

INTEGRAÇÃO DE **FERRAMENTAS DE GERENCIAMENTO DE PROJETO**

E DETERMINAÇÃO DO
PULMÃO DE TEMPO
EM UM AMBIENTE DE
MÚLTIPLOS PROJETOS
PELO USO DE
CORRENTE CRÍTICA



WELLINTON DE ASSUNÇÃO
2026

Wellinton de Assunção

Integração de Ferramentas de Gerenciamento de Projeto e determinação do pulmão de tempo em um ambiente de múltiplos projetos pelo uso de corrente crítica

1ª EDIÇÃO



SÃO LUÍS - 2026



EDITORA NOVUS

SÃO LUÍS - MA - 2026



WWW.EDITORANOVUS.COM.BR



EDITORANOVUS@GMAIL.COM

Diagramação e Edição

Eduardo Mendonça Pinheiro

Edição de Arte

Romilson Carneiro Rodrigues

Conteudista

Wellinton de Assunção © 2026

Normalização

José Marcelino Nascimento Veiga Júnior



© 2026 Copyright – Direitos reservados. A Editora Novus é detentora dos direitos autorais relativos à edição, diagramação e ao projeto gráfico da presente obra. Os autores permanecem titulares dos direitos autorais de seus respectivos textos. Esta publicação está licenciada sob a Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0), permitindo a reprodução, o download e o compartilhamento total ou parcial do conteúdo, desde que a fonte seja devidamente citada, com atribuição obrigatória de autoria, e que a obra seja disponibilizada exclusivamente em Acesso Aberto (Open Access). Não é permitida qualquer forma de alteração, adaptação ou modificação do conteúdo, bem como sua disponibilização em plataformas de acesso restrito ou com finalidade comercial.

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A848i

Assunção, Wellinton de

Integração de ferramentas de gerenciamento de projeto e determinação do pulmão de tempo em um ambiente de múltiplos projetos pelo uso de corrente crítica. / Wellinton de Assunção. – São Luís: Editora Novus, 2026.

214 f.: il. color.

Publicação digital (e-book) no formato PDF

ISBN: 978-65-84364-47-9

DOI: 10.29327/5867950

1. Gerenciamento de projetos. 2. Ambiente multiprojetos. 3. Corrente Crítica (CCPM). 4. Teoria das Restrições. 5. Otimização de recursos. I. Título.

CDU: 005.8:658.012.2

Elaborado por José Marcelino Nascimento Veiga Júnior – CRB 13/320

CONSELHO EDITORIAL

Dr^a Anali Linhares Lima
M.Sc. Alan Jefferson Lima de Moraes
Dr. André Leonardo Demaison Medeiros Maia
Dr^a Anna Christina Sanazario de Oliveira
Dr^a Aurea Maria Barbosa de Sousa
Dr^a Camila Pinheiro Nobre
Dr. Claudio Alves Benassi
Dr. Cleiseano Emanuel da Silva Paniagua
Dr^a Claudiene Diniz da Silva
Dr. Diogo Guagliardo Neves
M.Sc. Eduardo Oliveira Pereira
Dr^a Elba Pereira Chaves
Dr. Elmo de Sena Ferreira Junior
M.Sc. Érica Mendonça Pinheiro
Dr. Fabio Antonio da Silva Arruda
M.Sc. Fernanda Tabita Barroso Zeidan
Dr. George Alberto da Silva Dias
Dr^a Gerbeli de Mattos Salgado Mochel
Dr^a Giselle Cutrim de Oliveira Santos
Dr^a Herlane de Olinda Vieira Barros
Dr^a Ivete Furtado Ribeiro Caldas
M.Sc. José Carlos Durans Pinheiro
M.Sc. Josiney Farias de Araújo

M.Sc. Julianno Pizzano Ayoub
M.Sc. Lucianna Serfaty de Holanda
Dr^a Luciara Bilhalva Corrêa
Dr^a Luana Martins Cantanhede
Dr^a Maria Raimunda Chagas Silva
Dr^a Marina Bezerra Figueiredo
M.Sc. Mayanne Camara Serra
Dr^a Michela Costa Batista
Dr. Moisés dos Santos Rocha
Dr^a Priscila Xavier de Araújo
M.Sc. Ramaiany Carneiro Mesquita
Dr^a Rita de Cássia Silva de Oliveira
M.Sc. Rosany Maria Cunha Aranha
Dr. Saulo José Figueiredo Mendes
Dr^a Samantha Ariadne Alves de Freitas
Dr^a Sandra Imaculada Moreira Neto
M.Sc. Shirley Ribeiro Carvalho
Dr^a Sinara de Fátima Freire dos Santos
M.Sc. Tatiana Mendes Bacellar
Dr^a Thais Roseli Corrêa
Dr^a Thalita Karolline de Queiroz Pereira
M.Sc. Victor Crespo de Oliveira
Dr. William de Jesus Ericeira Mochel Filho

Acesse www.editoranovus.com.br/corpo-editorial-2/ para conhecer os membros do Corpo Editorial

Parecer editorial e avaliação por pares

Os trabalhos que integram esta obra foram submetidos à apreciação do Conselho Editorial da Editora Novus e avaliados por pareceristas externos, por meio do sistema de revisão por pares (peer review), tendo sido considerados aptos para publicação.

Nota editorial: Trata-se de uma produção de caráter independente, na qual os direitos autorais permanecem sob a titularidade de seus respectivos autores. Eventualmente, alguns textos podem apresentar desdobramentos de pesquisas, comunicações ou trabalhos acadêmicos previamente apresentados ou defendidos, cabendo aos autores a observância rigorosa das boas práticas acadêmicas, especialmente no que se refere à prevenção do autoplágio. O conteúdo das obras é de responsabilidade exclusiva dos autores, não refletindo, necessariamente, o posicionamento da Editora Novus, dos organizadores, dos revisores ou dos membros do Conselho Editorial.

PREFÁCIO

Este livro sobre Gestão de Projetos representa uma contribuição significativa para a área de Engenharia de Produção, consolidando anos de pesquisa acadêmica e experiência prática docente. A obra tem como base sólida a tese de doutorado desenvolvida na Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) defendida em 2018, instituição de excelência reconhecida nacionalmente pela qualidade de seus programas de pós-graduação em Engenharia Mecânica. A trajetória acadêmica que culminou nesta publicação reflete um compromisso com o rigor científico e com a geração de conhecimento aplicado que possa efetivamente transformar a prática profissional.

A importância da Gestão de Projetos no contexto contemporâneo não pode ser subestimada. Em um mundo cada vez mais complexo e competitivo, a capacidade de planejar, executar e controlar projetos de forma eficiente tornou-se competência essencial para organizações de todos os portes e segmentos. Este livro aborda os fundamentos teóricos e as ferramentas práticas necessárias para o desenvolvimento dessa competência, oferecendo ao leitor uma visão abrangente e atualizada das melhores práticas da área.

Apresento neste trabalho uma abordagem prática e orientada a resultados para o agendamento de projetos em ambientes com múltiplos projetos concorrentes. O objetivo principal é oferecer uma solução heurística capaz de resolver as restrições de recursos entre projetos, permitindo estabelecer uma programação factível e eficiente mesmo diante de conflitos e prioridades divergentes. Além disso, propomos modelos de dimensionamento do Pulmão de Tempo do Projeto e do Pulmão de Tempo de Alimentação, aplicando a metodologia CCPM (*Critical Chain Project Management*) para lidar com incertezas e complexidade típicas de portfólios de multiprojetos, de modo a melhorar a proteção temporal das cadeias críticas e a estabilidade do fluxo de trabalho.

O trabalho também realiza uma comparação empírica entre o método proposto e abordagens consolidadas, como o método “Corta e Cola” (C&PM) e o Método da “Raiz Quadrada do Erro” (RSEM), avaliando-os por meio de indicadores de desempenho do pulmão: maior tempo de consumo (dias), tempo médio de consumo (dias) e número de ocorrências de consumo do pulmão. Essas métricas permitem quantificar a eficácia das estratégias de proteção temporal e verificar em que condições a solução heurística e os modelos de dimensionamento apresentam melhores resultados, oferecendo subsídios para gestores que desejam equilibrar eficiência, robustez e previsibilidade em ambientes de múltiplos projetos.

A experiência docente do autor, acumulada ao longo de mais de duas décadas na Universidade Estadual do Maranhão (UEMA), perpassa toda a obra. Essa vivência no ambiente universitário permitiu identificar as ne-

cessidades reais dos estudantes e profissionais da área, resultando em um conteúdo que equilibra profundidade teórica com aplicabilidade prática. Os exemplos, estudos de caso e exercícios propostos refletem situações reais enfrentadas por gestores de projetos, facilitando a transferência do conhecimento para o contexto profissional. Agradeço profundamente ao meu orientador, Prof. Dr. Olívio Novaski, pela oportunidade concedida para o desenvolvimento desta tese. Seu constante apoio, orientação precisa e disponibilidade nos momentos decisivos foram fundamentais para a conclusão deste trabalho. Agradeço igualmente pela confiança depositada em minhas ideias e pelo esforço em proporcionar os recursos e o direcionamento necessários ao sucesso deste estudo.

Este livro dirige-se não apenas aos estudantes de graduação e pós-graduação em Engenharia e áreas afins, mas também aos profissionais que atuam com gestão de projetos e buscam aprofundar seus conhecimentos ou atualizar suas práticas. A clareza expositiva, o rigor metodológico e a riqueza de detalhes técnicos tornam esta obra uma referência obrigatória para quem deseja dominar os princípios e as ferramentas da Gestão de Projetos. É com grande satisfação que apresento esta contribuição ao campo da Engenharia de Produção, confiando que ela será bem recebida pela comunidade acadêmica e profissional.

Boa leitura!

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AHP - *Analytic Hierarchy Process* - Análise Hierárquica de Processos

AMP - Ambiente de Múltiplos Projetos

C&PM - *Cut & Paste Method* - MétodoCorta e Cola

CCPM - *Critical Chain Project Management* - Método da Corrente Crítica.

CPM - *Critical Path Method* - Método do Caminho Crítico

Cri - Complexidade da rede

EAP - Estrutura Analítica do Projeto

EPCP- Escritório do Planejamento e Controle de Projetos

Fa - Flexibilidade da atividade

FAPT- Fator de Adequação do Pulmão de Tempo

FB- *Feeding Buffe* - Pulmão de Alimentação.

FCS - Fatores Críticos de Sucesso.

FMEA - *Failure Mode and Effect Analysis* - Análise do Modo e Efeito de Falha.

FT - *Slack time* - tempo de folga

GERT - *Graphical Evaluation and Review Technique* - Técnica de Revisão e Avaliação Gráfica

GP – Gerenciamento de Projetos

IMC - *Earliest Start time* - tempo de início mais cedo

IMT - *Earliest Finish time* - tempo de início mais tarde

Kip - Incertezas e Complexidade do projeto

MAXTWK - *Maximum Total Work Content* - Máximo Conteúdo Trabalho Total.

MOF - *Maximum (longest) Operation First* - Maior Tempo de duração na atividade

NPR - Números de Prioridade de Risco

PA - Pulmão de Alimentação

PB - *Project Buffer* - Pulmão de Projeto

PC - Pulmão de recursos

PCP - Planejamento e Controle da Produção

PDM - *Precedence Diagram Method* - Método do Diagrama de Precedência

PERT - *Program Evaluation and Review Technique* - Técnica de Revisão e Avaliação de programa

PMBOK® - *Project Management Body of Knowledge* - Guia do Conjunto de Conhecimentos em Gerenciamento de Projetos

PMI® - *Project Management Institute* - Instituto de Gerenciamento de Projetos

PMO - *Project Management Office* - Escritório de Gerenciamento de Projetos

PP - Pulmão de Projeto

RB - *Resource Buffer* - Pulmão de recurso

RCMPSP - *Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem* - Problema de Programação com Restrição de Recursos de Múltiplos Projetos

RCPSP - *Resource-Constrained Project Scheduling Problem* - Problemas de Planejamento e Programação de Recursos

RSEM - *Root Square Error Method* - Método da Raiz Quadrada do Erro.

Rti - Disponibilidade / variação de recurso

TMC - *Latest Start time* - tempo de término mais cedo

TMT - *Latest Finish time* - tempo de término mais tarde

TOC - *Theory of Constraints* - Teoría das Restrições

Sumário

CAPÍTULO 113

INTRODUÇÃO

Contextualização do estudo.....	15
Formulação do Problema de Pesquisa.....	16
Hipóteses da Pesquisa	17
Justificativa	17
Objetivos do Trabalho.....	18
Objetivo Geral.....	18
Objetivos Específicos.....	18
Organização dos Capítulos e Conteúdos do Trabalho	19

CAPÍTULO 2.....21

REVISÃO DE LITERATURA

Conceitos de Projeto.....	21
Conceitos de Gerenciamento de Projetos (GP).....	22
Problemas relacionados com Gestão de Projeto.....	23
Técnicas utilizadas no gerenciamento do tempo em projetos.....	24
Processos de Gerenciamento de Tempo.....	24
Técnica de Revisão e Avaliação de Programa (PERT)	25
Método do Caminho Crítico (CPM).....	27
Método da Corrente Crítica de Projetos: Fundamentos e Procedimentos.....	31
Aplicação da CCPM em Projeto Individual.....	37
Demonstração de um exemplo de programação de um projeto pelo CPM e CCPM...	38
Resultados na comparação entre os dois métodos (CPM) e (CCPM)	40
Gestão de Projetos por Corrente Crítica.....	41
Elementos de incerteza no enfoque da CCPM	42
Comportamento humano na CCPM	45
Corrente Crítica de ambientes de Múltiplos Projetos.....	50
Gerenciamento de Projeto em Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP).....	51
Programação de Projetos.....	53
Recurso Restritivo.....	53
Alocação de Recurso	55
Procedimentos Heurísticos na Programação de Projetos com Restrição de Recursos	56
Método heurístico baseado na regra da prioridade	57
Pulmão de projeto na Corrente Crítica	61
Pulmão de Projeto (PP)	62
Pulmão de Alimentação (PA)	63
Pulmão de Recurso (PR)	63
Pulmão de Capacidade (PC)	64
Dimensionamento de Pulmão de Tempo.....	66

Método Corta e Cola (C&PM)	66
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)	68
Fatores de influência no dimensionamento de pulmões de projeto na CCPM	73
Monitoramento de Pulmão de Tempo para tomada de decisão	77
Aplicação do FMEA em Gestão de Projetos	79
Resumo do Capítulo	82
CAPÍTULO 3.....	84
MÉTODO DE PESQUISA	
Caracterizações do Trabalho	84
Delineamento da pesquisa	84
Quanto aos fins	84
Quanto ao Procedimento de Pesquisa	86
Validação da Pesquisa	87
Definição das variáveis da pesquisa	89
Universo e Amostra da Pesquisa	90
CAPÍTULO 4	92
DETALHAMENTO DA PROPOSTA DO TRABALHO	
Introdução	92
A Proposta	93
Detalhamento do Fluxo Proposto	94
Primeira Etapa	94
Levantamento dos dados de tempos e recursos nas atividades dos projetos...	95
Construção da rede de projeto (PERT/CPM)	96
Redução da duração das atividades na eliminação das margens de segurança ..	97
Execução do Escalonamento (nivelamento dos recursos nas atividades).....	99
Identificação da corrente crítica do projeto.....	100
Determinação o Pulmão de Tempo.....	102
Tempos estimados nas atividades.....	103
Desconflitamento de atividade pelo algoritmo de uma heurística.....	103
Segunda Etapa	106
Identificação do Recurso Crítico (RC).....	106
Priorização de projetos.....	107
Escalonamento de projetos.....	107
Nivelamento de Recurso pela heurística baseada na regra de prioridade MAXTWK..	109
Monitoramento dos Pulmões de Tempos	109
Terceira Etapa	109
CAPÍTULO 5.....	111
RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES	
Contextualização da empresa.....	111
Sistemática do Escritório do Planejamento e Controle de Projetos (EPCP)	111
A implementação do CCPM na empresa.....	112

Objetivo do planejamento da CCPM na empresa	114
Aplicação da proposta do modelo em Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP) ..	114
Fase de Projeto Individual.....	116
Definição do Escopo dos projetos e levantamento dos dados de tempos e recursos nas atividades dos projetos.....	116
Desenvolvimento do projeto por PERT/COM	119
Características das redes PERT/CPM nos Projetos A, B e C	120
Identificação dos conflitos nas redes PERT/CPM	121
Identificação da Corrente Crítica	128
Redução da estimativa de duração das atividades por meio da FMEA.....	129
Dimensionamento do tamanho e adição dos Pulmões (PP) e (PA).....	131
Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP)	136
Identificação do recurso restritivo entre os projetos.....	136
Priorização do projeto para início da programação.....	137
Escalonamento dos projetos baseado pelo recurso restritivo.....	137
Adição dos Pulmões (PP) (PA) e (PC)	140
Identificação dos conflitos entre os projetos após escalonamento	140
Desconflitamento entre projetos.....	142
Gerenciamento dos projetos pelo monitoramento de Pulmões de Projeto (PP) ..	143
Análise da carga de trabalho dos Projetos no AMP	147
Monitoramento dos Pulmões dos Projetos	147
Controle de Pulmão de Tempo (PP) em AMP.....	149
Comparação do Cálculo de pulmão de projetos por outros métodos diferentes...	155
Fase de Encerramento.....	158
Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	158
Lições Aprendidas	160
Avaliação do desempenho da proposta	162
Potencialidade contribuição da pesquisa	165
Limitações da Pesquisa	168
Resumo do Capítulo	169
CAPÍTULO 6.....	171
CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	
Elementos de inovação da pesquisa	172
Sugestões para trabalhos futuros.....	173
REFERÊNCIAS	174
APÊNDICE A	185
APÊNDICE B	186
APÊNDICE C.....	186
APÊNDICE D	187
APÊNDICE E.....	188
APÊNDICE F.....	189

APÊNDICE G	190
ANEXO A.....	191
ANEXO B.....	193
ANEXO C	196
ANEXO D.....	197
ANEXO E	198
ANEXO F	200
ANEXO G	201
ANEXO H.....	202
ANEXO I.....	206
ANEXO J.....	208
 ÍNDICE REMISSIVO.....	 211
AUTOR	213

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

As crescentes e rápidas mudanças na economia mundial têm exigido das organizações transformação no seu comportamento, no aprimoramento tecnológico e melhores soluções na gestão dos seus negócios. Ao mesmo tempo, as reivindicações do mercado consumidor têm aumentado consideravelmente por soluções que atendam às suas demandas, diante de um ambiente de complexidade e incerteza nos projetos das empresas.

