suas atribuições.].

III.2.4. Descrição do contexto do problema

[Descreva o cenário problemático observado ao longo da execução do projeto.

Nesta seção devem ser descritas todas as partes envolvidas com o projeto, as expectativas geradas pelo projeto, as dificuldades durante a sua execução (problemas de entendimento de escopo, mudança de escopo, solicitações de mudança, atraso nas entregas, problemas de relacionamento entre as partes, rotatividade da equipe, etc.).

Descreva também os impactos decorrentes dos problemas observados para a organização, para os clientes do projeto e demais envolvidos.].

III.3 – Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP)

III.3.1. Introdução

Este formulário consolida as informações resultantes das atividades "Analisar e Identificar as Causas" e "Propor e Priorizar Soluções". As informações utilizadas durante a investigação da causa raiz e desenvolvimento da proposta de solução estão descritas nos itens a seguir.

III.3.2. Efeitos Indesejáveis (*Undesirable Effect* – UDE)

[Neste item devem ser redigidos os efeitos indesejáveis (EIs) identificados a partir da análise das informações coletadas sobre o problema no FRP. Os EIs devem ser descritos como uma sentença completa e enumerados conforme exemplo abaixo:

EI1 – Descrição do efeito indesejado 1

EI2 – Descrição do efeito indesejado 2

...

EIN – Descrição do efeito indesejado N].

III.3.3. Matriz de Causas

[Na matriz abaixo devem ser descritas as causas de primeiro e segundo nível identificadas para cada efeito indesejado elencado anteriormente. As causas devem ser preenchidas como sentenças completas.].

	EI1 XXXXX	*EI2*	*Repetir para todos os EIs identificados*	*EIN*
1º nível de causa	*XXXXX*	*XXXXX*	*XXXXX*	*XXXXX*
2º nível de causa	*XXXXX*	*XXXXX*	*XXXXX*	*XXXXX*

III.3.4. Diagrama da Árvore da Realidade Atual

[Inserir o diagrama causal da Árvore da Realidade Atual desenvolvido na tarefa "Desenvolver Diagrama Causal".].

III.3.5. Matriz de Dependência da Causa Raiz

[Preencher a matriz de dependência da causa raiz conforme descrito na tarefa "Desenvolver Diagrama Causal".].

Ponto de Entrada	*EI1*	*EI2*	*Repetir para todos os EIs identificados*	Grau de Impacto
1	*X*	*X*		*100%*
2		*X*		*50%*
....				

III.3.6. Proposta de Solução

a. Tabela de Injeções

[Preencher as injeções para cada causa raiz identificada e que não esteja em situação de conflito.].

Causa Raiz	Injeção
Causa Raiz A	*Injeção*
Causa Raiz A	*Injeção*
Causa Raiz A	*Injeção*

b. Diagrama de Evaporação de Nuvens

[Inserir o diagrama de Evaporação de Nuvens desenvolvido na tarefa "Elaborar Proposta de Solução".].

c. Tabela de Pressupostos e Injeções da EN

[Preencher os pressupostos e as injeções para cada um dos relacionamentos do diagrama de EN.].

Seta	Pressuposto	Injeção
B-D	*[B-D 1]*	*Injeção*
	[B-D 2]	*Injeção*
C-D'	*[C-D' 1]*	*Injeção*
D-D'	*[D-D' 1]*	*Injeção*

d. Diagrama de Evaporação de Nuvens (Solução)

[Inserir o diagrama de Evaporação de Nuvens, com a solução adotada,

desenvolvido na tarefa "Elaborar Proposta de Solução".].

III.3.7. Efeitos Desejáveis (*Desirable Effect* – DE)

[Nesta seção devem ser redigidos os efeitos desejáveis (EDs) a partir da lista de efeitos indesejáveis elaborada anteriormente. Os EDs devem ser descritos como uma sentença completa e representarem a ideia oposta dos EIs:

ED1 – Descrição do efeito desejado 1 (Oposto ao EI1)

ED2 – Descrição do efeito desejado 2 (Oposto ao EI2)

...

EDN – Descrição do efeito desejado N (Oposto ao EIN).].

III.3.8. Diagrama da Árvore da Realidade Futura

[Inserir o diagrama da Árvore da Realidade Futura desenvolvido na tarefa "Analisar Proposta de Solução".].

a. Lista final de soluções (injeções) para o problema

[Inserir todas as injeções propostas durante a construção da Árvore da Realidade Futura. Descreva as soluções como uma sentença completa.

Solução 1 –

Solução 2 –

...

Solução N –].

III.3.9. Matriz GUT de Priorização de Soluções

[Preencher as propostas de solução levantadas na ARF, como uma sentença completa, e atribuir os valores referentes à gravidade, urgência e tendência].

Solução	Gravidade	Urgência	Tendência	Grau Crítico (G x U x T)	Prioridade
Solução 1	*X*	*X*		*100%*	
Solução 2		*X*		*50%*	
....					

III.3.10. Plano de Ação

[Preencher o direcionamento que deverá ser aplicado a cada proposta de solução priorizada com as seguintes informações: Ordem de prioridade (N°), Descrição da solução proposta, Direcionamento a ser dado para a solução proposta (Ação), Responsável pela ação, Prazo para execução da ação].

N°	Solução	Ação	Responsável	Prazo
1	*Solução 1*	*Direcionamento para a Solução 1*	*XXXX*	*99/99/9999*
2	*Solução 2*	*Direcionamento para a Solução 2*	*XXXX*	*99/99/9999*
...	....	...	....	*99/99/9999*

APÊNDICE IV – Descrição das Atividades e Tarefas do Método CARTOC

Atividade	**1. Definir Problema para Análise**
Descrição:	Esta atividade tem como objetivo definir o problema que deverá ser tratado durante a execução do método. A constatação de desvios críticos em um determinado projeto é o primeiro evento que dispara o início do método. Estes desvios críticos podem ser caracterizados como: desvios em indicadores (prazo, custo, qualidade, etc.); problemas recorrentes em outros projetos; problemas circunstanciais não previstos. A definição do problema será realizada a partir do detalhamento de cada desvio crítico elencado. Após a avaliação da criticidade dos desvios, caso seja constatado um problema crítico, deve ser realizada a descrição do contexto do projeto e do problema apresentado. Caso os desvios não sejam de fato críticos, a execução do método é encerrada.