Izmailov, Korneva e Kozhemiakin (2016) apontam que apenas 44% dos projetos terminam no tempo; 70% reduzem a quantidade de trabalho planejado e 30% dos projetos simplesmente depois de planejados não chegam a ser executados. Todos esses dados obtidos com a utilização de PERT/CPM.

Cabe ressaltar que com novas ferramentas e técnicas como CCPM (*Critical Chain Project Management*) os dados estatísticos acima apontados tendem a diminuir devido a uma abordagem sistemática para a identificação e planejamento do uso de recursos críticos no tempo certo, levando em consideração as prioridades estratégicas da organização.

De acordo com Lu et al. (2015), os projetos cresceram em tamanho, quantidade, complexidade e incertezas. As empresas são desafiadas aplicar novas ferramentas de gestão, para alcançar seus objetivos estratégicos. Nesse sentido, elas têm se empenhado em atender ao mercado com mais rapidez, segurança, qualidade e custo menor nos seus negócios.

Huang, Huang e Pei (2015) afirmam que, para responder a essa demanda e exigência do mercado, o gerenciamento de projetos torna-se uma questão crítica para as empresas. Na prática, uma das principais missões para os gestores é planejar bem os recursos, reduzindo suas flutuações e os tempos de atividades, com intuito de ser executado no prazo estimado, ou até mesmo diminuir os possíveis atrasos dos projetos.

É notável que o interesse em pesquisa a respeito do gerenciamento de projetos tem expandido consideravelmente, no sentido de encontrar soluções para questionamentos de conflitos de recursos, programação entre diferentes projetos que ocorrem com frequência e problemas de gestão nas execuções de vários projetos simultaneamente, o que não acontecia em grandes proporções quando se trabalhava com pequenos projetos (Patanakul; Milosevic, 2009).

Cumprе salientar que, uma grande tendência no mercado mundial é a presença de organizações que operam com múltiplos projetos simultaneamente, e muitos são difíceis, de curta duração e de alto risco. Para Jianmin (2011), estas organizações enfrentam o desafio da gestão de vários projetos simultâneos. Isso pode se constituir obstáculo, pois a implementação em ambientes de múltiplos projetos onde existem relações competitivas entre dinheiro, tempo e entre pro-

jetos, aumenta a dificuldade da empresa em gerir e influenciar o cronograma, bem como completar os projetos com qualidade e no tempo certo. A pesquisa nesse campo ainda é limitada e a demanda nessa área é relevante (Li *et al.*, 2017).

As organizações que operam com múltiplos projetos são caracterizados por um ambiente dinâmico e constituídas por diferentes projetos, cada um composto por atividades inter-relacionadas e que apresenta objetivos específicos, sendo executados simultaneamente com compartilhamento dos mesmos recursos disponíveis, expondo incertezas na demanda de seus produtos. Esses fatores têm influenciado diretamente o desempenho, gerando impactos significativos nos resultados.

Grande parte das técnicas de gerenciamentos de projeto tem sido aplicada em planejamento e programação de projetos individuais, com pouco ou nenhum de método para programação de atividades em múltiplos projetos. Portanto, o gerenciamento de múltiplos Projetos é caracterizado pela complexidade das questões relacionadas ao planejamento, organização, coordenação e controle de um conjunto de projetos (Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Araszkievicz, 2017).

No entendimento de Ponsteen e Kusters (2015), a gestão em um ambiente de múltiplos projetos requer um método de gerenciamento diferente daquele que gerencia um único projeto. O principal desafio do gerenciamento nesse ambiente é a alocação de recursos escassos sobre os projetos em execução.

Além disso, Martens e Vanhoucke (2017) ressaltam que garantir a execução dos projetos dentro do prazo programado é um fator importante para o sucesso. E para que aumente a probabilidade de conclusão o tempo estimado é necessário que seja adotada a gestão de tempo no projeto; nesse caso, trata-se de gerenciar um pulmão de tempo que, bem dimensionado e monitorado, pode garantir a conclusão do projeto dentro do planejado, evitando assim desperdícios de tempo, de máquinas, recursos humanos, eventuais punições financeiras contratuais, alcançando a confiança dos clientes.

Nesse contexto, surge a necessidade de planejar e gerenciar em ambiente de múltiplos projetos pela integração de ferramentas de gerenciamentos, tais como: teoria das restrições pela corrente crítica, construção de redes PERT/CPM, uso da FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), pelo corte de tempo nas atividades, nivelamentos de recursos, Problemas de Planejamento e Programação de Projetos (RCPSP - *Resource Constrained Project Scheduling Problem*), uso de heurísticas pela regra de prioridades para desconflitamento das atividades em projetos individuais como em múltiplos projetos, e por último, um sistema de monitoramento pelo uso do consumo dos pulmões de tempos baseado em estimativa de duração nas atividades pelo campo da incerteza e complexidade.

Contextualização do estudo

O gerenciamento de grandes projetos é uma tarefa difícil, devido à sua complexidade, às incertezas e ao grande número de atividades envolvidas. Desse modo, para gerenciamento desses tipos de projetos foram desenvolvidas técnicas de planejamento e controle para apoiar os gerentes. Essas técnicas, muito usadas como PERT/CPM que, às vezes, são adotadas com uma só (PERT/CPM), têm sido empregadas no desenvolvimento e gerenciamento de cronogramas de

projetos (Kastor; Sirakoulis, 2009).

Essas técnicas de programação empregam informações importantes para o sucesso de um projeto. Sua principal desvantagem é a suposição da disponibilidade de recursos de forma ilimitada, tendo como maior preocupação o atendimento aos requisitos de tempos nas atividades, sem levar em consideração as necessidades de recursos de cada uma delas (Ahmad; Mallick; Schroeder, 2013).

Para enfrentar esse grande desafio, convém destacar a Teoria das Restrições (TOC) idealizada por Eliyahu Goldratt como um novo método que faz alusão a essa problemática (Bevilacqua; Ciarapica; Giaccheta, 2009). Nessa concepção, Goldratt estendeu os princípios da Teoria das Restrições (TOC) para CCPM (*Critical Chain Project Management*), admitindo para melhorar o sistema é necessário aumentar a capacidade das restrições.

Publicações internacionais relativas ao método da Corrente Crítica em Gestão de Projeto (CCPM) vêm aumentando ao longo dos anos, após a criação da teoria das restrições. Ghaffari e Elmsley (2015) constataram cerca de 140 artigos que fazem referência à CCPM por meio de uma pesquisa on-line publicados em jornais especializados tais como: *International Journal of Project Management*, *Project Management Journal*, *International Journal of Production Research*, *Production and Inventory Management Journal* and *South African Journal of Industrial Engineering* entre outros.

Apesar de muitos resultados de trabalhos de CCPM publicados, deve ser ressaltada a observação de Cooper Ordoñez (2013), que faz referência ao fato de que se trata de um método que traz limitações. Estas precisam ser ponderadas na sua implementação e, pelo fato de ser uma proposta relativamente nova, ainda existem algumas questões a serem respondidas, pois a maioria dos problemas em ambiente de multiprojetos tem foco meramente conceitual e há poucos estudos de caso e exemplos reais analisados cientificamente, que permitam ampliar a discussão e aprimorar o método.

No Brasil, alguns trabalhos que se destacam na utilização do método da Corrente Crítica em ambientes de múltiplos projetos aparecem em Moraes (2011); Cooper Ordonez (2013); Campanini (2013); Moellmann (2013); Caxias *et al.* (2013); Moraes (2015); Almeida (2017).

Dessa forma, a maior parte dos atuais métodos de programação de um projeto tem sido aplicada intensamente em projetos individuais, e ainda com menos aplicação em um ambiente de múltiplos projetos, como já foi mencionado por Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004) e Araszkievicz (2017).

A utilização da CCPM em cronograma de projeto usa o gerenciamento de pulmão de tempo (*buffer*) para acompanhamento e estabelecimento de prazos realistas, com objetivo de evitar atrasos e garantir sucesso nas execuções das atividades programadas por meio da otimização de tempo e recursos (Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004).

As principais vantagens do CCPM incluem a simplicidade com a variação estocástica na proteção e controle dos tempos (Trietsch; Baker, 2012). No entanto, está sendo cada vez mais utilizado na construção de programação entre múltiplos projetos e conseqüentemente, o método tem sido objeto de uma série de melhorias na sua aplicação (Moellmann, 2013).

A adoção de cronograma na gestão de projeto destaca-se por incluir proce-

dimentos que vão desde modelos tradicionais de PERT/CPM até modelos baseados em algoritmos genéticos e (meta) heurísticas em múltiplos projetos (Hartmann; Briskorn, 2010; Weglarz *et al.*, 2011; Peng; Huang, 2014).

Ressalta-se que dentro de muitas situações reais, os projetos devem ser programados sob condições de recursos limitados e, embora os problemas de programação de projetos com recursos limitados já venham sendo pesquisados há várias décadas (Rabbani *et al.*, 2007; Peng; Xu, 2012), ainda não apresentaram uma solução prática para lidar com as incertezas em programação de projeto.

Formulação do Problema de Pesquisa

Em um mercado competitivo e em rápida mudança, projetos estão sujeitos a um vasto conjunto de limitações, tais como a escassez de recursos, complexidade da rede e várias incertezas embutidas na programação. Isto exige técnicas mais eficazes para melhorar o acompanhamento dos seus cronogramas, de modo a assegurar um resultado bem-sucedido de programação (Herroelen; Leus, 2004; Hu *et al.*, 2016).

Os sistemas de controle devem ser configurados para fornecer métricas periódicas de desempenho, e que possam medir o estado geral do projeto e também que facilitem a identificação de desvios do progresso atual do cronograma esperado da linha de base do projeto (Vanhoucke; Colin, 2016).

O ambiente de múltiplos projetos pela corrente crítica pode tornar-se ainda mais complexo e, por essa razão, aplicar técnicas de otimização por meio de método heurístico pressupõe, trabalhar com variáveis tais como: alocação de recursos entre um conjunto de projetos, escolha da prioridade de projetos e atividades, elaboração do planejamento e a programação de atividades e recursos, desenvolvimento da integração dos múltiplos projetos e aplicação de técnicas no controle dos múltiplos projetos.

Nesse contexto, Jianmin (2011) aborda a dificuldade em desenvolver o gerenciamento de projetos em um ambiente de múltiplos projetos com o método da cadeia crítica, mas enfatiza que, a aplicação de um método heurístico entre projetos na tomada de decisão de distribuição de recursos pode resolver os possíveis conflitos de recursos entre os projetos.

Assim, acompanhar os projetos pelo gerenciamento do consumo de pulmões de tempo significa alavancar as chances de sucesso na gestão em um ambiente de múltiplos projetos aplicando a teoria das restrições pela metodologia CCPM, com objetivo de atender aos interesses, por sua vez conflitantes, das partes interessadas nos projetos.

Desse modo, duas perguntas chaves norteiam esta pesquisa:

- Como identificar as restrições dos recursos e alocá-los nas atividades entre que são executadas simultaneamente, com resolução dos conflitos identificados pela corrente crítica?
- Como avaliar o desempenho do modelo pelo tamanho de pulmão de projeto em ambiente de incertezas, de forma a garantir o monitoramento da execução dos projetos em ambiente de múltiplos projetos?

Hipóteses da Pesquisa

Conforme Apolinário (2012) o desenvolvimento das hipóteses de pesquisa se dá pela formulação indefinida ou provisória que tem por finalidade de explicar uma determinada situação de pesquisa.

Dessa forma, três hipóteses, H1, H2 e H3 são formuladas:

- H1: A eficiência da integração de ferramenta de gerenciamento de projetos em ambiente de múltiplos projetos e a utilização do monitoramento pelo pulmão de projeto contribuirão para o aumento dos índices de desempenho de sucesso dos projetos.
- H2: O resultado do sucesso em ambiente de múltiplos projetos pode levar a empresa desenvolver estratégia que possa atender os possíveis conflitos de recursos que ocorre na disputa pelos mesmos recursos compartilhados na execução de uma programação de projetos e entre projetos.
- H3: A empresa com execução de projetos em ambiente de múltiplos projetos precisa integrar estes projetos de forma dinâmica, tanto no planejamento como na execução, daí a importância da utilização de ferramentas de gerenciamento de projetos e também monitoramento simultâneo dos projetos pelo uso de um determinado valor de um pulmão de projeto adequado à realidade das características da natureza de cada projeto.

Justificativa

Não se pode deixar de considerar a existência de vários tipos de abordagem para mensurar o tamanho de pulmão de tempo de projetos tanto no ambiente único como no ambiente de múltiplos projetos.

Nesse sentido, cabe destacar que alguns estudiosos, como Zhao *et al.* (2008); Yang *et al.* (2008); Xie, Guang, Chuang (2010); Bie, Cui e Zhang (2012); Yu, Xu e Hu (2013); Peng e Huang (2014); Zhang, Song e Díaz (2014); Ma, Guofeng *et al.* (2014); Zhang, Jia e Diaz (2015) e Zhang, Song e Díaz (2016) utilizaram várias abordagens para sua quantificação como: uso da Lógica *Fuzzy* na tomada e decisão, complexidade da rede como restrições de recursos, aplicação da simulação Monte Carlo, Aperto de Recursos (APRT) e a Complexidade da Rede (APD), atributos de incerteza do projeto, Problema de Programação de Projetos com Restrições de Recursos (RCPSP), coeficientes de complexidade, de importância, grau de risco e de ajustamento para preferências de risco do gestor. São todos de fatores de mensuração numérica baseadas em conjunto de variáveis de influências que foram utilizadas para estimar o tamanho do pulmão de tempo de projeto.

Este trabalho propõe uma técnica sistemática, singular, para a integração de ferramentas de gerenciamento e também quantifica o tamanho do pulmão de tempo pela incorporação do uso de métricas, com a adoção de um conjunto de variáveis tais como: flexibilidade na atividade, disponibilidade / variação de consumo de recursos, duração dos tempos estimados, complexidade da rede e variáveis de atributo de incerteza e complexidade em projeto e também com apoio de ferramentas auxiliares para tomada de decisão tais como: Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA) *Failure Mode and Effect Analysis*, heurística pela regra de decisão baseada na prioridade na escolha do recurso MOF Maior Tempo

de duração na atividade - *Maximum (longest) Operation First* e o Máximo Conteúdo Trabalho Total (MAXTWK) *Maximum Total Work Content*.

A integração deste conjunto de variáveis é inovadora, já que são utilizadas individualmente e sem um fluxo contínuo. A aplicação desta integração em conjunto com a determinação dos pulmões e desenvolvimento de algoritmos heurísticos para desconflitamento de recursos supõe-se seja uma contribuição à área do conhecimento.

Objetivos do Trabalho

Com o propósito de buscar respostas para a problemática em questão, este trabalho propõe os seguintes objetivos:

Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho consiste em desenvolver uma integração de ferramentas de gerenciamento e dimensionar o pulmão de tempo em um ambiente de múltiplos projetos, pelo uso da corrente crítica.

Nesses aspectos, a solução será desenvolvida por meio de atributos da flexibilidade na atividade, disponibilidade de recursos, incerteza na duração dos tempos estimados, complexidade na rede e a variável do atributo da incerteza da natureza do projeto, seguindo uma adaptação do método do CCPM proposto por Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004) e Leach (2005), com aplicação de uma heurística por um algoritmo que trata o nivelamento de recurso nas atividades baseada na regra de prioridade.

Objetivos Específicos

Os objetivos específicos do trabalho são:

- I. Estabelecer uma programação de projetos em um ambiente de múltiplos projetos por meio de uma solução heurística (procedimentos) para solução de restrições de recursos entre projetos;
- II. Determinar um modelo de dimensionamento do tamanho do Pulmão de Tempo Projeto e Pulmão de Tempo de Alimentação, com aplicação da metodologia CCPM em um ambiente de múltiplos projetos no campo da incerteza e complexidade;
- III. Comparar o método proposto do trabalho com os métodos “Corta e Cola” (C&PM) e o Método da “Raiz Quadrada do Erro” (RSEM) e avaliá-lo por meio de indicadores de desempenho do pulmão: maior tempo de consumo do pulmão (dias); tempo médio de consumo do pulmão (dias) e número de vezes que o pulmão foi consumido.

Organização dos Capítulos e Conteúdos do Trabalho

Esta tese está estruturada em seis capítulos, quais sejam:

- **Capítulo 01:** nesse capítulo encontra-se a Introdução, Apresentação do problema de pesquisa, Objetivos do trabalho, Hipóteses da pesquisa, Justificativa e a Organização dos capítulos.
- **Capítulo 02:** esse capítulo apresenta o contexto teórico necessário para a compreensão do raciocínio desenvolvido, a fim de, progressivamente, evoluir para a proposição a ser elaborada. Apresenta, pois, a revisão teórica com uma descrição dos conceitos de teoria das restrições, corrente crítica, gerenciamento de projeto pela corrente crítica (CCPM), gerenciamento de projetos em múltiplos projetos, programação de múltiplos projetos pelas restrições de recursos, modelos de dimensionamento do tamanho de pulmões de tempo em projetos, heurística baseada em regra da prioridade.
- **Capítulo 03:** nesse capítulo encontra-se o método da pesquisa que tem o objetivo de apresentar a metodologia utilizada para o desenvolvimento da pesquisa, tais como: natureza, objetivos, formas de abordar problema e a validação da pesquisa. Também tem o intuito de apresentar os passos desde o planejamento até a execução das atividades realizadas nas empresas onde o modelo proposto foi aplicado.
- **Capítulo 04:** apresenta a proposta do modelo utilizado no estudo para a busca da solução do problema de pesquisa, formula-se o problema de pesquisa; delimita-se e identifica-se o universo da pesquisa, os dados a coletar, a forma de coleta, modelo do algoritmo de desenvolvimento do dimensionamento do tamanho do pulmão de tempo baseado pelas incertezas de projetos nas variáveis dos fatores de influencias do modelo e análise.
- **Capítulo 05:** esse capítulo contém dados e suas análises por meio da aplicação de uma programação em múltiplos projetos; neste caso específico a utilização de uma heurística adotada por Leach (2005) e a integração da aplicação de ferramentas de gerenciamento de projeto com o objetivo de verificar a aderência da proposta em três projetos aplicados. Apresentam-se também os resultados e discussões da aplicação da proposta em ambiente de múltiplos projetos e aponta-se a valiação de desempenho do modelo, a potencial contribuição da pesquisa e suas limitações.
- **Capítulo 06:** as considerações finais e conclusões do trabalho são apresentadas nesse capítulo. Para isso, fez-se o uso de comparações e similaridades com o modelo do método “Corta e Cola (C&PM)” e do “Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)” pelos indicadores de desempenho de consumo de pulmão de tempo de projeto. E em seguida são apresentados elementos de inovação da pesquisa e sugestões para futuros trabalhos.

Após o desenvolvimento dos capítulos apresentam-se: as citações utilizadas na tese, a bibliografia, os Apêndices e os Anexos. Em síntese, este trabalho possui a apresentação de sua estrutura, conforme apresentado na Figura 1.

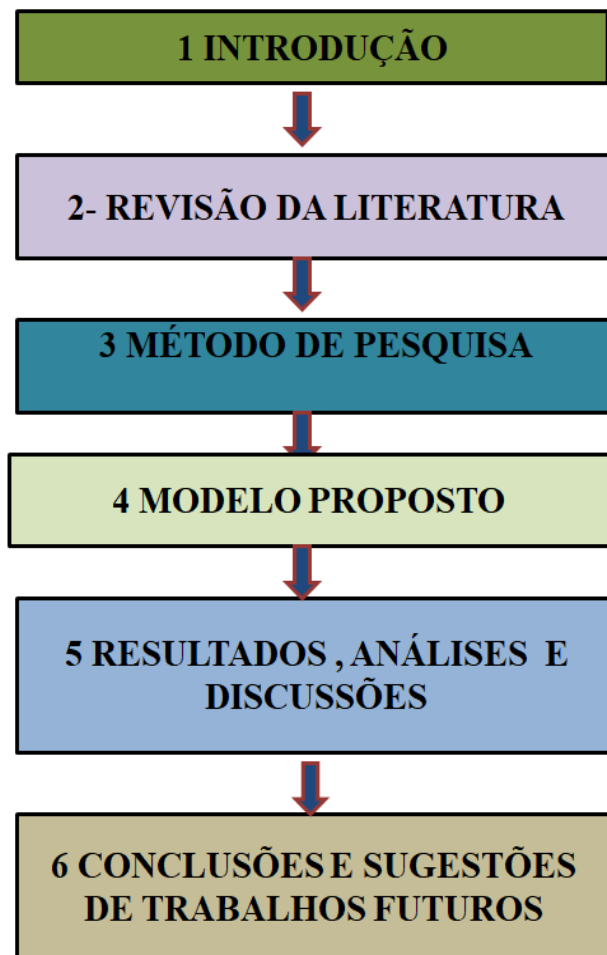


Figura 1. Etapas da estrutura de apresentação do trabalho

Fonte: Elaboração do autor

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

O escopo deste capítulo é apresentar a base conceitual que dará suporte ao desenvolvimento deste trabalho. Ressalta-se que para a construção da pesquisa foram utilizadas bases de dados nacionais e internacionais, dentre as quais se encontram Scielo, SCIRUS (*Elsevier*), BASE, CAPES, COMUT, SciVerse *Scopus*, *SpringerBusiness & Economics*, Taylor and Francis Group, *Web of Science*, *World Scientific Journals*, entre outros.

Ademais, o assunto de que se trata essa revisão tem como base algumas palavras-chaves, dentre as quais: gestão de projetos, gerenciamento de projetos pela corrente crítica, gerenciamento de múltiplos projetos pela corrente crítica, pulmões de tempos (alimentação e projeto) aplicados na corrente crítica e, Programação de Projetos com Restrições de Recursos (RCPSP), método heurísticos pela regra de prioridade e por último, métodos convencionais de dimensionamento de pulmão de projetos, C&PM e RSEM.

Conceitos de Projeto

Devido às mudanças ambientais das empresas, muitas organizações têm executadas as suas atividades orientadas através de projetos (Price Water House Coopers, 2016). De acordo com o Instituto de Gerenciamento de Projetos PMI, do inglês *Project Management Institute* (2014), um projeto pode ser definido como um esforço temporário empreendido para criar um produto ou serviço único. Na maioria das vezes, isso implica em um prazo limitado, com uma data estipulada para conclusão.

Já Hamm, Beibert e König (2010) definem um projeto como inúmeras atividades que devem ser sequenciadas e realizadas para atender a diferentes, e às vezes conflitantes objetivos, como tempo, custo e qualidade. Para Izmailov (2014), projeto é comparado com qualquer atividade que tem um período de tempo claro, dando um resultado único na forma de produtos, serviços, realizações e estendendo-se de acordo com um plano predeterminado.

No sentido mais amplo, Meredith e Mantel (2012) atribuem a um projeto como uma tarefa específica, limitada, a ser realizada e que possuem alguns atributos mostrados no Quadro 1.

Com efeito, um projeto requer esforços coordenados para atingir um conjunto de metas. Essas metas incluem, tipicamente, em conformidade com parâmetros pré-determinados, a entrega no prazo, a qualidade e o cumprimento do orçamento.

Quadro 1. Atributos que caracterizam os projetos.

Atributos	Características
Propósito	Um projeto consiste numa atividade periódica com um conjunto bem definido de resultados finais, e que requer cuidadosa coordenação em termos de tempos, precedências, custo e desempenho das atividades.
Ciclo de vida	A maioria dos projetos passa por etapas, que vão desde o lento começo até a conclusão. No início, o gerente é escolhido, a equipe do projeto e os recursos iniciais são montados e o programa de trabalho está organizado para o início.
Interdependências	Os projetos frequentemente interagem com outros projetos que estão sendo executados simultaneamente e sempre interagem com as operações rotineiras.
Singularidade	Cada projeto possui alguns elementos que são únicos (ou unicidade), por mais semelhante que seja, e que difere de algum modo, de outros projetos similares feitos anteriormente.
Conflitos	Os projetos podem apresentar conflitos de várias naturezas, por exemplo, competindo quanto à alocação de recursos nas atividades e com um grau de complexidade maior com conflitos entre “projetos versus projetos por recursos dentro de organizações com múltiplos projetos”.

Fonte: Adaptado de Meredith e Mantel (2012).

Conceitos de Gerenciamento de Projetos (GP)

O Gerenciamento de Projeto (GP) tem sido amplamente aceito como um conceito integrado no esforço organizacional, no âmbito geral, para adquirir vantagens competitivas por meio da integração intraorganizacional eficaz e uma utilização ótima dos recursos escassos (Ruiz- Martin; Poza, 2015).

Convém salientar que o PMBOK (2014), como guia prático, fornece instruções ou orientações para gerenciar um projeto de modo que abrange a “aplicação de conhecimentos, habilidades, ferramentas e técnicas às atividades do projeto a fim de cumprir seus requisitos” e apresenta as dez áreas de conhecimentos que compreendem os pilares para o desenvolvimento de um gerenciamento de projeto com eficiência.

O gerenciamento de projetos abarca todos os processos de gestão que estão relacionados com o planejamento, controle e coordenação de projetos (Ahleman *et al.*, 2013). Desse modo, torna-se uma tarefa árdua em razão da complexidade, incertezas e grande número de atividades envolvidas, mesmo em um ambiente de projeto único (De Miranda Mota; De Almeida Alencar, 2009), como no ambiente de múltiplos projetos, em que vários projetos são conduzidos simultaneamente (Patanakul; Milosevic, 2009).

Haverila e Fehr (2016) apontam o gerenciamento de projetos como sendo o uso de uma coleção de ferramentas ou técnicas para direcionar a aplicação de recursos para a realização de uma tarefa única, complexa e única no tempo e ainda com restrições de custo e qualidade desejada.

Os métodos de gerenciamento, se utilizados de forma adequada auxiliam

na taxa de sucesso do gerenciamento de projetos (Patanakul; Milosevic, 2009; Lappe; Spang, 2014).

O guia PMBOK (2014) disponibiliza aplicação dos processos iterativos, visto na Figura 2, onde projetos requerem que o grupo de processos de monitoramento e controle interaja com os outros grupos de processos (**iniciação, planejamento, execução e encerramento**). Por isso, é fundamental conhecer a estratégia do projeto, o seu objetivo e as interações entre suas áreas envolvidas para se tomar e ponderar decisões ao longo do seu ciclo de vida como é mostrado na Figura 2.

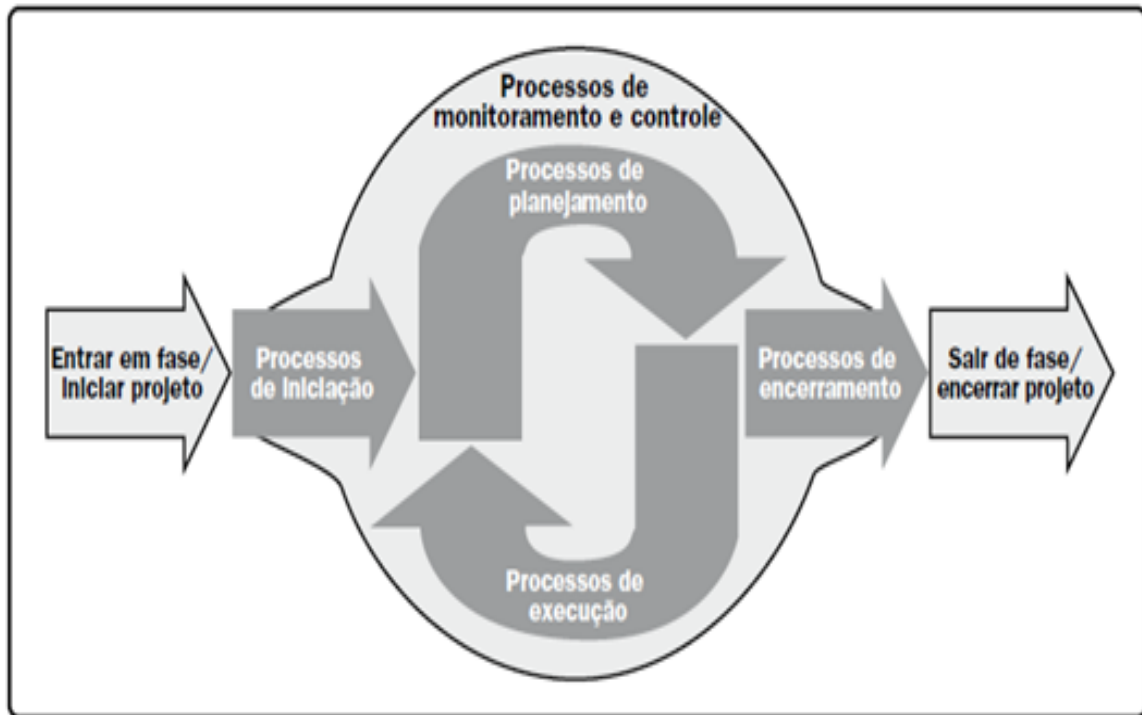


Figura 2. Grupos de processos de gerenciamento de projetos

Fonte: Guia PMBOK (2014)

Problemas relacionados com Gestão de Projeto

O desafio no gerenciamento de projetos é equilibrar a “restrição tripla”, ou seja, escopo, custo e cronograma. Para garantir isso, é necessário analisar os fatores críticos e ameaças implícitas existentes no projeto. Destaca-se que o princípio da gestão do projeto é expresso na forma de um “triângulo”, onde a dimensão dos custos, tempo e qualidade para o objetivo do projeto deve ser monitorada (Warburton, 2011; PMBOK, 2014).

Neste contexto, a problemática da gestão do projeto se é possível reduzir os custos, no entanto, à custa do tempo e qualidade, ou se é possível reduzir o tempo, mas à custa de despesas e a diminuição da qualidade ou, finalmente, se é possível melhorar a qualidade, mas aumentar o tempo e custos. Infelizmente, os objetivos de um projeto dificilmente podem ser alcançados com o mínimo de custos, em tempo mínimo e com a maior qualidade possível (Joslin; Müller, 2015).