Tarefa:	**1.1 Elaborar Planejamento para Análise**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é registrar e avaliar a criticidade dos desvios apresentados. Devem ser coletadas evidências que contextualizem e ratifiquem a criticidade dos desvios apresentados e assim justifiquem a continuação da próxima tarefa do método CARTOC. Caso nenhum desvio seja considerado crítico pelo Responsável pela Análise, o método deve ser encerrado. Registrar os desvios críticos do projeto no formulário de Planejamento para Análise do Problema, disponível na seção III.1 do Apêndice III, contemplando as seguintes informações: descrição do desvio; tipo do desvio (indicador de projeto, problema recorrente, problema circunstancial); a descrição da situação prevista e realizada; e o parecer do Responsável pela Análise sobre a criticidade deste desvio, a fim de justificar a continuidade das próximas tarefas do método. Devem ser registrados neste mesmo formulário: as pessoas, e respectivos papéis, que apoiarão a execução do método; o cronograma com as estimativas de prazo, esforço e custo de cada tarefa. Recomenda-se que o custo e o prazo sejam refletidos no

	próprio cronograma do projeto, pertinente à fase de encerramento do projeto ou da iteração. O Responsável do Grupo de Processo, detentor do conhecimento do método CARTOC, é o responsável por orientar o Responsável pela Análise no planejamento das próximas tarefas.
Pré-tarefa:	-
Critérios de entrada:	Identificação de desvios críticos para o projeto de desenvolvimento de software escolhido.
Critérios de saída:	Detalhamento dos desvios críticos e planejamento para execução do método.
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Responsável do Grupo de Processo
Artefatos requeridos:	-
Artefatos produzidos:	Planejamento para Análise do Problema
Pós-tarefa:	Coletar Indícios do Problema; ou Fim do método.
Ferramentas:	Processador de texto

Tarefa:	**1.2 Coletar Indícios do Problema**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é detalhar a conjuntura do problema analisado a partir das informações levantadas para cada desvio. Para isso, o Formulário de Registro do Problema, disponível na seção III.2 do Apêndice II, deverá ser documentado com as seguintes informações: objetivo do projeto de desenvolvimento escolhido; as partes envolvidas com o projeto e suas atribuições; descrição do cenário problemático que acarretou os desvios críticos elencados.
Pré-tarefa:	Elaborar Planejamento para Análise
Critérios de entrada:	Todos os desvios cadastrados no formulário de Planejamento para Análise do Problema.
Critérios de saída:	Detalhamento do contexto onde o problema foi detectado.
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Planejamento para Análise do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Registro do Problema
Pós-tarefa:	Desenvolver Diagrama de Causa
Ferramentas:	Processador de texto

Atividade:	**2. Analisar e Identificar as Causas Raiz**
Descrição:	O objetivo desta atividade é investigar o cenário problemático identificado e encontrar as causas raiz. Desta forma, deve-se desenvolver um diagrama de causa que será avaliado por outras pessoas envolvidas com o contexto do problema. Ao final desta atividade, almeja-se identificar as causas raiz do problema analisado.

Tarefa:	**2.1 Desenvolver Diagrama de Causa**
Descrição:	Esta tarefa visa desenvolver o diagrama de causa por meio dos procedimentos para a construção da Árvore da Realidade Atual (ARA), descritos nos passos de 1 a 7 na seção II.2 do Apêndice II.

	As informações coletadas no Formulário de Registro do Problema, bem como os relatos obtidos com as pessoas envolvidas com a análise durante a execução dessa tarefa, devem ser analisadas durante a construção da ARA. O primeiro passo para o desenvolvimento desta tarefa consiste no levantamento dos efeitos indesejáveis obtidos durante a execução do projeto analisado, a partir das informações do Formulário de Registro do Problema e dos relatos obtidos com as pessoas envolvidas na análise. Os efeitos indesejáveis devem ser preenchidos no item 2 do Formulário de Análise e Resolução do Problema, disponível no item III.3 do Apêndice III. Uma vez finalizado o levantamento dos efeitos indesejáveis, deve-se identificar ao menos duas causas predecessoras para cada um desses efeitos levantados. A fim de estruturar esse relacionamento entre as causas e os efeitos indesejados, recomenda-se a elaboração da matriz de causa constante no item 3 do Formulário de Análise e Resolução do Problema. Após a elaboração da matriz, o nexo de causalidade entre as causas e os efeitos indesejados, bem como os relacionamentos de causa e efeito entre cada grupo da matriz, devem ser validados por meio das CRL detalhadas na seção II.1 do Apêndice II. Vale ressaltar que, desse processo, podem surgir novas entidades e novos relacionamentos entre os grupos de causas previamente levantados, dando início à estrutura de árvore do diagrama.
Pré-tarefa:	Coletar Indícios do Problema
Critérios de entrada:	Detalhamento do contexto do problema
Critérios de saída:	Versão inicial da Árvore da Realidade Atual
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Registro do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Avaliar Diagrama de Causa
Ferramentas:	*Transformation Logic-Tree*[4] ou *Jthinker*[5] Processador de texto

Tarefa:	**2.2 Avaliar Diagrama de Causa**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é avaliar se os relacionamentos constituídos durante a elaboração da Árvore da Realidade Atual (ARA) estão coerentes com a situação do problema analisado, verificando-se a necessidade de inclusão/exclusão de novos relacionamentos e/ou entidades. Recomenda-se o apoio da Equipe do Projeto, composta pelas pessoas que trabalharam no projeto escolhido e não participaram da construção da versão inicial da ARA, a fim de auxiliar na avaliação da estrutura do diagrama. Vale destacar que a análise da ARA deve ser realizada levando-se em consideração o tipo de

[4] http://transformation-logic-tree-inc.software.informer.com/
[5] https://www.openhub.net/p/jthinker

	relacionamento causa suficiente (Se causa X, então efeito Y) utilizado no diagrama. Desta forma, a análise deve ser iniciada a partir dos elementos localizados no nível mais inferior do diagrama para os níveis mais superiores. Os participantes devem seguir o procedimento descrito no passo 8 da seção II.2 do Apêndice II. Neste momento, caso seja identificado algum problema no diagrama, deve-se retornar para a tarefa anterior. Caso contrário, deve-se prosseguir para a próxima tarefa e incluir a versão final da ARA no item 4 do Formulário de Análise e Resolução do Problema.
Pré-tarefa:	Desenvolver Diagrama de Causa
Critérios de entrada:	Versão inicial da Árvore da Realidade Atual
Critérios de saída:	Versão final da Árvore da Realidade Atual
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise Equipe do Projeto
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Identificar Causa Raiz; ou Desenvolver Diagrama de Causa
Ferramentas:	*Transformation Logic-Tree*[6] ou *Jthinker*[7] Processador de texto

Tarefa:	**2.3 Identificar Causa Raiz**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é identificar a causa (ou causas) raiz do problema estruturado na Árvore da Realidade Atual (ARA). Para isso, deve-se utilizar a matriz de dependência da causa raiz apresentada no item 5 do Formulário de Análise e Resolução do Problema para identificar quais as causas que mais produzem efeitos indesejados na ARA final. Para tanto, deve-se executar os passos 9 e 10 descritos na seção II.2 do Apêndice II.
Pré-tarefa:	Avaliar Diagrama de Causa
Critérios de entrada:	Versão final da Árvore da Realidade Atual
Critérios de saída:	Matriz de Dependência da Causa Raiz preenchida
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Elaborar Proposta de Solução
Ferramentas:	Processador de texto

Atividade:	**3. Propor e Priorizar Soluções**
Descrição:	Esta atividade tem como objetivo analisar todas as causas identificadas anteriormente, elaborando uma proposta de solução para cada uma delas. Em seguida, as propostas de solução elaboradas são analisadas e priorizadas para a implementação a partir de um plano de ação.