Devido à grande difusão do *Project Management do Institute* (PMBOK, 2014) como um guia para criar um plano de gerenciamento de projetos, muitos

autores têm analisado a importância relativa das áreas de conhecimento do PM-BOK em sucesso de projeto. Por exemplo, Belout e Gauvreau (2004) analisam o impacto da gestão de recursos humanos no sucesso do projeto, concluindo que o fator pessoal é apenas uma variável de gestão, que está em concordância com a análise fornecida por Petro e Gardiner (2015). Já Raymond e Bergeron (2008) destacam a importância de um sistema de informação de gerenciamento de projetos com base em um estudo empírico através de 224 gerentes de projeto e consultores de gestão. Cabe acrescentar que Davis (2014) estudou a percepção do sucesso do projeto por diferentes partes interessadas para uma melhor compreensão do destinatário do projeto.

Assim também, Besteiro (2012) realizou um estudo para expressar o sucesso de projeto com base na identificação de variáveis relevantes a serem gerenciadas adotando uma escala de mensuração, classificando os projetos, por meio de uma escala numérica, como projetos de sucesso total, parcial e insucesso.

Conforme Pinto, Novaski e Anholon (2018), o grau de risco e a criticidade das atividades do projeto não são apenas ameaças dadas pelo meio ambiente do projeto, mas também pelo arranjo interno e da estrutura do mesmo. Assim, há uma escala de mensuração da complexidade e da incerteza, viabilizando o estabelecimento de ações que podem de maneira preventiva mitigar esses dois atributos diante de variáveis controláveis e incontroláveis que estão inseridas nos projetos.

Técnicas utilizadas no gerenciamento do tempo em projetos

A evolução no gerenciamento de projeto começou nas décadas de 1950 e 1960 através do desenvolvimento de muitas técnicas e ferramentas especiais, por exemplo, CPM e PERT (Nascimento, 2007). A técnica CPM foi aplicada pela primeira vez em 1957, para a construção de uma nova fábrica de produtos químicos pela Dupont Corporation, e o PERT foi desenvolvido em 1958 pela Marinha EUA para ajudar a medir e controlar o progresso do programa de mísseis submarinos nucleares Polaris (Meredith; Mantel, 2012).

Processos de Gerenciamento de Tempo

O gerenciamento de tempo em projeto se refere ao controle do cronograma que leva em consideração a utilização racional de recursos com o desenvolvimento de programação otimizada durante a implementação (Yong; Zhigang, 2011).

Nesse contexto, a gestão do cronograma é uma parte importante do processo de gerenciamento de tempo e é um dos fatores críticos para o sucesso da gestão e tem sido o foco das dificuldades de gerenciamento de projetos (Liu; Ren; Xie, 2008).

Para se obter um bom gerenciamento do tempo, há uma série de ferramentas empregadas. As mais comuns abordadas por Kerzner (2011), em relação ao gerenciamento de projetos são: Gráficos de Gantt ou de barras; Gráficos de Marcos; Linha de Equilíbrio; Redes; Técnica de Avaliação e Revisão de Programa (*Program Evaluation and Review Technique/PERT*); Método do Caminho Crítico (*Critical Path Method - CPM*); Método do Diagrama de Precedência (*Preceden-*

ce *Diagram Method* – PDM); Técnica de Avaliação e Revisão Gráfica (*Graphical Evaluation and Review Technique* – GERT).

Dentre os métodos citados, o Programa de Avaliação e Revisão Técnica (PERT) e o Método do Caminho Crítico (CPM) são os que têm sido amplamente pesquisados e utilizados para desenvolver e gerenciar os cronogramas do projeto. Algumas considerações são pertinentes, dado que essas técnicas não são sempre justificáveis e eficazes devido à sua dependência de certas suposições questionáveis, à medida que os cronogramas se tornam cada vez mais complexos e crescem com as exigências de recursos (Kastor; Sirakoulis, 2009; Hall, 2012).

Para Herroelen e Leus (2004), as técnicas PERT e CPM são também as mais conhecidas. Apesar de terem sido desenvolvidas de forma independente, são baseadas no pressuposto “irrealista” de que os recursos são ilimitados (por exemplo, humanos, máquinas ou ferramentas, materiais etc.), negligenciando a questão da contenção (restrições) de recursos. Essa suposição pode levar à utilização ineficaz de recursos durante a realização dos projetos.

De acordo com Liu, Ren e Xie (2008), ainda há deficiências significativas no método PERT/CPM e que não devem ser ignoradas, embora continuem sendo ferramentas amplamente utilizadas no gerenciamento de projetos. Contudo, foram considerados como métodos bem-sucedidos e, depois de terem passado por importantes evoluções e adequações, ainda constituem a base da maioria de sistemas de *software* dedicados ao gerenciamento de projetos (Rozenes; Vitner; Spraggett, 2006).

Em virtude disso, a maioria das pesquisas realizadas sobre programação de projetos tem se centrado na melhoria dos métodos PERT e CPM, que serão discutidos nas seções seguintes.

Técnica de Revisão e Avaliação de Programa (PERT)

Malcolm *et al.* (1959) apud Yong e Zhigang (2011) enfatizam que o método PERT surgiu no ano de 1958 quando a Marinha dos Estados Unidos iniciaram o Programa de Mísseis Submarinos Polaris, que reduziu a duração do programa de 10 anos para 8 anos e alcançou um resultado notável no controle de custos e teve como objetivo construir o primeiro míssil nuclear armado.

Além disso, Yong e Zhigang (2011) acrescentam que desde seu lançamento em 1958, PERT tem sido amplamente utilizado no planejamento, concepção e no processo de implementação do projeto. Cabe destacar que no modelo tradicional de PERT, a duração do procedimento normalmente é suposto, ou seja, uma constante, que deve ser tomada como base para caminhos críticos. No entanto, no processo de um projeto real a duração do procedimento é incerta.

Já Göksu e Catović (2014) atribuem a técnica PERT como sendo uma ferramenta usada para agendar, organizar e coordenar tarefas dentro de um projeto, sendo basicamente um método para analisar as tarefas envolvidas na conclusão de um determinado projeto, especialmente, no atributo do tempo em completar cada tarefa e que possa identificar o tempo mínimo necessário para finalizar o projeto total.

Para Kerzner (2011) e Meredith e Mantel (2012), a utilização do método PERT é orientada estritamente para o elemento tempo dos projetos (eventos), que uti-

liza as estimativas probabilísticas para a duração das atividades, no entanto, ajuda na determinação da probabilidade de um projeto a ser concluído em alguma data previamente estabelecida. O planejamento do PERT envolve as seguintes etapas descritas no Quadro 2.

Quadro 2. Etapas de Planejamento do PERT.

Etapas	Descrição
1. Identificar as atividades e marcos específicos (milistones).	Nesta etapa as atividades são designadas como tarefas necessárias para concluir um projeto, e os marcos são os eventos que determinam o início e o fim de uma ou mais atividades e que podem ser expandidas para incluir sequência e duração.
2. Determinar a sequência apropriada das atividades	Esta etapa pode ser combinada como o passo de identificação da atividade, uma vez que a sequência da atividade é evidente para algumas tarefas. Outras tarefas podem exigir mais análise para determinar a ordem exata em que devem ser realizadas.
3. Construir um diagrama de rede	Utilizam-se as informações das sequências das atividades para formar um diagrama de rede. Cada atividade representa um nó na rede e as setas representam a relação de precedências entre as atividades.
4. Estimar o tempo necessário para cada atividade	Os tempos são usados para a conclusão da atividade, mas qualquer unidade de tempo pode ser usada. Uma das características distintiva do PERT é a sua capacidade de lidar com a incerteza no tempo de conclusão da atividade.

Fonte: Adaptado de KERZNER (2011)

A quarta etapa do planejamento é destacada por Chen, Li e Zhuang (2009), que comentam que cada atividade, no modelo PERT, geralmente considera a incerteza da duração da atividade e assume como variável aleatória seguindo uma distribuição Beta. Então, cada atividade é dada por três estimativas: tempo otimista (a), o tempo mais provável (m) e tempo pessimista (b). O tempo calculado representa uma duração média ponderada.

Nesta mesma linha, Göksu e Ćatović (2014) abordam que o PERT assume uma distribuição de probabilidade, também Beta, para as estimativas de tempo, em que o tempo esperado para cada atividade pode ser aproximado e calculado pela média ponderada do tempo esperado para cada atividade e determinado pela Equação (1).

$$Te = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (1)$$

Onde:

Te= tempo esperado

a = previsão otimista

m= previsão mais provável

b= previsão pessimista

Para o cálculo do desvio padrão esperado para cada atividade, utiliza-se a Equação (2).

$$\sigma_e = \frac{b-a}{6} \quad (2)$$

O método PERT assume que o tempo de finalização de um determinado projeto equivale à soma das durações médias de todas as atividades críticas; todas as atividades são mutuamente independentes e obedecem à mesma distribuição (Beta) e apenas um caminho, ou seja, o caminho crítico é dominante na rede PERT. A probabilidade de outros caminhos se transferirem para um caminho crítico pode ser negligenciado. Supondo que existem N atividades em um caminho crítico, o tempo de conclusão do projeto pode ser estimado pelo Teorema do Limite Central que obedece à distribuição normal (Chen; Li; Zhuang, 2009).

Geralmente, em situações que existem estimativas determinísticas de tempo e de rigidez do prazo final, há uma grande probabilidade de que as últimas atividades deverão ser aceleradas, o que pode influenciar o resultado final do projeto. Caso o método PERT seja aplicado com suas estimativas otimista, mais provável e pessimista, a aceleração do projeto poderá se tornar desnecessária pois essas estimativas trazem incertezas que algumas vezes são ignoradas durante a elaboração das estimativas de tempo determinísticas.

Nesta ocasião, assume-se que as durações da tarefa vêm de uma distribuição direita distorcida e, portanto, usa-se uma distribuição Lognormal. Com essa distribuição, é possível variar o desvio padrão independente. Isso permite simular projetos com diferentes níveis de incerteza, mas deixando as durações médias inalteradas. O trabalho de Herroelen e Leus (2001) usa a Distribuição Lognormal e também é recomendado para estudos de simulação em Tukul, Rom e Eksioglu (2006).

As durações das atividades têm a distribuição assimétrica e deslocada para direita. Usa-se uma distribuição lognormal para gerar durações de tarefas aleatórias e que permite simular projetos com diferentes níveis de incerteza, sendo representados pelo (CV) Coeficiente de Variação (Bie; Cui; Zhang, 2012; Hu; Cui; Demeulemeester, 2015).

Método do Caminho Crítico (CPM)

Trata-se de uma técnica que foi publicada formalmente em 1957 pela empresa *Dupont Corporation*, com objetivo de determinar a melhor forma de reduzir o tempo necessário para realizar reformas rotineiras da planta, manutenção e de construção. Na essência do método, eles estavam interessados em otimizar o balanceamento entre o tempo (duração do projeto) e o custo total do projeto (Meredith; Mantel, 2012; Mohammadpour; Sadjadi, 2016).

Após a introdução do CPM, muitos outros métodos de programação de projetos foram desenvolvidos e vários têm formatos pela modelagem de rede e foram usados para representar a precedência das atividades do projeto. Destaca-se que o Método de Caminho Crítico (CPM) é uma ferramenta no gerenciamento de tempo que surgiu como um critério importante para assegurar a conclusão dos projetos, melhorar a administração das tarefas de projetos e possibilitar ao pro-

jeto ser concluído dentro do prazo e orçamento previamente estimado (Ismail et al., 2013).

Dilmaghani (2008) e Göksu e Ćatović (2014) enfatizam que o método do caminho crítico é determinado pela sequência mais longa de tarefas dependentes, isto é, adicionado os tempos para as atividades em cada sequência e identificado pelo caminho mais longo do tempo no projeto e representado da tarefa inicial até tarefa final na rede. Portanto, as tarefas que se encontram no caminho crítico não podem ser adiadas nem atrasadas na programação do projeto e essas tarefas no caminho crítico não têm folga, ou seja, folga zero.

O caminho crítico pode ser identificado através da determinação dos seguintes tempos (início mais cedo e início mais tarde) e (término mais cedo e término mais tarde) para cada tarefa do projeto na programação da rede do projeto e obedece às dependências lógicas entre as atividades, em função das relações de precedências e sucessão lógicas entre elas. Utiliza um formato de rede similar, em que as atividades são representadas por caixas (normalmente retângulos ou círculos), conforme é mostrado na Figura 3 (Morais, 2011).

Para entender o CPM, deve-se elaborar o PERT através do diagrama de rede, o qual mostra as flechas que indicam as relações de precedências entre atividades, e também visualiza possíveis dificuldades na programação e resulta nas melhorias na coordenação do projeto. Seguem alguns atributos de tempos usados nos cálculos para diagrama de rede CPM que é melhor apresentado na Figura 3.

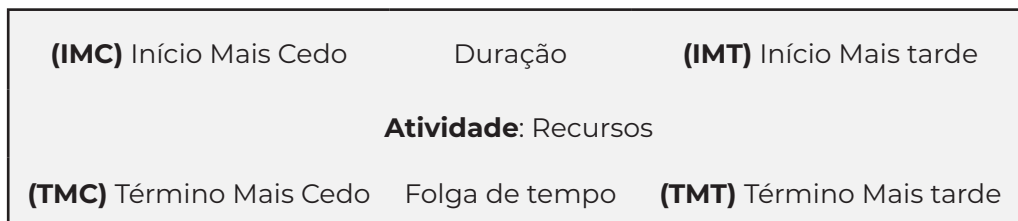


Figura 3. Configuração de caixa de diagrama de rede de projeto.

Fonte: Adpatada de Shurab (2015)

IMC – (ES- *Earliest Start time*) - tempo de início mais cedo

IMT – (EF- *Earliest Finish time*) - tempo de início mais tarde

TMC – (LS - *Latest Start time*) - tempo de término mais cedo

TMT– (LF- *Latest Finish time*) - tempo de término mais tarde

FT - (ST -*Slack time*) – tempo de folga

Sharma e Pathak (2015) defendem que na montagem do diagrama da rede deve configurar os possíveis tempos de início e término de conclusão de cada atividade como também a sua folga disponível.

Data de Início Mais Cedo (IMC) e Término Mais Cedo (TMC) na programação dos tempos para levantamento do caminho crítico das atividades são as que utilizam os tempos que podem ser calculados para todas as tarefas dentro de uma rede, os chamados cálculos para frente (*Forward*), quando se calculam os tempos mais cedo (início ou término).

Na Figura 4, tem-se um exemplo de construção de uma rede do projeto em que são adicionados os tempos de início mais cedo com a soma da duração da

atividade, resultando no tempo de Início Mais Tarde (IMT). Quando estiver em um ponto de decisão como (atividade G e E) (16 e 9), escolhe-se o maior tempo de conclusão. Dessa forma, atividade G deve (16) ser escolhido para a data de Início Mais Cedo (IMC) da atividade H.

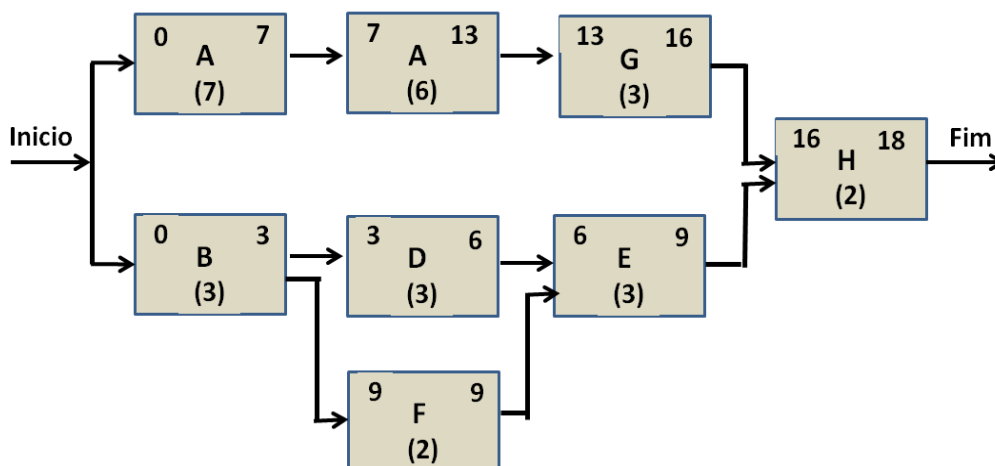


Figura 4. Cálculo do passe para frente (*Forward*)

Fonte: Elaboração do autor

A Figura 5 mostra um caso de cálculo para trás (**backward**), onde uma tarefa tem mais de um sucessor com mais de uma seta saindo de um precedente (D e F). Para tarefa B, deve ser escolhido o menor tempo TMC (**término mais cedo**) da tarefa, que neste caso é tempo 10 da tarefa (D) para ser programado na tarefa (B) no tempo do Término Mais Tarde (TMT) (Dilmaghani, 2008).

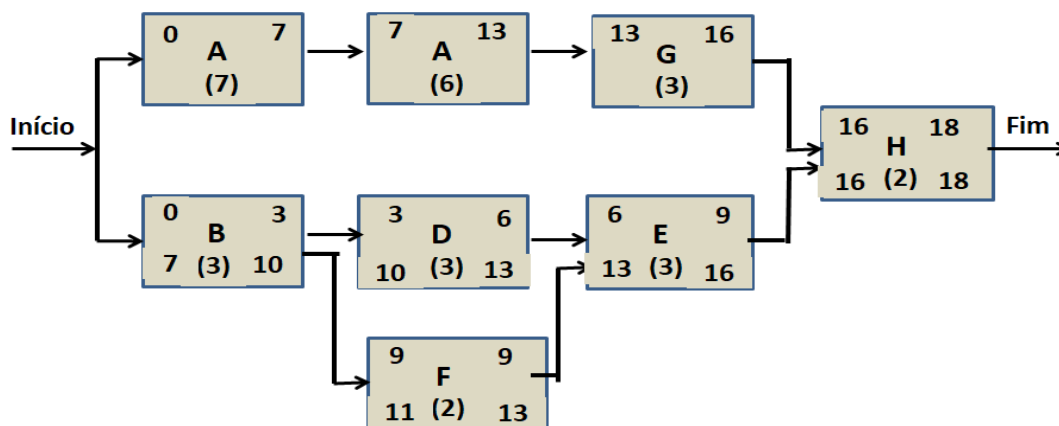


Figura 5. Calculando o passe para trás (**backward**).

Fonte: Elaboração do autor

Os tempos calculados na programação para frente (**Forward**) e para trás (**Backward**) para as atividades são relevantes no projeto, pois os tempos de início e de término (IMC e TMC) de cada atividade são determinados no período mais curto em que uma atividade pode começar e terminar considerando suas atividades antecessoras.

Já os tempos de terminar (IMC e TMT) são calculados na programação para trás através do retorno na rede. A diferença nos tempos de TMC e IMC (**TMC - IMC**) ou diferença dos tempos TMT e IMT (**TMT - IMT**) gera a Folga Total (FT) na atividade, e quando esta atividade estiver no caminho crítico na rede a sua folga

será igual à zero.

Rand (2000) e Trietsch e Baker (2012) enfatizam que as técnicas de programação de projeto tradicionais (PERT/CPM) foram desenvolvidas para planejar e controlar projetos de grande escala e complexos, mas com incerteza nos tempos de conclusão do projeto. Essa incerteza limita a utilidade da técnica determinística porque elas não consideram as variações temporais (estocásticas) que têm um grande impacto sobre o tempo de conclusão para um projeto complexo.

Neste contexto, a presença da incerteza existente em cada projeto é considerada a principal causa que leva a maioria das programações em adotar o excesso de segurança na execução. No entanto, além da necessidade de um estudo de viabilidade de recursos e um cronograma de linha de base na execução das tarefas, a estabilidade do cronograma gerado torna-se um ponto central de atenção na programação do projeto.

Quando a disponibilidade de recursos é limitada, os conceitos de caminho crítico e folga total com uso da técnica CPM perde seu sentido original. E se alguma das atividades que estão no caminho crítico é atrasada devido à insuficiência de recursos, então o caminho crítico que tem uma folga total igual a zero não existirá mais. Dessa forma, os problemas com recursos em projetos podem ser resolvidos pelo método de RCPSP - *Resource-Constrained Project Scheduling Problem* - Problema de Programação de Projetos com Limitação de Recursos que leva em consideração as dependências de recursos e relações de precedência na programação (Herroelen; Leus, 2005).

Para superar esta desvantagem do problema de CPM, no quesito de recurso, uma considerável quantidade de pesquisas sobre RCPSP foi realizada ao longo dos anos, resultando em soluções promissoras.

É válido destacar que CPM só é adequado para um ambiente de projeto individual e com recursos ilimitados, uma vez que não fornece quaisquer diretrizes para o gerenciamento de vários projetos simultaneamente (múltiplos projetos) (Lechler; Ronen; Stohr, 2005; Herroelen; Leus, 2005).

Diante disso, esta necessidade motivou o desenvolvimento da *Critical Chain Project Management* (CCPM), que foi projetado especificamente para esses fins (Ash; Pittman, 2008). No entanto, o CCPM aborda a variação estocástica sem análise detalhada desta forma aleatória e ignora o fato de que grandes projetos devem ser gerenciados hierarquicamente.

Assim, os problemas discutidos de PERT/CPM formaram as bases para a criação do método do Gerenciamento de Projetos pela Corrente Crítica (CCPM) que teve de ser melhorado para dar suporte aos tratamentos das questões relacionadas ao campo da incerteza, como variação de tempo na conclusão de projetos, fatores humanos, falta de procedimentos para o ambiente de múltiplos projetos e problemas relacionados às mudanças frequentes no caminho crítico na rede PERT/CPM.

Método da Corrente Crítica de Projetos: Fundamentos e Procedimentos

A abordagem do método da Corrente Crítica (*Critical Chain Project Management*) ou CCPM que está baseada nas premissas que foram sugeridas por Goldratt (1997), é um avanço para o gerenciamento de projetos, em que a Corrente Crítica (CC) nos leva a uma perspectiva maior para a solução de problemas, em que “a gestão de projetos deve focar na otimização do todo em vez da otimização local” (Leach, 2000; Rand, 2000; Steyn, 2002; Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004).

Desde que Goldratt introduziu o método da corrente crítica (CC) em seu livro “A Meta” junto ao Jeff Cox em 1984, o conceito tem sido amplamente discutido na literatura de gerenciamento de projetos e aplicado em vários pacotes de *software* comercial em *Critical Chain*, tais como: *Software Concerto* (www.realization.com); *Prochain* (www.prochain.com); CCPM $\pm$ (www.advanced-projects.com); Aurora (www.stottlerhenke.com) e PS8 (www.sciforma.com) e outros.

No entanto, a Corrente Crítica pode ser considerada como uma filosofia nova para o Planejamento e Gerenciamento de Projetos baseado na Teoria das Restrições (TOC) e contribuir significativamente na redução do tempo de entrega do projeto com base na programação e nos conceitos da CC em que foram desenvolvidos. Sua principal abordagem consiste na administração de prazos e atividades, e considera também a alocação de recursos.

Cabe apontar que existem vários autores que investigaram e discutiram as questões do método da corrente crítica usado na gestão de projeto tais como: Newbold (1998); Cabanis-Brewin (1999); Pinto (1999); Herroelen e Leus (2002); Umble e Umble (2000); Rand (2000), Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004); Leach (2005) e outros.

Pittman (1994) enfatiza que TOC tem sido aplicada à gestão de projetos, a fim de resolver os problemas típicos experimentados por gerentes de projeto que levaram a atrasos e falhas de projeto. Nesse sentido, Leach (2000) descreveu a teoria e a prática da gestão de projetos de cadeia crítica e concluiu que o CCPM tem um resultado melhor no desempenho do cronograma, custo e escopo.

Além disso, Rand (2000) e Steyn (2002) também abordam que os problemas encontrados no gerenciamento de projetos, tais como, atrasos, excesso de custos, mudança no escopo de projeto e outros, geravam uma incapacidade para lidar com utilização da TOC em que exigia uma análise exaustiva e rigorosa. Nesse sentido, surgiu a necessidade de desenvolver a CCPM como uma solução inovadora na gestão de projeto já que os métodos tradicionais (PERT/CPM) de programação do projeto permaneceram basicamente os mesmos desde sua aplicação na década de 1950.

Steyn (2002) explicou por que TOC foi inicialmente aplicada apenas ao planejamento de projetos, e argumentou que uma segunda aplicação da TOC foi administrar os recursos compartilhados por um número de projetos concorrentes. Ressalta-se que Wei, Liu e Tsai (2002) compararam e contrastaram as vantagens e desvantagens do projeto tradicional de gerenciamento de projetos pela gestão da TOC.

Assim também, em seu trabalho, um método TOC aprimorado para programar o projeto sob-restrição de recursos foi também proposto para melhorar a robustez de um plano de projeto em um ambiente dinâmico. Cabe mencionar

que, por meio de um estudo de caso, Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2009) mostraram que o método da cadeia crítica permitiu à empresa maximizar a qualidade do trabalho e minimizar o tempo e o custo do projeto.

Raz, Barnes e Dvir (2004), por sua vez, comentam que desenvolver uma programação em projeto baseado na corrente crítica é adotar um conjunto de tarefas que mencionam suas dependências e estimativas de duração, de maneira que sejam observadas as dependências entre as tarefas na rede e também a disponibilidade de recursos. Com isso, pode-se ter como resultado uma programação mais longa do que a que obtida pelo caminho crítico e que as atividades do caminho crítico são atrasadas enquanto ficam na espera de recursos.

A técnica CCPM é definida como uma sequência de recursos chamada de corrente crítica, que podem necessitar de uma sequência de tarefa em que pode exceder a duração do caminho crítico. Para dar conta da sequência crítica de um projeto, alguns pesquisadores apresentaram as restrições de recursos como um método de programação. Em comparação com métodos tradicionais de caminho crítico, o CCPM tem três diferenças fundamentais: estimativa de duração de tarefa, o emprego de pulmão (margem) de tempo (buffers) e conflitos de recursos (Watson; Blackstone; Gardiner, 2007).

Ahlemann *et al.* (2013) comentam que CCPM é um método para planejar e gerenciar os recursos necessários para executar as tarefas de projetos e tem sido amplamente utilizado na programação, no intuito de ajudar os gestores a garantir o tempo de conclusão e o orçamento do projeto.

Além de ser cada vez mais utilizado na programação de projeto, o CCPM tem sido objeto de estudo de vários autores em diversos trabalhos. O Quadro 3, apresenta alguns autores que abordaram nos últimos 20 anos o uso do método CCPM.

Quadro 3. Abordagem de estudos internacionais referente à CCPM para projetos individuais e Múltiplos projetos.

Período (ano)	Projeto individual	Múltiplos projetos
1998 a 2002	Newbold (1998); Leach (2000); Rand (2000); Umble e Umble (2000); Steyn (2002);	Herroelen e Leus (2001); Fenbert e Fleener (2002).
2002 a 2006	Gray e Larson (2000); Herroelen e Leus (2001); Steyn (2002); Wei <i>et al.</i> (2002); Cervený e Galup (2002); Raz, Barnes, Dvir (2004); Herroelen e Leus (2005); Tukel, Rom e Eksioglu (2006).	Cohen, mandelbaum e shtub (2004); Leach (2005); Kanagasabapathiet <i>et al.</i> (2005).
2007 a 2011	Rabbani <i>et al.</i> (2007); Bevilacqua, Ciarapica, Giacchetta (2009); Xie, Guang, Chuang (2010); Blackstone, Cox, Schleier (2009); Koskela <i>et al.</i> (2010); Marris (2011) e Yang (2012).	Dass e Steyn (2006); Agarwal e Borchers (2009); Huang <i>et al.</i> (2011).
2012 a 2018	Pawinski e Sapiecha (2012); Millhiser e Szmerekovsky (2012); Hall (2012); Peng e Xu (2012); Bhushan e Raghavan (2013); Peng e Huang (2014); Dong <i>et al.</i> (2013).	Morais e Sbragia (2012); Weixin <i>et al.</i> (2013); Yang e Fu (2014); Chen, Zhu e Zhang (2014); Araszkiwicz (2017); Li <i>et al.</i> (2017); Cheng e Lo (2017).

Fonte: Elaboração do autor

Nesse viés é válido acrescentar que dentre as principais vantagens da CCPM

estão a sua simplicidade, a sua proteção explícita contra a variação estocástica e um conjunto de diretrizes de controle razoáveis que ele fornece no planejamento e execução dos projetos (Trietsch; Baker, 2012).

Ressalta-se que a teoria das restrições para gerenciamento de projeto tem proposto a metodologia da Corrente Crítica para Programação e Gerenciamento de Pulmão de tempo como uma abordagem simples e eficaz, tanto em termos de programação de projetos, como de controle do projeto sob influência da complexidade e incerteza (Yang *et al.*, 2008; Peng; Huang, 2014; Yang; Fu, 2014).

Estudo realizado por de Ghaffari e Emsley (2015) com 140 trabalhos voltados para CCPM, no período de 1998 ao primeiro semestre de 2014, visto na Figura 6, mostra as primeiras reações à introdução de CCPM na área de projeto e faz comparações em vários aspectos aos métodos convencionais. Com efeito, o número de estudos publicados nos últimos anos mostra que o tema ainda é examinado por estudiosos que acreditam no potencial da contribuição que a CCPM possa resultar.

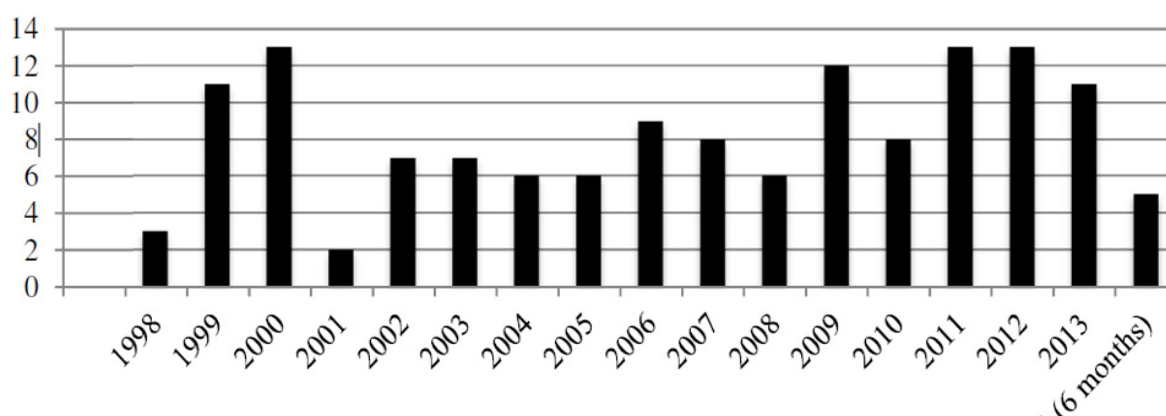


Figura 6. Distribuição dos 140 estudos CCPM entre 1998 e 1º semestre de 2014.

Fonte: Adpatdo de Ghaffari e Emsley (2015)

Apartir da análise da Figura 6, observa-se que o número de estudos publicados atingiu um número máximo em 2000. Isso só foi alcançado novamente em 2011 e 2012. Em 2001, o número de trabalhos foi reduzido, mas logo depois começou um aumento que continuou até 2012. Essa súbita queda no número de estudos em 2001, é provavelmente, por causa da mudança na posição de alguns pesquisadores quanto aos questionamentos do método. Nesse contexto, cabe ressaltar alguns trabalhos relevantes apresentados, tais como: Rand (2000), Umble e Umble (2000), Gray e Larson (2000), Steyn (2002) e outros. Após esse período, outros autores se lançaram na investigação da aplicabilidade do CCPM com uso de técnicas computacionais (algoritmos genéticos, *fuzzy*, modelos matemáticos, heurísticas e aplicação de outras técnicas).

Convém acrescentar também que no estudo de Ghaffari e Emsley (2015) foi feita uma apresentação positiva em relação à CCPM através dos trabalhos que foram divididos em seis aspectos de categoria (Quadro4).

Quadro 4. Aspectos de categoria de estudo da CCPM.