[6] http://transformation-logic-tree-inc.software.informer.com/
[7] https://www.openhub.net/p/jthinker

Tarefa:	3.1 Elaborar Proposta de Solução
Descrição:	O objetivo desta tarefa é elaborar uma proposta de solução para as causas que foram identificadas. Primeiramente deve-se verificar se as causas identificadas estão dentro do escopo de atuação da organização, pois nem todas as causas são passíveis de tratamento por estarem fora do seu âmbito de atuação. Caso as causas estejam dentro do escopo de atuação, deve-se descrever as injeções para cada uma delas. Em caso negativo, deve-se pontuar que a causa está fora do escopo e não será tratada. Após a definição das injeções, deve-se verificar a existência de conflito entre elas. Ou seja, se a implementação de uma injeção vai de encontro com a implementação de outra. Nessa situação deve-se utilizar o Processo de Pensamento da Evaporação de Nuvens (EN) para representar o conflito e os pressupostos que devem ser atendidos para alcançar o objetivo da resolução do conflito. Os procedimentos para a construção da EN estão descritos na seção II.3 do Apêndice II. Caso não seja identificado nenhum conflito, deve-se prosseguir para a próxima tarefa. O diagrama resultante deste processo deve ser incluído no item 6 do Formulário de Análise e Resolução do Problema, bem como os pressupostos e injeções levantadas, e a solução final escolhida.
Pré-tarefa:	Identificar Causa Raiz
Critérios de entrada:	Matriz de Dependência da Causa Raiz preenchida
Critérios de saída:	Soluções para cada causa raiz identificada e, se for o caso, o diagrama da EN da solução adotada.
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Analisar Proposta de Solução
Ferramentas:	*Transformation Logic-Tree*[8] ou *Jthinker*[9] Processador de texto

Tarefa:	3.2 Analisar Proposta de Solução
Descrição:	O objetivo desta tarefa é analisar as propostas de solução elaboradas para as causas raiz identificadas. Para isso, é utilizado o Processo de Pensamento da Árvore da Realidade Futura (ARF) para estruturar as relações de causa e efeito decorrentes das soluções elaboradas (injeções). O procedimento para construção da ARF está descrito na seção II.4 do Apêndice II. Baseado na estrutura da ARA, a ARF visa prever os desdobramentos das soluções propostas, inclusive os efeitos negativos que podem ser gerados a partir das injeções adotadas. Desta forma, o processo de análise visa atestar as injeções

[8] http://transformation-logic-tree-inc.software.informer.com/
[9] https://www.openhub.net/p/jthinker

	elaboradas, podendo alterá-las ou até derivá-las em novas injeções a fim de evitar e/ou tratar possíveis ramificações de efeito negativo. Com o intuito de obter o consenso entre todos os envolvidos com o problema, recomenda-se a participação da Equipe do Projeto na execução desta tarefa. Os efeitos desejáveis elaborados para a ARF devem ser registrados no item 7 do Formulário de Análise e Resolução do Problema, já o diagrama resultante da ARF e a lista final de soluções (injeções) para a resolução do problema devem ser incluídos no item 8 do FAP.
Pré-tarefa:	Elaborar Proposta de Solução
Critérios de entrada:	Versão final da Árvore da Realidade Atual Soluções para cada causa raiz identificada Estrutura da Evaporação de Nuvens
Critérios de saída:	Versão final da Árvore da Realidade Futura Lista de soluções (injeções) propostas
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise Equipe do Projeto
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Priorizar Soluções Propostas
Ferramentas:	*Transformation Logic-Tree*[10] ou *Jthinker*[11] Processador de texto

Tarefa:	**3.3 Priorizar Soluções Propostas**
Descrição:	Cada solução identificada deve ser preenchida em uma linha da coluna "Solução" da Matriz GUT de Priorização de Soluções, apresentada no item 9 do FAP. Para cada solução devem ser atribuídas uma nota em cada aspecto: Gravidade, Urgência e Tendência. Com relação a esses aspectos, vale esclarecer: • Gravidade: Medida de impacto da solução para a resolução do problema analisado. Deve-se levar em consideração alguns aspectos tais como: tarefas, pessoas, processos, dentre outras variáveis relacionadas ao problema. Recomenda-se o seguinte questionamento: "Quão grave é a falta da implementação da solução proposta? ". • Urgência: Medida de prazo, representa o tempo disponível/necessário para resolver o problema analisado. Quanto maior a urgência, menor será o tempo disponível para a implementação da solução proposta. Recomenda-se o seguinte questionamento: "A implementação da solução proposta pode esperar ou deve ser realizada imediatamente? ".

[10] http://transformation-logic-tree-inc.software.informer.com/
[11] https://www.openhub.net/p/jthinker

	• Tendência: Representa o potencial de crescimento do problema, a probabilidade de o problema se tornar maior, ou recorrente, com o passar do tempo caso a solução proposta não seja implementada. Avalia-se a tendência de crescimento, redução ou desaparecimento do problema. Recomenda-se o seguinte questionamento: "Se eu não implementar a solução proposta, o problema vai piorar pouco a pouco ou vai piorar bruscamente? ". As notas para cada aspecto devem ser atribuídas conforme a escala de 1 a 5: 1 para os menores valores e 5 para os maiores. Por exemplo: caso a solução proposta trate de uma causa raiz extremamente grave, urgentíssima e com alta tendência de se tornar recorrente e a piorar com o tempo, deve-se obter a seguinte pontuação: Gravidade = 5; Urgência = 5; Tendência = 5. Tão logo todas as soluções tenham uma nota atribuída, deve-se obter o grau de prioridade para a implementação de cada uma delas. O cálculo deve ser feito da seguinte forma: multiplica-se o valor de cada aspecto para cada solução proposta (G x U x T). Seguindo o exemplo anterior, o fator de prioridade desta solução, segundo a Matriz GUT, seria de 125. Ao comparar este resultado frente aos outros fatores obtidos para as demais soluções propostas, verifica-se a prioridade de implementação da referida solução frente às outras.
Pré-tarefa:	Analisar Proposta de Solução
Critérios de entrada:	Lista de soluções propostas
Critérios de saída:	Lista de soluções propostas priorizadas
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Elaborar Plano de Ação
Ferramentas:	Processador de Texto

Tarefa:	**3.4 Elaborar Plano de Ação**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é atribuir responsabilidades sobre cada solução proposta, a fim de que o trabalho de análise de causa e resolução de problemas não seja perdido. Para isso, é necessário atribuir um responsável e um prazo para o encaminhamento de cada proposta de solução. Recomenda-se que este responsável seja alguma pessoa, ou uma equipe composta de algum membro que esteja participando desta execução do método CARTOC. Vale ressaltar que é fundamental que o responsável tenha a autonomia necessária para direcionar a solução proposta com a intenção de implementá-la em um momento posterior. O plano de ação deve ser preenchido no item 10 do Formulário de Análise e Resolução do Problema.
Pré-tarefa:	Priorizar Soluções Propostas
Critérios de entrada:	Lista de soluções propostas priorizadas

Critérios de saída:	Plano de Ação elaborado
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Pós-tarefa:	Reportar Resultados Obtidos
Ferramentas:	Processador de texto

Atividade:	**4. Encerrar Execução do Método**
Descrição:	Esta atividade visa divulgar os resultados obtidos e as informações produzidas ao longo da execução do método CARTOC a todos os interessados e/ou envolvidos com o projeto. Pretende-se também armazenar todos os formulários e lições aprendidas gerados durante a execução deste método para que as aplicações futuras do CARTOC possam tirar proveito do conhecimento obtido nesta execução.