Abordagem	Descrição
Estudos introdutórios	Conceitos e explicação dos conceitos básicos e princípios de CCPM e também em relação aos outros métodos tradicionais.
Crítica ao estudo	Praticidade e viabilidade dos fundamentos e princípios CCPM.
Melhoria em novos estudos	Novos métodos de melhorias nas ferramentas e técnicas de CCPM.
Estudos empíricos	Estudos que tentam enriquecer, comparar, validar ou invalidar princípios ou técnicas CCPM através de simulações, jogos ou análise estatística.
Resultados de estudos de casos e de relatórios	Estudos que relatam casos de implementação e implantação de CCPM.
Exploração de estudos	Estudos em que se aplicam os princípios CCPM a diferentes setores de projeto.

Fonte: Adaptado de Ghaffari e Emsley (2015)

É importante destacar que a partir da introdução dos conceitos de CCPM e também pela propagação por outros estudiosos, no Brasil, alguns pesquisadores também acompanharam esta evolução divulgando trabalhos referentes à corrente crítica em gestão de projetos tanto para projeto individual como em ambiente de múltiplos projetos, conforme pode ser visto no Quadro 5.

Quadro 5. Autores brasileiros que apresentaram CCPM em projetos individuais e múltiplos projetos.

Autor	Descrição
Campanini (2008)	Foi utilizado um estudo de comparação de dois métodos de gerenciamento de projeto: um pelo método tradicional (PERT/CPM) e outro pelo método da Corrente Crítica (CC). Utilizou algumas simulações para comparar os prazos de entrega e as durações dos projetos para cada um dos métodos de gerenciamento.
Finocchio (2009)	Investigou a adequação do método CCPM para a programação dos projetos de parada de plataformas marítimas de exploração de petróleo. A análise e interpretação dos dados do trabalho mostrou que CCPM é adequado e oferece melhores chances de cumprimento do prazo do projeto, indica o melhor momento de agir e como deve ser direcionada a ação em ambiente de alta limitação de recursos e por grande quantidade de paralelismo de atividades.
Cavalcanti (2011)	É um trabalho que tem como enfoque a demonstração da aplicabilidade em Gerenciamento de Projetos por Corrente Crítica (CCPM), a fim de auxiliar a gestão de obras e tendo como resultados o aumento no foco da equipe nas atividades, maior controle do andamento da obra, motivação das pessoas com trabalho em equipe, aumento da produtividade e a redução de multitarefa nas atividades.
Morais (2011)	O trabalho analisa a experiência de duas empresas (EMBRAER e EMBRACO) no gerenciamento de ambientes múltiplos projetos pelo método CCPM, resultado que a sua aplicação CCPM traz ganhos quantitativamente significativos ao desempenho do gerenciamento dos projetos, especialmente no que diz respeito ao incremento da capacidade de entrega, e de que sua efetiva implementação é impactada pela estrutura organizacional e pela maturidade em administração de projetos da empresa.

Autor	Descrição
Santos (2013)	Desenvolveu um modelo de simulação em eventos discretos para avaliar e comparar a utilização dos princípios da corrente crítica, frente ao método tradicional do planejamento da capacidade aplicado em um processo de fundição, onde avaliou alguns indicadores de desempenho como: atendimento aos prazos, trabalho em processo e lead time.
Cooper Ordoñez (2013)	Elaborou uma proposta de um modelo para utilização dos conceitos da Corrente Crítica no gerenciamento de sistemas de múltiplos projetos. Desenvolveu uma pesquisa aplicada, de natureza qualitativa, em ambiente real de projeto e que utilizou a Regressão Logística Binária como técnica para encontrar o nível de impacto das variáveis de influência no gerenciamento da incerteza presente na estimativa de tempo das atividades dos projetos.
Campanini (2013)	Faz uma proposta de cálculo de pulmão de tempo. Para isso, utilizou a Lógica Fuzzy em um ambiente de múltiplos projetos em uma empresa que trabalha com pedidos sob encomenda no segmento de Bens de Capital. Considerou cinco variáveis que influenciam no resultado dos contratos e, dessa forma, participaram dos cálculos: multa contratual, margem de lucro, importância do cliente, complexidade do projeto e escassez de recurso.
Moellman (2013)	O autor apresenta uma proposta de modelo para gerenciamento em ambientes de múltiplos projetos junto com as premissas do Sistema Enxuto de desenvolvimento de Produto, e emprega também a Simulação de Monte Carlo, a fim de demonstrar os efeitos dos resultados da Corrente Crítica em termos de desempenho no propósito de avaliar quantitativamente a solução encontrada pelo uso da Corrente Crítica para desempenho de prazos de projeto.
Moraes (2015)	Analisa a aplicação da CCPM como método de apoio a atividades de PDP (Processo de Desenvolvimento de Produtos) na gestão de portfólio de projeto de produto por meio de um estudo de caso em uma empresa fabricante de aeronaves autodeclarada utilitária da técnica CCPM. Os resultados permitiram concluir que a CCPM traz ganhos quantitativos significativos ao desempenho no gerenciamento em ambiente de múltiplos projetos.
Almeida (2017)	Considera as práticas de GP para lidar com ambiente instável e ambíguo utilizando o método de Teoria Fundamentada em Dados (TFD) aplicada de forma combinada em dois métodos de GP: a Gestão de Projetos por Corrente Crítica (<i>Critical Chain Project Management</i> - CCPM) e o Scrum. Os resultados obtidos por este trabalho apontam que a integração destes métodos pode potencializar os benefícios e atenuar as fragilidades de cada uma delas em particular, e cujo uso articulado e coordenado pode permitir decisões mais efetivas em ambientes voláteis, incertos e complexos que envolvem múltiplos projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Segundo Millhiser e Szmerekovsky (2012), apesar das práticas de CCPM terem sido bem-sucedidas, continuam a ser objeto de desacordo entre alguns estudiosos quanto às suas vantagens e desvantagens. Dessa forma, ainda existem muitas contradições quanto ao sucesso da aplicação da metodologia da corrente crítica na gestão de projeto. Mas os defensores da CCPM, como, Newbold (1998), Leach (2005), Robinson e Richards (2010) rejeitam as críticas e enfatizam a implementação bem-sucedida que a CCPM pode trazer de resultado na prática.

Para os opositores, como Pinto (1999), Wilkens (2000), Raz, Barnes e Dvir (2004) e Trietsch (2005) que negam as vantagens de CCPM devido à falta de validação científica dos pressupostos, ainda é necessário analisar objetivamente todos os aspectos da Corrente Crítica em detalhe, como a sua eficácia e propor

formas de melhorá-la na sua aplicação.

Cooper Ordoñez (2013) elaborou um Quadro 6 em que alguns pontos críticos do questionamento na aplicação da metodologia de CCPM na gestão de projeto foram abordados nos trabalhos de Raz, Barnes e Dvir (2004), Lechler, Ronen e Stohr (2005) e Silva e Pinto (2009).

Quadro 6. Principais questionamentos ao Método da Corrente Crítica.

Autor	Questionamentos
Raz, Barnes, Dvir (2004).	A forma de identificar a quantidade precisa de margem de segurança é tratada de forma superficial e requer suporte empírico.
	O conceito de pulmão de recurso não é um aspecto único da CCPM.
	Dúvidas sobre a forma de tratar os múltiplos projetos: limitar os projetos ao redor do recurso com maior restrição
	Existe uma contradição na atribuição de multitarefas.
Lechler, Ronen, Stohr (2005).	Quais durações de atividades que devem ser estimadas sem incluir margem de segurança?
	Pode a tendência das pessoas para a multitarefa ser controlada?
	CCPM é mais estável que CPM? Como pode ser definida essa estabilidade?
	Qual é o melhor método para identificar o gargalo de recurso em ambientes multiprojetos?
	Existe cultura nas empresas para implantação da CCPM?
Silva e Pinto (2009).	Como é feito o nivelamento de recursos?
	Como calcular as reais margens de segurança embutidas nas atividades?
	Como é feita a reprogramação?
	Como são tratadas as multitarefas em ambientes múltiplos projetos?

Fonte: Cooper Ordonez (2013)

Percebe-se, no entanto, que os autores que admitem a proposição da metodologia da corrente crítica justificam a sua aplicação na gestão de projetos, tanto em projeto individual como múltiplos projetos. Uma das concepções interessantes da CCPM, figura a situação de utilizar o consumo de pulmões de tempo no final do projeto e nos caminhos de alimentação, na tentativa de superar as incertezas presentes na programação das atividades, onde considera o recurso restritivo como uma contenção do sistema. Esta deve ser gerenciada por meio de um indicador de consumo de tempo do projeto, não só em cada atividade individual mas pelo progresso do projeto como um todo.

Por outro lado, o método CCPM ainda gera discussões bastante intensas, onde alguns pontos ou questionamentos ainda precisarão ser estudados e esclarecidos, no sentido de desenvolver um cronograma mais realista e confiável e uma linha de base de projeto organizada para proteger a programação contra as possíveis incertezas e garantir o sucesso da execução do projeto.

No entanto, pelo fato de ser uma proposta relativamente nova, o método da Corrente Crítica, embora use conceitos ou fundamentos advindos de teorias anteriores (como PERT/CPM) apresenta algumas diferenças com relação a estes métodos tradicionais para gerenciamento de projetos.

Destaca-se que Lechler, Ronen e Stohr (2005) elaboraram um estudo resumindo sobre as diferenças filosóficas em que nos dois métodos (PERT/CPM) e (CCPM) resultaram em diferentes modelos para os gestores e, por consequência,

em um conjunto de práticas distintas que pode ser vista no tipo de abordagem, tais como: teoria, metas, foco de atenção, incerteza, gerenciamento de recursos e questões comportamentais, descritas no Quadro 7.

Quadro 7. Diferenças metodológicas entre CPM/PERT e CCPM.

Perspectiva	CPM/PERT	Corrente Crítica (CCPM)
Teoria	Teoria dos sistemas, teoria dos grafos.	Teoria dos sistemas, teoria dos grafos e <u>teoria das restrições</u> .
Metas	- Minimizar a duração do projeto isolado, às vezes considerando restrição de recursos. - Satisfazer as triplas restrições de tempo, custo e escopo.	- Minimizar a duração do projeto isolado sempre considerando restrição de recursos. - Maximizar os resultados em ambientes multi-projetos. - Busca um resultado satisfatório (não ótimo, mas bom o suficiente).
Foco de Atenção	- Perspectiva de projeto isolado (primariamente). - Determina que atividades requeiram atenção particular para evitar atrasos. - Perspectiva de sistemas locais.	- Perspectiva sistêmica dos projetos. Sistemas tanto de múltiplos projetos quanto de projetos isolados. - Determina, sob consideração explícita de incerteza, quais atividades requerem atenção particular para evitar atrasos. - Perspectiva de sistemas globais.
Incerteza	- Proteção local contra a incerteza, inserida na atividade. - Custo x benefício (<i>Tradeoffs</i>) entre as triplas restrições.	- Proteção global contra incerteza, inserida no projeto como um todo. - Tenta evitar a necessidade de custo x benefício (<i>tradeoffs</i>), buscando segurança e assertividade na promessa de prazo.
Gerenciamento de recursos	- Desenvolve uma linha-base de cronograma. - Maximiza a utilização de todos os recursos.	- Desenvolve uma linha-base, mas incorpora um pulmão para lidar com a variação. - Maximiza a utilização do(s) recurso(s) considerado(s) gargalo(s).
Questões Comportamentais	Faz-se referência ao "lado humano" do gerenciamento de projetos apenas de forma implícita.	Reduz o tempo das atividades para neutralizar tendências individuais de atrasar a execução das tarefas (lei de Parkinson e Síndrome do Estudante).

Fonte: Adaptado de Lechler, Ronen e Stohr (2005).

Aplicação da CCPM em Projeto Individual

A CCPM identifica a "Corrente Crítica" como o conjunto de tarefas que resulta no caminho mais longo para conclusão do projeto, após o atendimento das restrições de precedência e a eliminação de conflitos entre as tarefas que compartilham os mesmos recursos (Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004).

Cabe ressaltar que a CCPM não é uma metodologia bem definida no sentido de fornecer definições precisas para algumas situações e cenários do projeto. Mas, pelo contrário, ela dá um quadro de procedimentos ou diretrizes para gestores de projeto sobre como planejar, programar e controlar seus projetos, e cabe ao gestor, através do método, melhorar o desempenho da execução dos projetos.

A diferença importante entre os dois (CPM) e (CCPM) é o processo de realização do projeto onde a fase de execução é o ponto chave para a entrega; e a razão pela quais muitas organizações escolhem a metodologia CCPM é para atender dentro do prazo. Embora durante o processo de planejamento, ambos os métodos identificam o trabalho crítico e que devem ser programados e identificados os recursos necessários, a CCPM toma medidas extras para se concentrar no trabalho e nos tempos necessários para utilização dos recursos restritivos, de maneira que possam ser efetivamente explorados durante a execução. Desse modo, o objetivo do CCPM no processo é aproveitar essas restrições e obter o menor tempo de execução possível, em vez de se concentrar apenas na menor sequência das atividades.

Demonstração de um exemplo de programação de um projeto pelo CPM e CCPM

A programação é feita pela minimização da duração total do projeto, mas entre as duas abordagens (CPM) e (CCPM) existem algumas diferenças que já foram demonstradas no Quadro 7. A programação pelo projeto no Caminho Crítico, o recurso não limita a programação, enquanto na Corrente Crítica (CC) existe uma forte limitação dos recursos na programação pelo fato de existir no sistema um tipo de recurso restritivo que limita o andamento do projeto.

Neste contexto, serão apresentadas duas situações através de exemplos ilustrativos, em que o projeto será programado pelos conceitos do caminho crítico e a segundo pela corrente crítica.

a) No Caminho Crítico (CPM)

Na Figura 7 é mostrada uma rede de um projeto com 11 atividades e suas relações de precedência de início e término entre elas. Cada atividade está representada por um círculo e número (nó), e outro número acima que indica a sua duração, pelo conceito de PERT/CPM.

Após o sequenciamento, a duração do projeto é determinada pelo comprimento da rede no caminho crítico (caminho mais longo), como é vista na cor vermelha pelo conjunto de atividades (1-2-3-6-9-11) e que faz o somatório de todos os tempos na atividade em dias ($3+5+2+3+7+2$) igual a 22 dias na duração total de tempo do projeto.

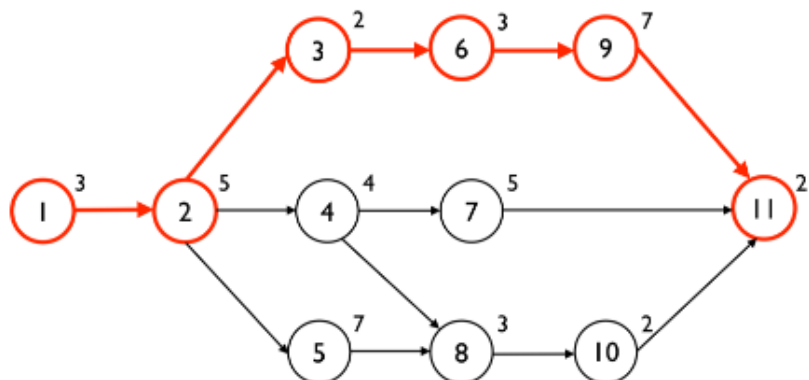


Figura 7. Um exemplo de rede de projeto com o caminho crítico (tempo total de 22 dias).

Fonte: Adaptado do Vanhoucke e Colin (2016)

b) Para Cadeia Crítica (CCPM)

Para programar o projeto baseado nos conceitos da corrente crítica, deve-se levar em consideração a disponibilidade de recursos e a realização dos possíveis desconflitamentos entre as atividades que consomem os mesmos recursos no intervalo (janela) de tempo.

Na Figura 8, é apresentado um exemplo pelo diagrama de consumo de recurso ao longo do tempo, mas se deve considerar que a limitação de disponibilidade é de seis unidades (linha tracejada) para todos os períodos do projeto.

A primeira programação de início mostrada no topo da Figura 8 tem um conflito de recursos entre os períodos 8 e 13, uma vez que o uso total do recurso renovável pelas atividades **3, 4, 5, 6 e 7** excede sua disponibilidade limitada de 6 unidades.