Tarefa:	**4.1 Reportar Resultados Obtidos**
Descrição:	O objetivo desta tarefa é apresentar, de forma objetiva, todo o processo de raciocínio desenvolvido pela equipe, listando o conhecimento obtido a partir das seguintes informações: os efeitos indesejados do problema; a Árvore da Realidade Atual; causas raiz identificadas; as injeções inicialmente propostas; a Árvore da Realidade Futura; as propostas de solução e respectiva prioridade; o plano de ação elaborado.
Pré-tarefa:	Elaborar Plano de Ação
Critérios de entrada:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Critérios de saída:	Apresentação das informações em um documento para divulgação
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Equipe de Análise
Artefatos requeridos:	Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Apresentação listando os resultados obtidos
Pós-tarefa:	Registrar Lições Aprendidas
Ferramentas:	Editor de apresentação

Tarefa:	**4.2 Registrar Artefatos**
Descrição:	Esta tarefa tem como objetivo registrar todas as informações produzidas ao longo do processo de análise, bem como as informações referentes à execução do método: data de início e término realizado; esforço realizado; custo realizado. Estas informações deverão ser atualizadas no Planejamento para Análise do Problema. Recomenda-se que todos os formulários produzidos ao longo da execução do método sejam armazenados no repositório de dados da organização. O Responsável do Grupo de Processo deve participar desta tarefa para verificar os resultados da execução do método e auxiliar o Responsável pela Análise no registro da documentação.
Pré-tarefa:	Reportar Resultados Obtidos
Critérios de entrada:	Planejamento para Análise do Problema

Critérios de saída:	Planejamento para Análise do Problema Documentação armazenada no repositório de dados
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Responsável do Grupo de Processo
Artefatos requeridos:	Planejamento para Análise do Problema Formulário de Registro do Problema Formulário de Análise e Resolução do Problema
Artefatos produzidos:	Planejamento para Análise do Problema
Pós-tarefa:	Registrar Lições Aprendidas
Ferramentas:	Processador de texto

Tarefa:	**4.3 Registrar Lições Aprendidas**
Descrição:	Esta tarefa tem como objetivo registrar as lições aprendidas (pontos positivos, pontos negativos, sugestões de melhoria, pontos de atenção, etc.) decorrentes da execução do método CARTOC com o propósito de prover conhecimento para aplicações futuras e melhoria do próprio método. O Responsável do Grupo de Processo deve participar desta tarefa para obter o *feedback* do Responsável pela Análise a respeito da execução do método.
Pré-tarefa:	Registrar Artefatos
Critérios de entrada:	Informações à cerca da execução do método.
Critérios de saída:	Informações à cerca da execução do método registradas.
Responsáveis:	Responsável pela Análise
Participantes:	Responsável do Grupo de Processo
Artefatos requeridos:	-
Artefatos produzidos:	-
Pós-tarefa:	Fim do método
Ferramentas:	Processador de texto

APÊNDICE V – Modelos de Formulário para Estudo de Viabilidade

Este apêndice apresenta os modelos de formulário que foram utilizados durante a execução do Estudo de Viabilidade e para avaliação do método CARTOC.

V.1 – Modelo do Termo de Consentimento

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO
Pesquisa: "Estudo de viabilidade do método CARTOC para análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software" Prezado(a), O método CARTOC compõe parte de uma pesquisa de mestrado voltada para análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software. No âmbito da avaliação experimental deste método, você está sendo convidado a participar do estudo de viabilidade que visa executar o método CARTOC e avaliar os resultados obtidos no contexto do projeto escolhido. O intuito do estudo é avaliar se o método é viável para a análise de causa e resolução de problemas em projetos de desenvolvimento de software. A sua participação é facultativa. 1) Procedimento O método será aplicado no contexto do projeto XXXX. As atividades e tarefas do método CARTOC, que demandadas durante a sua execução, serão apresentadas em um treinamento. Ao aceitar participar desta pesquisa, solicito a sua colaboração em: (I) executar os procedimentos selecionados do método; (II) permitir que os dados resultantes do estudo sejam analisados; (III) informar o tempo gasto nas atividades do

método; (IV) participar do treinamento para execução do método; (V) responder o questionário de avaliação do método. Seu nome não será utilizado em nenhum momento durante a execução do método.

2) Tratamento de possíveis riscos e desconfortos

Serão tomadas todas as providências durante a coleta de dados de forma a garantir a sua privacidade e seu anonimato. Os dados coletados durante o estudo destinam-se estritamente a atividades de pesquisa relacionadas ao método, não sendo utilizados em qualquer forma de avaliação profissional ou pessoal.

3) Benefícios e Custos

Almeja-se que a execução deste estudo venha a contribuir com o seu conhecimento sobre análise de causa e resolução de problemas em processos de software de maneira geral. Este estudo também contribui com dados experimentais que serão utilizados pela comunidade de pesquisa científica na área de Qualidade de Software.
Você não terá nenhum gasto, assim como não receberá qualquer espécie de gratificação devido à participação na pesquisa.

4) Confidencialidade da Pesquisa

Todas as informações coletadas são confidenciais. Seu nome, o da sua organização assim como informações as corporativas não serão divulgadas de modo algum, a não ser em caso de autorização explícita para esse fim.

5) Participação

Sua participação neste estudo é muito importante, porém facultativa. Você tem o direito de não querer participar ou de sair deste estudo a qualquer momento, sem penalidades. Em caso de desistência, favor notificar o pesquisador responsável.

6) Declaração de Consentimento

Li ou alguém leu para mim as informações contidas neste documento antes de assinar este termo de consentimento. Declaro que toda a linguagem técnica utilizada na descrição deste estudo de pesquisa foi explicada satisfatoriamente e que recebi respostas para todas as minhas dúvidas. Confirmo também que recebi uma cópia deste Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. Compreendo que sou livre para me retirar do estudo a qualquer momento, sem qualquer penalidade. Declaro ter mais de 18 anos e dou meu consentimento de livre e espontânea vontade para participar deste estudo.

Local e Data: _____

Organização: _____

PARTICIPANTE	PESQUISADOR
Nome: _____	Nome: Yure Ouriques Oliveira
Assinatura: _____	Assinatura: _____

V.2 – Modelo de Formulário de Avaliação

O objetivo deste formulário é avaliar o resultado obtido com a execução do método CARTOC no escopo da análise de causa e resolução de problemas, baseada na experiência dos participantes.

1) Possui alguma experiência prévia com análise de causa aplicada no contexto de desenvolvimento de software?
   ( ) Sim ( ) Não
2) Com relação à viabilidade de execução do método CARTOC no contexto de desenvolvimento de software escolhido, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
O tempo demandado para a execução de todas as tarefas foi viável.					
O tempo demandado para preenchimento dos formulários foi viável.					
O tempo demandado para a execução dos Processos de Pensamento foi viável.					
Considerando o método como um todo, a relação entre tempo de execução e os resultados obtidos torna o método viável para o contexto escolhido.					

Comentários

3) No tocante à facilidade de utilização do método, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Consegui compreender o propósito do método após o treinamento e antes da sua execução.					
Consegui compreender a descrição e realizar as atividades e tarefas propostas para o método.					
Consegui compreender o propósito de todos os					

formulários que compõem o método.					
A quantidade de informação demandada por cada formulário foi adequada à necessidade de cada tarefa.					
O uso dos formulários foi fundamental para a execução do método.					
Consegui compreender o propósito dos Processos de Pensamento após o treinamento e antes da execução do método.					
Consegui compreender os procedimentos para construção dos diagramas.					
Consegui construir e validar os diagramas sem dificuldade.					
Consegui utilizar a ferramenta escolhida para construir os diagramas sem dificuldade.					
O método é fácil de executar.					
Eu usaria o método em iterações/projetos futuros.					