Para resolver esse conflito de recursos, as atividades precisam ser deslocadas em períodos de tempo em que os recursos estarão disponíveis. As demandas de recursos nas atividades estão representadas na parte inferior das atividades 3 e 6 destacadas pelo retângulo. A forma como esses conflitos de recursos deve ser resolvidos depende do objetivo da programação, podendo ser resolvido, como exemplo, a “regra de prioridade no atendimento”.

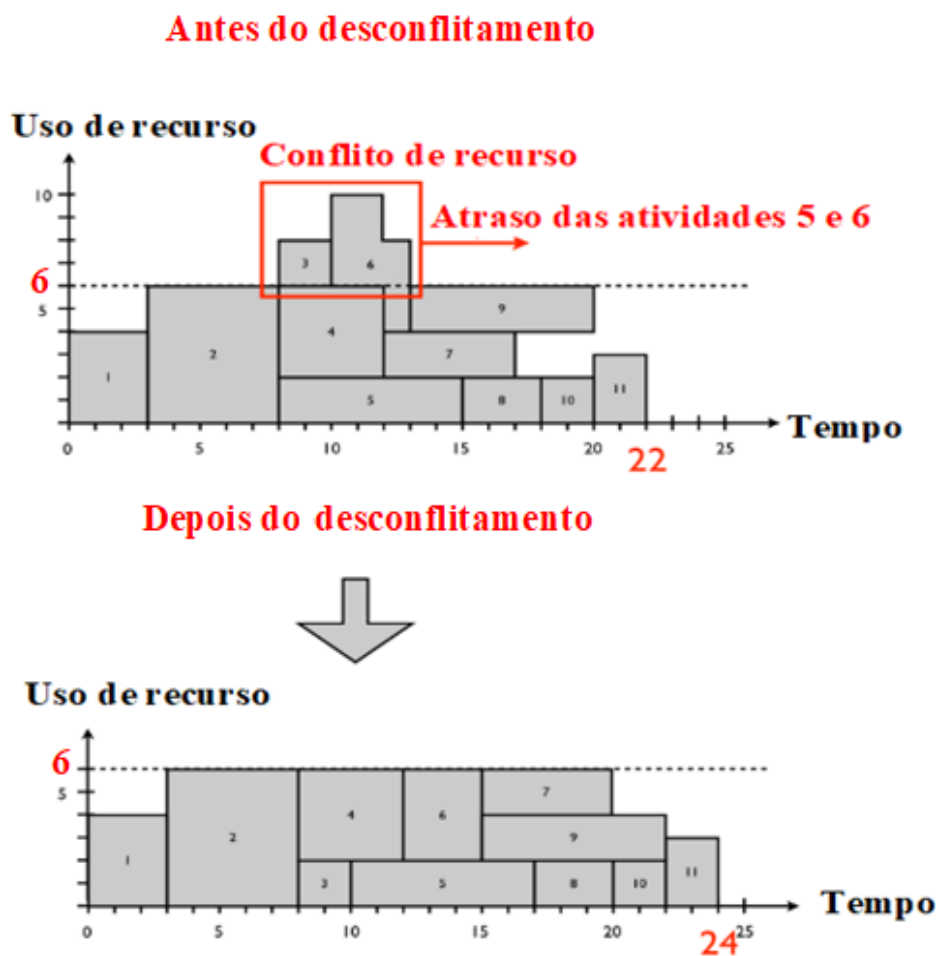


Figura 8. Os perfis de recursos (antes e depois) do desconflitamento para o cronograma do caminho crítico e um cronograma viável por recursos.

Fonte: Adaptado de Vanhoucke e Colin (2016)

Resultados na comparação entre os dois métodos (CPM) e (CCPM)

Destaca-se o cronograma do caminho crítico sem restrições de recursos antes do desconflitamento (comprimento = 22 dias), não levou em consideração as restrições pelo excesso da demanda nas atividades 3 e 6, que ultrapassa o nível de disponibilidade de recurso de 6 unidades, e após o desconflitamento destas atividades, o cronograma passou a ter um período de duração no projeto maior (comprimento = 24 dias), mas com uma situação viável da execução de projeto pela alocação de recurso. Apartir dessa análise do problema, pode-se destacar quatro considerações importantes quanto à metodologia empregada no exemplo:

- A duração do caminho crítico (CPM) é sempre menor ou igual à duração da programação do projeto viável pelo recurso da corrente crítica. De fato, uma vez que a disponibilidade limitada de recursos coloca uma restrição adicional no grau de liberdade durante a construção de um cronograma de linha de base, o comprimento do caminho crítico é um limite inferior no comprimento da duração da programação viável (CC).
- Em analogia com o caminho crítico (CP), que determina o subconjunto das atividades do projeto que são responsáveis pela duração do cronograma do projeto, um conceito similar, conhecido como a cadeia crítica, é válido para um cronograma viável de recursos. No entanto, enquanto o caminho crítico é o resultado de uma abordagem simples de sequenciamento, a corrente crítica depende do objetivo da programação e, portanto, da escolha das atividades que foram atrasadas.
- No exemplo da Figura 2.8, as atividades cinco e seis foram adiadas para resolver o conflito de recursos, mas outro objetivo de programação poderia resultar em outras atividades para atrasar e, portanto, gerar outra corrente crítica. A corrente crítica no exemplo é igual à sequência de atividade **1 - 2 - 4 - 6 - 9 - 11** que obedece às relações de precedência e de recursos, o que é contrário a do caminho crítico.
- A Figura 9 também mostra a ligação de recursos entre as atividades 4 e 6 (**seta tracejada**) que foram adicionadas à rede do projeto. A conexão de recurso extra é adicionada para evitar que as atividades 4 e 6 sejam programadas simultaneamente e evitando seu conflito.

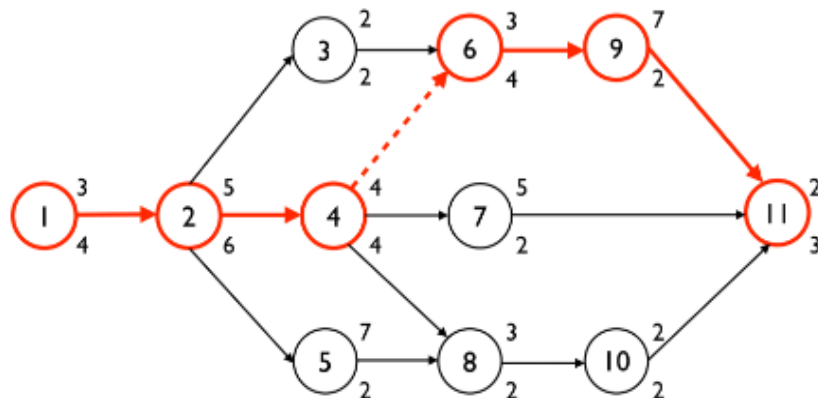


Figura 9. Um exemplo de rede de projeto com a cadeia crítica igual a 24 períodos devido à incorporação de um arco de recursos entre 4 e 6.

Fonte: Adaptado de Vanhoucke e Colin (2016)

Gestão de Projetos por Corrente Crítica

Para Hu, Cui e Demeulemeester (2015) os projetos estão sujeitos a um conjunto de limitações, como, a escassez de recursos, complexidade da rede e várias incertezas, e exigem técnicas mais eficazes para melhorar acompanhamento de cronograma do projeto. Nesse sentido, as técnicas tradicionais PERT/CPM já não podem mais satisfazer às necessidades diversificadas dos projetos modernos.

Diante disso, o desenvolvimento da Gestão de Projeto a partir da corrente crítica foi uma das razões que, segundo Rand (2000), veio para resolver alguns problemas crônicos que os métodos tradicionais na sua abordagem não têm sido eficientes na solução de tais problemas como: atrasos, gastos excessivos e outros elementos de itens indesejáveis e comuns aos ambientes de projeto. Dessa forma, a evolução da corrente crítica tem oportunizado a aplicação do método da CCPM em demanda de problemas de projetos no sentido de garantir resultados que venham contribuir para sucesso nas organizações.

Cabe ressaltar que o ponto de partida para a aplicação da CCPM em um projeto é desenvolver uma lista de tarefas, juntamente com suas estimativas de duração e dependências. Nesse sentido, as principais características que diferenciam de outras técnicas de gerenciamento de projetos podem ser destacadas através dos fundamentos comuns adotados nos trabalhos de (Herroelen; Leus, 2002; Steyn, 2002; Leach, 2005; Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Gong; Quing, 2010) que são:

1. Os tempos das tarefas são reduzidos de estimativas conservadoras para situações realistas e os conflitos de recursos são removidos;
2. A Cadeia Crítica é identificada como o caminho mais longo considerando as dependências (lógica) das tarefas e a contenção (restrição) de recursos no projeto;
3. O Pulmão de Projeto-PP, *Project Buffer* (PB), é colocado no final da **cadeia crítica** para garantir a conclusão de todas as tarefas do projeto;
4. Pulmão de Capacidade (PC) ou Pulmão de Recurso-PR, *Resource Buffer* (RB), também é colocado para garantir a disponibilidade de recursos na hora certa e em quantidade certa;
5. Os pulmões de Alimentações-PA, *Feeding Buffer* (FB) são colocados nos finais do caminho das cadeias **não críticas** que alimentam a cadeia crítica do projeto;
6. As atividades são iniciadas na filosofia “tão tarde quanto possível”, levando em considerações a lógica da tarefa, a contenção de recursos e o tempo de conclusão do projeto, entre outros;
7. Pulmões de Tempos (*Buffers*) são usados como medidas para controlar o desempenho do projeto, que oportuniza uma compreensão rápida dos status do projeto.

Leach (2005) faz uma descrição detalhada do método proposto por Goldratt (1997), baseado nas cinco etapas que foram intuídas pela teoria das restrições em um ambiente de projeto individual demonstrado no Quadro 8.

Quadro 8. Cinco etapas da aplicação da corrente crítica em projeto individual.

1 Identificação da corrente crítica
1.1 Estabelecer a rede de precedência começando com as tarefas com as datas mais tarde possíveis, e atribuindo a elas os tempos com 50% de confiabilidade. 1.2 Caso não haja conflitos na programação dos recursos, pode-se passar ao item 1.6. 1.3 Identificar qual será o primeiro conflito a ser resolvido, optar por aquele que estiver mais próximo do final do projeto ou presente em maior número de conflitos. 1.4 Os recursos com conflito devem ser programados em uma data mais cedo possível, mesmo que este apresente um novo conflito. 1.5 Deve-se voltar a etapa 1.3 quantas vezes forem necessárias, até que todos os conflitos de recursos sejam eliminados 1.6 Identificar a corrente crítica (será a maior corrente de atividades de dependentes)
2 Explorar a corrente crítica
2.1 Verificar se o sequenciamento resultante pode ser melhorado e se for possível otimize-o. 2.1 Adicionar o Pulmão de projeto no final da corrente crítica
3 Subordinar atividades e recursos à corrente crítica
3.1 Adicionar o Pulmão de Alimentação (Convergência) a todas demais redes de atividades. 3.1 Resolver os possíveis conflitos entre recursos que venham a ocorrer devido a adição dos pulmões, movendo a atividade em conflito para uma data mais cedo na rede 3.2 Mover para uma data mais cedo qualquer tarefa dependente que preceda a tarefa anteriormente movida 4. No caso do conflito de capacidade de recursos, sendo o mesmo necessário simultaneamente por mais de uma atividade, aumentar a capacidade do mesmo nesta janela de tempo.
4 No caso do conflito de capacidade de recursos, sendo o mesmo necessário simultaneamente por mais de uma atividade, aumentar a capacidade do mesmo nesta janela de tempo
5 Volta à primeira etapa e não deixar que a inercia tome conta do sistema

Fonte: Adaptado de Leach (2005)

Elementos de incerteza no enfoque da CCPM

Nesse aspecto, Izmailvov, Korneva e Kozhemiakin (2016) afirmam que o aspecto da incerteza pode ser conectado aos fatores, como novas tecnologias, baixo nível de experiência do envolvido, falta de conhecimento sobre a tarefa e incapacidade de estimar com precisão sua duração, de forma que tentam minimizar o risco, com adição de algum tempo de reserva para cada duração estimada na tarefa.

No entanto, é uma das razões para distinguir o gerenciamento de projetos pelo método (CCPM) por outros métodos, pois quando a incerteza está presente tem uma influência direta no tempo de sua execução do projeto como também no seu sucesso.

a) Durações de atividades

Moraes (2015) afirma que a maioria das empresas tem desenvolvido um modelo de gestão de projetos que, após a determinação do escopo do projeto e sua

divisão em pacotes de trabalho, são elaboradas as atividades que serão efetuadas para conceber os produtos finais do projeto a serem entregues. Em seguida, são definidas as estimativas de duração dessas atividades para compor um diagrama de rede, onde se calculam as datas cedo e tarde, de início e término e identifica-se o caminho crítico, que é definido como sendo o percurso que determinará a duração final do projeto, em que qualquer atraso nesse trajeto atrasará a finalização do projeto.

A estimativa de duração não é um simples número, e sim, um valor estatístico acompanhado por uma faixa de probabilidades com um nível de confiança em que se deve cumprir o prazo previamente definido (Herroelen; Leus, 2001; Leach, 2005; Moellmann, 2013).

Desta forma, a proposta inicialmente da corrente crítica por Goldratt (1997) enfatiza que as estimativas para duração das atividades sejam reduzidas (ou cortadas) por arbitragem em 50%. Mas autores como Pinto (1999), Herroelen e Leus (2002), Raz, Barnes e Dvir (2004), Treitsch (2005) e Cooper Ordoñez (2013) criticam essa forma preconizada por Goldratt, em que há a suposição de uma superestimação de tempos, feita pelos programadores. Assim, a proposta original da CCPM para reduzir o tempo de duração da atividade em 50% é uma estimativa “desafiadora” no seu cumprimento.

A Figura 10 ilustra que a diferença entre uma estimativa altamente provável (90%) e uma “desafiadora” pela CCPM (50%) gera uma margem de segurança de 40% (Finochio, 2009).

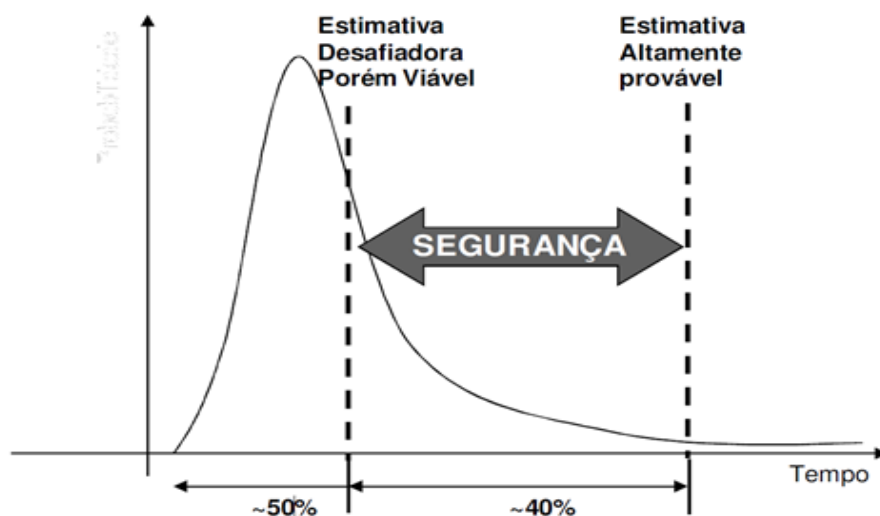


Figura 10 Probabilidade de cumprimento das atividades do projeto em função das estimativas de duração realizadas.

Fonte: Adaptado de Finochio (2009)

Nesse contexto, Leach (2005) adverte que as pessoas tendem a definir durações de atividades superestimadas com a finalidade de se proteger de futuras cobranças de desempenho. Mas Raz, Barnes e Dvir (2004) mencionam que se deve aplicar uma redução de estimativa na CCPM variável entre 33% a 50%, e devem ser observadas suas peculiaridades no contexto dos envolvidos nos projetos, tais como, experiência, a natureza na tarefa ou por outras razões.

b) Margem de Segurança

As incertezas e os riscos são inerentes a todos os tipos de projetos e tem sido uma questão importante na história do gerenciamento de projetos. Nesse sentido, Herroelen e Leus e Demeulemeester (2001), Raz, Barnes e Dvir (2004) e Lechler, Ronen e Stohr (2005) argumentam que as incertezas são a causa principal de efeitos indesejáveis em projetos, sendo difícil na previsão no início. E quando são desconhecidas, tornam-se imensuráveis em tal momento, que passam a ser um problema para o planejamento especificamente nas estimativas de duração de atividades.