Comentários

4) No que se refere à coerência das causas e soluções identificadas, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Os resultados obtidos com a aplicação do método estavam coerentes com a minha expectativa.					
A sequência das tarefas proposta pelo método foi importante para o alcance dos resultados.					
Seria possível identificar as causas dos problemas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.					
Seria possível identificar as soluções propostas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.					
Os Processos de Pensamento auxiliaram na validação dos relacionamentos de causa e efeito.					
O processo de priorização ajudou a identificar as					

soluções mais importantes.					
O plano de ação é importante para a implantação das soluções propostas.					

Comentários

5) Caso tenha alguma sugestão de melhoria, crítica ou comentário adicionais sobre a execução do método, utilize o espaço abaixo:

Comentários

APÊNDICE VI – Artefatos do Estudo de Viabilidade

Este apêndice apresenta todos os formulários que foram produzidos durante a execução do Estudo de Viabilidade do método CARTOC no contexto do Projeto ABC, assim como a avaliação dos participantes.

VI.1 – Planejamento para Análise do Problema (PAP)

VI.1.1. Introdução

O Planejamento para Análise do Problema (PAP) visa auxiliar a condução do método CARTOC durante a fase de encerramento de um projeto ou de uma iteração. O objetivo deste planejamento é realizar um levantamento dos desvios críticos do projeto, avaliar a criticidade de cada um deles com o intuito de justificar a aplicação das próximas tarefas do método. Além disso, este planejamento visa registrar as pessoas envolvidas com a aplicação do método, as tarefas que deverão ser desempenhadas e o planejamento de prazo e custo para a execução de cada uma dessas tarefas.

VI.1.2. Análise dos Desvios Críticos de Projeto

Esta análise tem como objetivo contextualizar cada desvio crítico do Projeto ABC que motivou a aplicação do método CARTOC.

Desvio:	Baixa qualidade nas entregas do projeto.
Tipo:	( ) Indicador de projeto ( ) Problema recorrente (x) Problema circunstancial
Previsto:	Entrega com baixa ocorrência de erros (menor que 5 erros para cada 100 pontos de função).
Realizado:	Nas entregas 2 e 3 tivemos uma média de 5 erros para cada 35 pontos de função.

Justificativa:	A quantidade de erros observada, principalmente nas entregas 2 e 3, estava muito acima do previsto como aceitável no contrato fornecimento de serviços.

Desvio:	Atraso nas entregas planejadas para o projeto.
Tipo:	(x) Indicador de projeto ( ) Problema recorrente ( ) Problema circunstancial
Previsto:	Data de término prevista para o projeto: 20/12/2016 Desvio de prazo previsto: 0%
Realizado:	Data de término realizada para o projeto: 23/06/2017 Desvio de prazo realizado: 28,21%
Justificativa:	O atraso em diversas entregas impactou a data final do projeto, acarretando no desvio de prazo de 28,21%.

Desvio:	Alteração das necessidades de negócio durante o projeto.
Tipo:	( ) Indicador de projeto ( ) Problema recorrente (x) Problema circunstancial
Previsto:	O escopo formalizado no início do projeto deveria atender por completo as necessidades de negócio do projeto.
Realizado:	Os necessidades de negócio foram alteradas ao longo do projeto.
Justificativa:	O escopo entregue não atendeu por completo a necessidade do usuário.

VI.1.3. Tarefas e Responsáveis

As tarefas a serem realizadas durante a condução do método, bem como os respectivos papéis responsáveis pela sua execução, estão descritos na Tabela 18 a seguir:

Tabela 18 – Tarefas e papéis da análise de causa e resolução de problemas

Tarefa	RA	RG	EA	EP
Elaborar Planejamento para Análise	X	X		
Coletar Indícios do Problema	X		X	
Desenvolver Diagrama de Causa	X		X	
Avaliar Diagrama de Causa	X		X	X
Identificar Causa Raiz	X		X	
Elaborar Proposta de Solução	X		X	
Analisar Proposta de Solução	X		X	X
Priorizar Soluções Propostas	X		X	
Elaborar Plano de Ação	X		X	
Reportar Resultados Obtidos	X		X	
Registrar Artefatos	X	X		
Registrar Lições Aprendidas	X	X		

Legenda: **RA** – Responsável pela Análise; **RG** – Responsável do Grupo de Processo; **EA** – Equipe de Análise; **EP** – Equipe do Projeto

A Tabela 19 a seguir relaciona todas as pessoas envolvidas com a execução do método, com os respectivos papéis e o custo da hora de trabalho:

Tabela 19 – Responsáveis e papéis

Responsável	RA	EA	EP	RG	Custo da hora
Participante P1	X			X	R$ 300
Participante P2	X				R$ 260

Legenda: **RA** – Responsável pela Análise; **RG** – Responsável do Grupo de Processo; **EA** – Equipe de Análise; **EP** – Equipe do Projeto

VI.1.4. Planejamento de Prazo e Custo

O prazo e o custo para a condução de cada tarefa do método CARTOC estão descritos, respectivamente, nas Tabela 20 e Tabela 21:

Tabela 20 – Cronograma planejado x realizado

Tarefa	Data de Início Planejado	Data de Término Planejado	Data de Início Realizado	Data de Término Realizado
Elaborar PAP	09/05/2017	09/05/2017	09/05/2017	09/05/2017
Coletar Indícios do Problema	10/05/2017	10/05/2017	10/05/2017	10/05/2017
Desenvolver Diagrama de Causa	10/05/2017	10/05/2017	10/05/2017	11/05/2017
Avaliar Diagrama de Causa	10/05/2017	11/05/2017	11/05/2017	11/05/2017
Identificar Causa Raiz	11/05/2017	11/05/2017	17/05/2017	17/05/2017
Elaborar Proposta de Solução	11/05/2017	11/05/2017	17/05/2017	19/05/2017
Analisar Proposta de Solução	11/05/2017	15/05/2017	19/05/2017	19/05/2017
Priorizar Soluções Propostas	15/05/2017	15/05/2017	24/05/2017	24/05/2017
Elaborar Plano de Ação	15/05/2017	15/05/2017	24/05/2017	24/05/2017

Tabela 21 – Estrutura de custo planejada x realizada

Tarefa	Esforço planejado por pessoa	Esforço realizado por pessoa	Custo total planejado	Custo total realizado
Elaborar PAP	1:00	0:54	R$ 560,00	R$ 504,00
Coletar Indícios do Problema	0:30	1:00	R$ 280,00	R$ 560,00
Desenvolver Diagrama de Causa	1:00	1:57	R$ 560,00	R$ 1.092,00
Avaliar Diagrama de Causa	1:00	0:42	R$ 560,00	R$ 392,00
Identificar Causa Raiz	0:15	0:16	R$ 140,00	R$ 145,60
Elaborar Proposta de Solução	1:00	0:17	R$ 560,00	R$ 156,80
Analisar Proposta de Solução	1:30	1:01	R$ 840,00	R$ 565,60
Priorizar Soluções Propostas	0:45	0:17	R$ 420,00	R$ 156,80
Elaborar Plano de Ação	0:30	0:09	R$ 280,00	R$ 84,00
TOTAL	**7:30**	**6:33**	**R$ 4.200,00**	**R$ 3.656,80**

VI.2 – Formulário de Registro do Problema (FRP)

VI.2.1. Introdução

Este formulário tem como objetivo caracterizar o cenário problemático a ser investigado. Para isso, deve-se descrever o contexto do projeto, as partes envolvidas e o cenário problemático que acarretou os desvios críticos detalhados anteriormente.

VI.2.2. Descrição do objetivo do projeto investigado

O objetivo do projeto era realizar uma manutenção evolutiva em um sistema de *e-commerce*. O escopo deste projeto residia na inclusão de novas funcionalidades para um cenário de negócio que ainda não era tratado pelo sistema. Todo este processo era feito por meio de planilha eletrônica e troca de e-mails com os clientes da Empresa A.

VI.2.3. Lista dos envolvidos com o projeto

O representante da área de negócio da organização (Empresa A), o qual realizava toda a interação com os clientes, era responsável por apresentar as necessidades de negócio para a equipe de TI. A equipe de TI era composta tanto por funcionários próprios da organização, como funcionários da prestadora de serviços de TI (Empresa B) desta organização.

Os funcionários próprios da TI da organização eram responsáveis por detalhar os requisitos do sistema e gerenciar as entregas do projeto. A prestadora de serviços era responsável pelas atividades de desenvolvimento e teste.

VI.2.4. Descrição do contexto do problema

- O escopo do processo de negócio a ser atendido pelo projeto estava definido, entretanto, os requisitos deste processo foram alterados diversas vezes durante a fase de levantamento.
- O funcionário da prestadora de serviços alocado para o projeto era inexperiente e não entregava as tarefas delegadas com a qualidade esperada.
- Divergências na contagem de pontos por função entre a organização e a prestadora de serviço, o que acarretou em um atraso considerável para o início do projeto.
- As entregas 2 e 3 do projeto apresentaram uma quantidade de erros muito superior ao que era aceitável conforme contrato de prestação de serviço.

- Foi solicitada a correção desses erros para a entrega 4, os quais foram corrigidos. Entretanto, durante a apresentação da entrega 4 surgiram novas alterações de requisito.
- O início do desenvolvimento da entrega 5 foi suspenso para que os funcionários da organização pudessem validar a correção dos erros das entregas anteriores. Isso acarretou atraso na entrega 5, o qual era possível de ser recuperado até a entrega final do projeto.
- Após a verificação das correções realizadas, a prestadora de serviço não iniciou o desenvolvimento da entrega 5 no prazo acordado.
- A solicitação de mudança decorrente das alterações solicitadas ao final da entrega 4 não foi aprovada, assim o escopo final do projeto não ficou aderente à necessidade do processo de negócio.
- A solicitação de mudança não foi aprovada porque o responsável pela aprovação não aceitava que o atraso decorrente do início da iteração 5 fosse incorporada ao novo cronograma do projeto.
- Outro motivo para a solicitação de mudança não ter sido aprovada foi a variação de tarifa dos centros de trabalho envolvido com o projeto, uma vez que o projeto estava previsto para ser encerrado em 2016 e a nova data de término seria em 2017.
- O esforço de planejamento da solicitação de mudança também impactou no atraso do projeto.
- Ao longo do desenvolvimento do projeto, foi observada uma alta rotatividade nos funcionários alocados na prestadora de serviço.

VI.3 – Formulário de Análise e Resolução do Problema (FAP)

VI.3.1. Introdução

Este formulário consolida as informações resultantes das atividades “Analisar e Identificar as Causas” e “Propor e Priorizar Soluções”. As informações utilizadas durante a investigação da causa raiz e desenvolvimento da proposta de solução estão descritas nos itens a seguir.

VI.3.2. Efeitos Indesejáveis (*Undesirable Effect* – UDE)

UDE1 – Atraso nas entregas do projeto

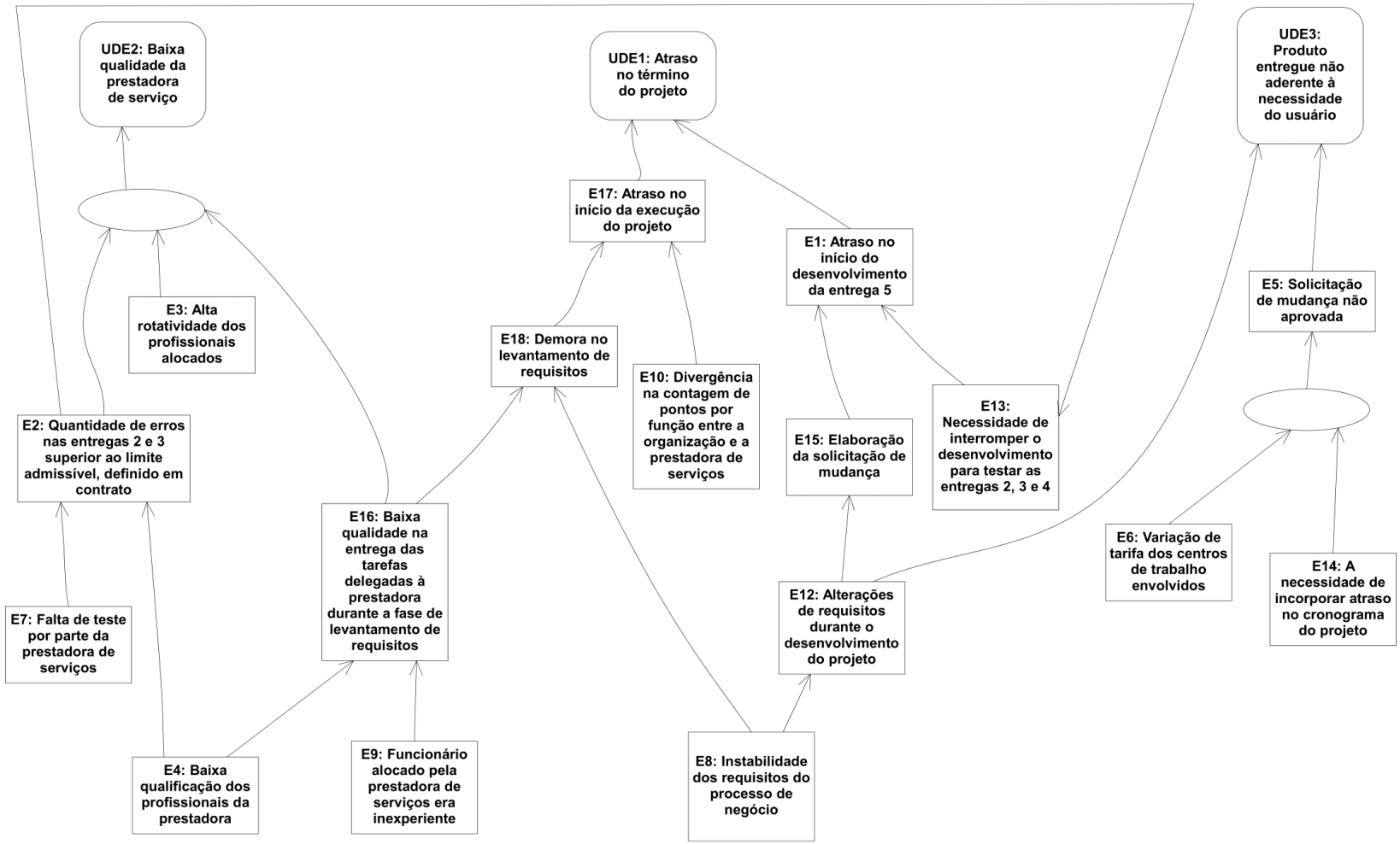
UDE2 – Baixa qualidade da prestadora de serviço

UDE3 – Produto entregue não aderente à necessidade do usuário

VI.3.3. Matriz de Causas

	EI1 – Atraso nas entregas do projeto	EI2 – Baixa qualidade da prestadora de serviço	EI3 – Produto entregue não aderente à necessidade do usuário
1º nível de causa	Atraso no início do desenvolvimento da entrega 5	Alta rotatividade dos profissionais alocados	Solicitação de mudança não aprovada
2º nível de causa	Baixa qualidade nas entregas 2 e 3	Baixa qualificação dos profissionais da prestadora	Variação de tarifa dos centros de trabalho envolvidos

VI.3.4. Diagrama da Árvore da Realidade Atual



VI.3.5. Matriz de Dependência da Causa Raiz

Ponto de Entrada	UDE1: Atraso no término do projeto	UDE2: Baixa qualidade da prestadora de serviço	UDE3: Produto entregue não aderente à necessidade do usuário	Grau de Impacto
E3		X		33%
E7	**X**	**X**		**66%**
E4	**X**	**X**		**66%**
E9	**X**	**X**		**66%**
E8	**X**		**X**	**66%**
E10	X			33%
E6			X	33%
E14			X	33%

Legenda: **E** – Entidade da Árvore da Realidade Atual

VI.3.6. Proposta de Solução

a. Tabela de Injeções

Causa Raiz	Injeção
E7: Falta de teste por parte da prestadora de serviços	INJ1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega INJ2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro
E4: Baixa qualificação dos profissionais da prestadora	E4 está fora do escopo de atuação da organização.
E9: Funcionário alocado pela prestadora de serviços era inexperiente	E9 está fora do escopo de atuação da organização.
E8: Instabilidade dos requisitos do processo de negócio	INJ3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.

Legenda: **E** – Entidade da Árvore da Realidade Atual; **INJ** – Injeção (proposta de solução para entidade causa raiz)

b. Diagrama de Evaporação de Nuvens

Não se aplica.

c. Tabela de Pressupostos e Injeções da EN

Não se aplica.

d. Diagrama de Evaporação de Nuvens (Solução)

Não se aplica.

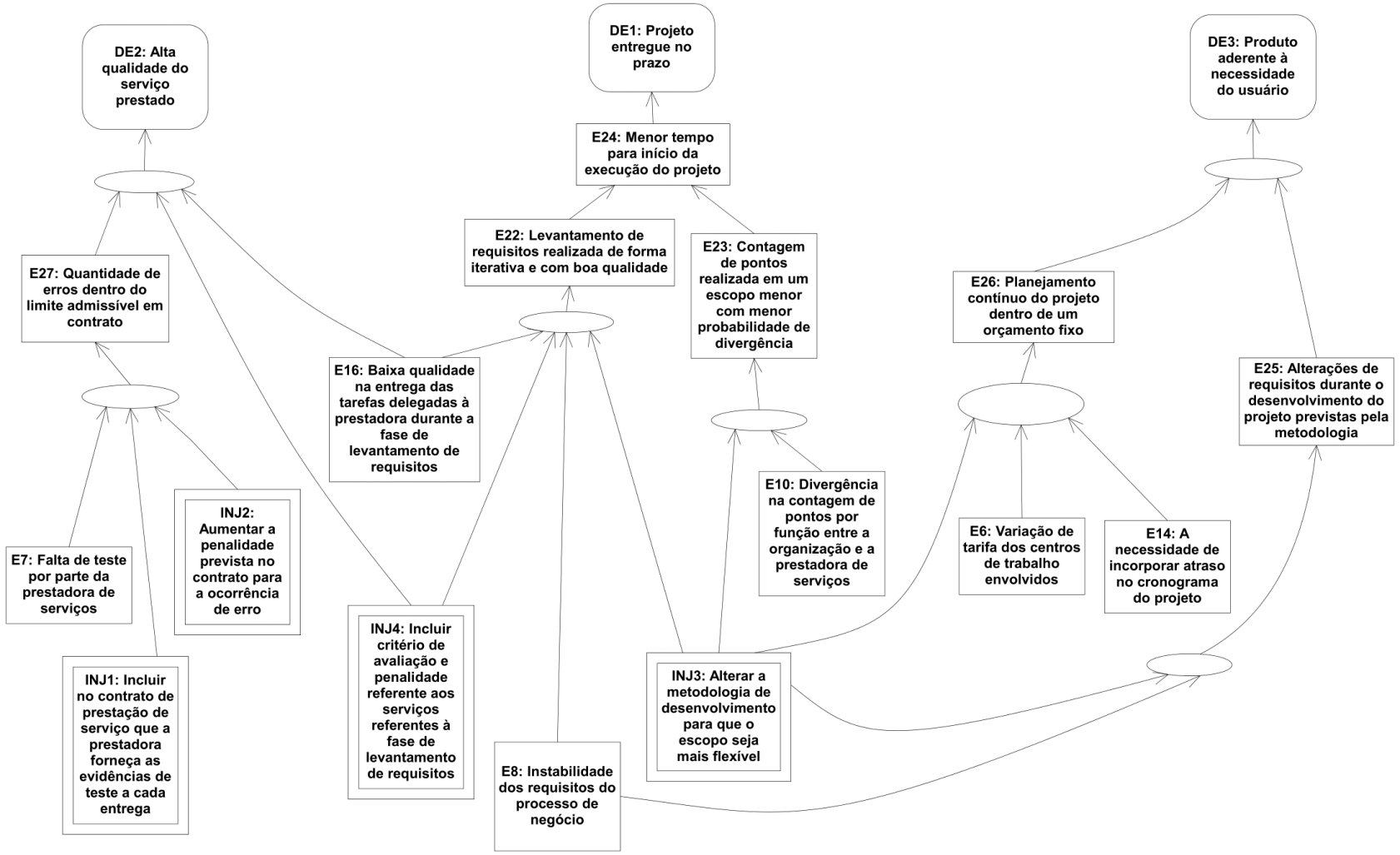
VI.3.7. Efeitos Desejáveis (*Desirable Effect* – DE)

DE1 – Projeto entregue no prazo

DE2 – Alta qualidade do serviço prestado

DE3 – Produto aderente à necessidade do usuário

VI.3.1. Diagrama da Árvore da Realidade Futura



a. Lista final de soluções (injeções) para o problema

- Solução 1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega.
- Solução 2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro.
- Solução 3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.
- Solução 4: Incluir no contrato de prestação de serviço critério de avaliação e penalidade referente aos serviços da fase de levantamento de requisitos.

VI.3.2. Matriz GUT de Priorização de Soluções

Solução	Gravidade	Urgência	Tendência	Grau Crítico	Prioridade
Solução 1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega.	3	2	3	18	1
Solução 2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro.	3	2	3	18	1
Solução 3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.	2	1	2	4	2
Solução 4: Incluir no contrato de prestação de serviço critério de avaliação e penalidade referente aos serviços referentes à fase de levantamento de requisitos.	3	2	3	18	1

VI.3.3. Plano de Ação

N°	Solução	Ação	Responsável	Prazo
1	Solução 1: Incluir no contrato de prestação de serviço que a prestadora forneça as evidências de teste a cada entrega.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
1	Solução 2: Aumentar a penalidade prevista no contrato para a ocorrência de erro.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
1	Solução 4: Incluir no contrato de prestação de serviço critério de avaliação e penalidade referente aos serviços da fase de levantamento de requisitos.	Apresentar sugestão de solução para o grupo de trabalho responsável pela elaboração da minuta do contrato.	Participante P2	31/05/2017
2	Solução 3: Alterar a metodologia de desenvolvimento para que o escopo seja mais flexível.	Apresentar sugestão de solução para a gerência responsável pela gestão de projetos.	Participante P1	31/05/2017

VI.4 – Formulário de Avaliação – Participante P1

O objetivo deste formulário é avaliar o resultado obtido com a execução do método CARTOC no escopo da análise de causa e resolução de problemas, baseada na experiência dos participantes.

1) Possui alguma experiência prévia com análise de causa aplicada no contexto de desenvolvimento de software?
   ( ) Sim (x) Não
2) Com relação à viabilidade de execução do método CARTOC no contexto de desenvolvimento de software escolhido, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
O tempo demandado para a execução de todas as tarefas foi viável.					X
O tempo demandado para preenchimento dos formulários foi viável.					X
O tempo demandado para a execução dos Processos de Pensamento foi viável.					X
Considerando o método como um todo, a relação entre tempo de execução e os resultados obtidos torna o método viável para o contexto escolhido.					X

Comentários
A execução do método é viável caso exista uma pessoa com domínio do método CARTOC conduzindo as atividades e explicando os passos para os demais participantes.

3) No tocante à facilidade de utilização do método, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Consegui compreender o propósito do método após o treinamento e antes da sua execução.	X				
Consegui compreender a descrição e realizar as atividades e tarefas propostas para o método.				X	
Consegui compreender o propósito de todos os					X

formulários que compõem o método.					
A quantidade de informação demandada por cada formulário foi adequada à necessidade de cada tarefa.					X
O uso dos formulários foi fundamental para a execução do método.					X
Consegui compreender o propósito dos Processos de Pensamento após o treinamento e antes da execução do método.	X				
Consegui compreender os procedimentos para construção dos diagramas.				X	
Consegui construir e validar os diagramas sem dificuldade.					X
Consegui utilizar a ferramenta escolhida para construir os diagramas sem dificuldade.				X	
O método é fácil de executar.				X	
Eu usaria o método em iterações/projetos futuros.					X

Comentários
A ferramenta utilizada para a construção dos diagramas não organizava as entidades automaticamente, o que demandou um tempo extra na organização para evitar a sobreposição entre relacionamentos e entidades. Durante a construção da ARA não ficou claro que o 1° nível de causa é efeito do 2° nível de causa. Ficou faltando a descrição de um passo, durante a elaboração da ARA, para a definição do escopo de atuação da organização. Haja vista que nem todas as causas raiz identificadas eram passíveis de tratamento apenas pela organização. A descrição da tarefa "Elaborar Proposta de Solução" estava um pouco confusa, no que se refere à adoção ou não da Evaporação de Nuvens. O procedimento de construção da ARF ficou confusa quando a EN não era utilizada.

4) No que se refere à coerência das causas e soluções identificadas, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Os resultados obtidos com a aplicação do método estavam coerentes com a minha expectativa.					X
A sequência das tarefas proposta pelo método foi importante para o alcance dos resultados.					X
Seria possível identificar as causas dos problemas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.				X	
Seria possível identificar as				X	

soluções propostas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.					
Os Processos de Pensamento auxiliaram na validação dos relacionamentos de causa e efeito.					X
O processo de priorização ajudou a identificar as soluções mais importantes.				X	
O plano de ação é importante para a implantação das soluções propostas.					X

Comentários
Antes da execução do método, suspeitava-se que as causas identificadas eram possíveis causas para o problema relatado. Entretanto, só ficou claro o real impacto dessas causas após a análise de causa. As Categorias de Ressalva Legítima foram fundamentais para a construção dos diagramas de ARA e ARF. Entretanto, sem a condução do responsável do grupo de processo, não sei se teria o mesmo efeito e importância.

5) Caso tenha alguma sugestão de melhoria, crítica ou comentário adicionais sobre a execução do método, utilize o espaço abaixo:

Comentários
O método de fato auxilia na identificação das causas raiz e ajudou a mapear o impacto de cada causa para este contexto do projeto. Sem o método CARTOC, não seria possível identificar as relações de causa e efeito das causas até os problemas identificados. Entretanto, o método carece de pequenas melhorias com base nos comentários das questões anteriores.

VI.5 – Formulário de Avaliação – Participante P2

O objetivo deste formulário é avaliar o resultado obtido com a execução do método CARTOC no escopo da análise de causa e resolução de problemas, baseada na experiência dos participantes.

1) Possui alguma experiência prévia com análise de causa aplicada no contexto de desenvolvimento de software?

   ( ) Sim (x) Não

2) Com relação à viabilidade de execução do método CARTOC no contexto de desenvolvimento de software escolhido, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente

O tempo demandado para a execução de todas as tarefas foi viável.					X
O tempo demandado para preenchimento dos formulários foi viável.					X
O tempo demandado para a execução dos Processos de Pensamento foi viável.					X
Considerando o método como um todo, a relação entre tempo de execução e os resultados obtidos torna o método viável para o contexto escolhido.					X

Comentários
Difícil analisar separadamente o tempo gasto para cada atividade. Se a análise de causa não fosse conduzida com o apoio de uma pessoa que tivesse o domínio do método, o tempo de execução seria maior do que o observado neste estudo.

3) No tocante à facilidade de utilização do método, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Consegui compreender o propósito do método após o treinamento e antes da sua execução.				X	
Consegui compreender a descrição e realizar as atividades e tarefas propostas para o método.				X	
Consegui compreender o propósito de todos os formulários que compõem o método.					X
A quantidade de informação demandada por cada formulário foi adequada à necessidade de cada tarefa.					X
O uso dos formulários foi fundamental para a execução do método.				X	
Consegui compreender o propósito dos Processos de Pensamento após o treinamento e antes da execução do método.					X
Consegui compreender os procedimentos para construção dos diagramas.					X
Consegui construir e validar os diagramas sem dificuldade.					X
Consegui utilizar a ferramenta escolhida para construir os diagramas sem dificuldade.				X	

O método é fácil de executar.					X
Eu usaria o método em iterações/projetos futuros.					X

Comentários
O item "Descrição do objetivo do projeto" não contribuiu na análise. A ferramenta poderia ter a possibilidade de reorganizar os elementos do diagrama automaticamente.

4) No que se refere à coerência das causas e soluções identificadas, qual o seu grau de concordância com as afirmações abaixo:

	Não sei / Não pertinente	Discordo Totalmente	Discordo Parcialmente	Concordo Parcialmente	Concordo Totalmente
Os resultados obtidos com a aplicação do método estavam coerentes com a minha expectativa.					X
A sequência das tarefas proposta pelo método foi importante para o alcance dos resultados.					X
Seria possível identificar as causas dos problemas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.				X	
Seria possível identificar as soluções propostas sem a aplicação dos Processos de Pensamento.				X	
Os Processos de Pensamento auxiliaram na validação dos relacionamentos de causa e efeito.					X
O processo de priorização ajudou a identificar as soluções mais importantes.				X	
O plano de ação é importante para a implantação das soluções propostas.					X

Comentários
Os critérios da priorização são subjetivos, o que pode atrapalhar o resultado final. No treinamento não vi muita importância nas Categorias de Ressalva Legítima, mas na execução do método elas foram fundamentais para a construção das relações de causa e efeito.

5) Caso tenha alguma sugestão de melhoria, crítica ou comentário adicionais sobre a execução do método, utilize o espaço abaixo:

Comentários