Dessa forma, é importante aplicar a margem de segurança para compensar as incertezas das estimativas dos tempos nas atividades. Nesse ambiente de incertezas e recursos limitados existem fortes pressões por prazos maiores e as práticas convencionais aplicadas no gerenciamento de projetos tornam-se insuficientes na condução dos projetos.

Barcaui e Quelhas (2004) explicam que os constantes atrasos pelos quais os projetos são submetidos são devidos aos profissionais envolvidos em projetos que normalmente embutem em seus cronogramas margem grande de segurança de tempo para garantir a sua execução.

Para ilustrar a margem de segurança, a Figura 11 representa uma função de probabilidade acumulada, em que existe 50% de chance de se finalizar em até 5 dias (mediana), entretanto a estimativa real adicionou 30% de margem de segurança, representado um valor de 80% de probabilidade de ser concluída em até 8 dias.

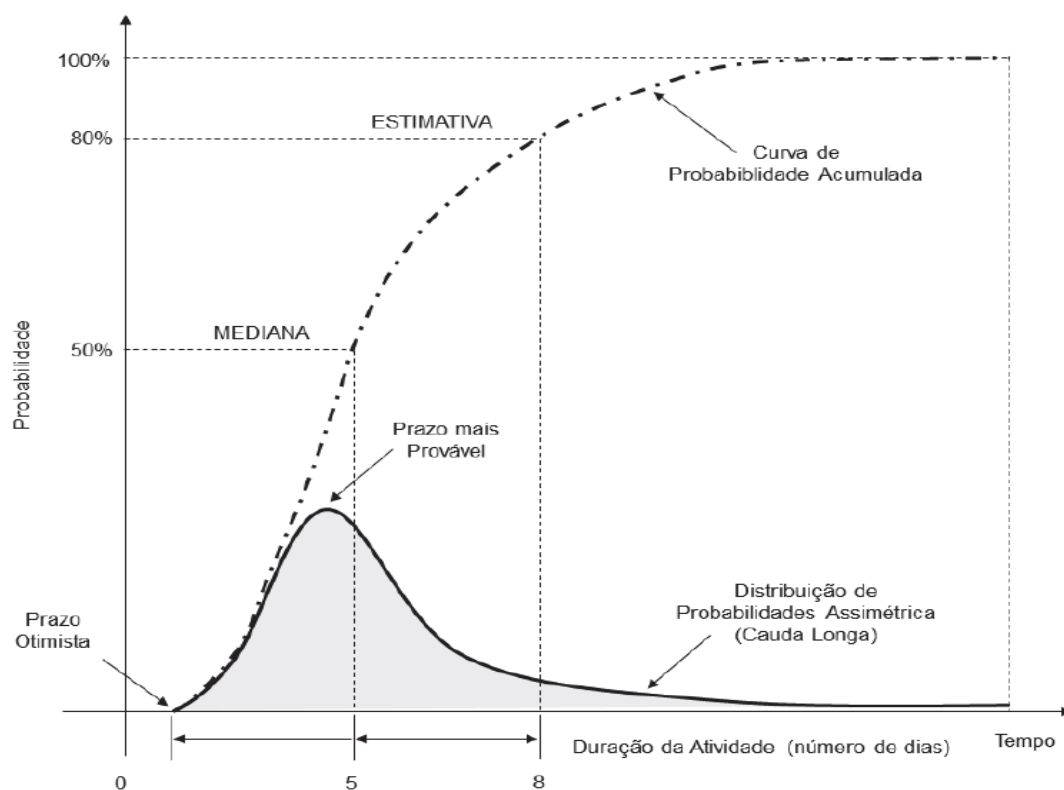


Figura 11. Curva de Probabilidade acumulada em ambiente de incerteza das estimativas.

Fonte: Adaptado de Moellmann (2013)

Dessa forma, a realidade comum é que, em um projeto, as pessoas adicionem uma “folga” às suas estimativas de duração em busca da certeza de que os

prazos serão atendidos como uma boa margem de segurança, e com a intenção de tornar suas previsões “mais realísticas” com a estimativa “mais provável”, a fim de aumentar a probabilidade de acerto nos seus dimensionamentos de tempo (Ash; Pittman, 2008; Bevilacqua; Ciarapica; Giacchetta, 2009).

Para proteger o projeto das incertezas pelo método do CCPM são adicionados os *buffers* (Pulmão de Projeto e Pulmão de Alimentação e Pulmão de Recursos) na margem de segurança que é fornecida pela estimativa “desafiadora, porém viável” e será melhor explicado na seção (2.5). Na Figura 12 mostra a presença do pulmão de projeto.

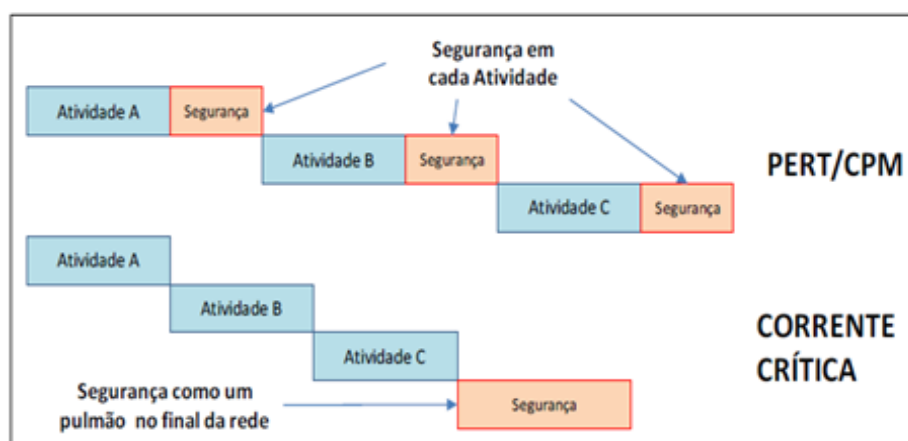


Figura 12. Comparação entre PERT/COM e Corrente Crítica.

Fonte: Adaptado de Rand (2000)

Além da metodologia da Corrente Crítica ser uma ferramenta de programação, também fornece orientações quanto ao gerenciamento, a fim de lidar também com os aspectos do comportamento humano, que podem influenciar no andamento de um projeto no propósito de obter maior desempenho na redução do tempo (Newbold, 1998).

Em contraste com o método de caminho crítico, que não resolve quaisquer problemas de aspectos humanos durante a programação e execução do projeto, a CCPM tenta solucionar alguns problemas relacionados com ações humanas que podem gerar impacto no ambiente do projeto, tais como: Síndrome de Estudante, a Lei de Parkinson e Multitarefa.

Comportamento humano na CCPM

Apesar de existir margem de proteção de tempo para as incertezas já incluídas nas estimativas das durações das atividades, mesmo assim acontecem atrasos que estão relacionadas ao comportamento humano e por consequência corroboram para atrasos nos projetos envolvidos. Goldratt (1997) cita três mais impactantes para desperdícios no projeto:

a) Síndrome do estudante

Shurrab (2015) define a Síndrome do estudante como um mecanismo de defesa natural em que o trabalho é adiado até o último momento possível. Já

Blackstone, Cox e Schleier (2009) enfatizam que esse tipo de comportamento faz com que os períodos sejam mais longos para execução das atividades em virtude do adiamento do início da tarefa para o momento “mais tarde possível”, mesmo quando há muitos dias (tempo) para fazê-la. Isso se explica, pois, as pessoas têm a tendência de esperar até que as tarefas se tornem extremamente urgentes para iniciá-las, ou seja, atrasa o tempo de início e aumenta, assim, o tempo de duração.

Nessa linha de pensamento, Goldratt (1997) afirma que os seres humanos tendem a atrasar suas ações até que se tornam urgentes. Estando cientes dos tempos de segurança em sua duração da tarefa, eles são inclinados a trabalhar em outras tarefas, que acreditam ter maior prioridade e são mais urgentes. Esse fenômeno pode ser comparado com o comportamento de um estudante de modo que nos primeiros dois terços do tempo programado para uma tarefa a sua execução total só acontece em um terço restante, podendo ser visto na Figura 13, onde podemos observar que menos de um terço (quantidade) da tarefa foi realizada em dois terços do tempo previsto para a sua execução. Para entregá-la dentro do prazo, deverá existir uma grande quantidade de esforço no último terço restante (Leach, 2000).

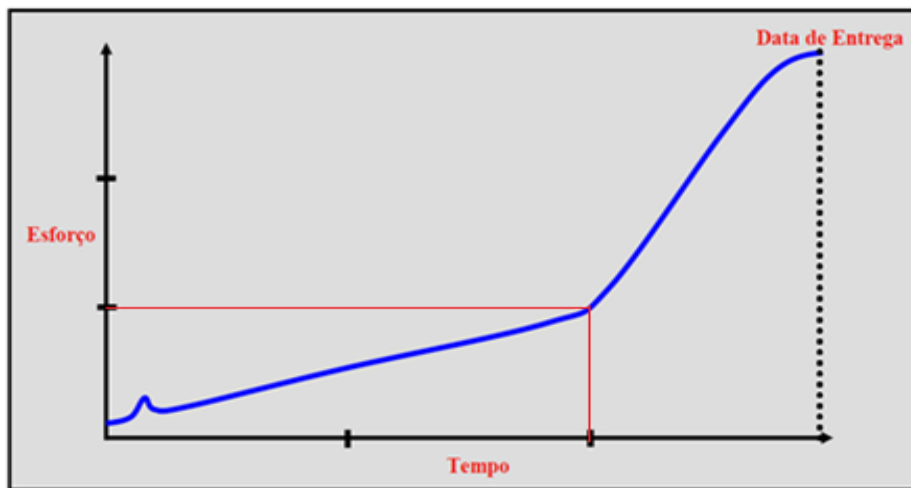


Figura 13. Síndrome do estudante.

Fonte: Adaptado de Leach (2000)

Além disso, a estimativa do tempo é geralmente imprecisa. O pessimismo dos períodos de estimativa, que prevalece na fase de planejamento, é substituído por otimismo durante a execução (Steyn, 2002).

Robinson e Richards (2010) destacam que ter mais tempo do que o suficiente para fazer uma tarefa já é motivo suficiente para deixar o tempo passar antes de investir qualquer esforço sério em sua conclusão. Quando se acrescenta a isso o fato de que no local de trabalho há muitas vezes vários outros fatos, mais responsabilidade de trabalho urgente a ser abordado, é então compreensível, que muitas outras atividades sejam apenas executadas quando o nível de urgência associado a elas é suficientemente alto para justificar o esforço necessário para realizá-las.

A Figura 14 representa o fator de impacto da Síndrome do Estudante na duração de uma atividade em que no primeiro momento representa uma estimativa de duração de uma atividade com 80% de chance de acerto, de acordo com o recurso. Para o segundo momento, o executor pode supor que poderá despende empenho nessa atividade apenas mais adiante, justamente em função dessa

estimativa agregar uma margem de segurança, facultado então o adiamento do início da tarefa.

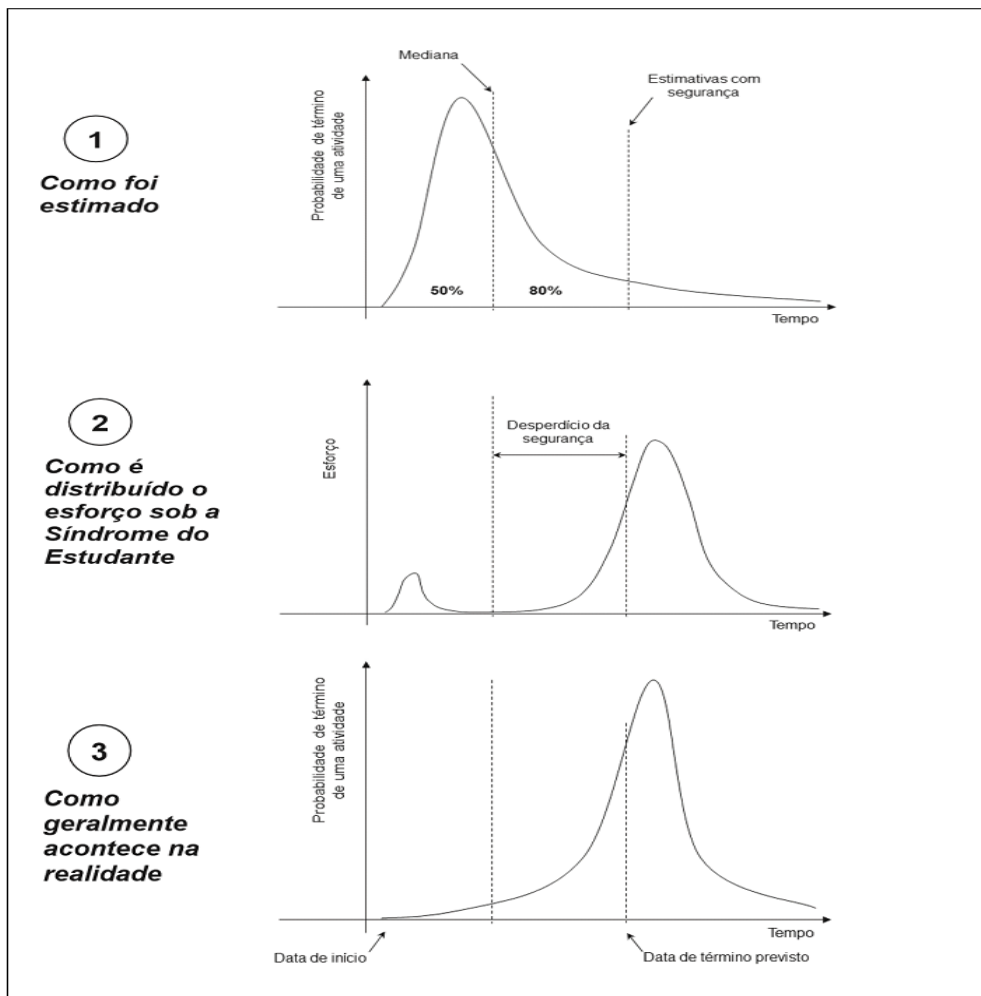


Figura 14. Distribuição de esforço segundo a Síndrome do Estudante.

Fonte: Adaptado de Moellman (2013)

b) A lei de Parkinson

Outro comportamento diz respeito à Lei de Parkinson, Newbold (1988) comenta que faz referência à execução do trabalho que tende a se expandir de modo a preencher o tempo disponível para a sua realização.

Assim também, Herroelen e Leus (2001) e Bender, Clifford e Tschilas (2008) enfatizam que é comum para uma pessoa atrasar a execução onerosa de algum trabalho, a fim de gastar o mínimo de tempo possível no seu trabalho.

Valikonienė (2014) faz uma ponderação da presença da Lei de Parkinson, em que os projetos se consistem em redes interdependentes de atividades. A duração prolongada das atividades tem um efeito sobre a duração total do projeto, enquanto o tempo “economizado” não é levado em consideração para avanço na data de conclusão do projeto. A CCPM requer a implementação do comportamento do *roadrunner*, “passar o bastão”, o que implica que a atividade deve ser concluída o mais cedo possível (evitando a síndrome de estudante) e deve ser

relatada assim que ela for concluída (evitando a Lei de Parkinson) para permitir o início da próxima atividade do processo.

Por último, Millhiser e Szmerekovsky (2012) abordam que na Lei de Parkinson não será atribuída apenas uma tarefa para a maioria das pessoas, mas várias tarefas, talvez em vários projetos (múltiplos projetos). Se programarem seu tempo eficientemente, terminarão a maioria de suas atividades a tempo, mas não tão cedo. Novamente, isso não é porque os trabalhadores são “preguiçosos”, mas devido à estrutura de um cronograma ideal para minimizar os objetivos baseados no atraso. Se a CCPM reduz ou evita o impacto da Lei de Parkinson ainda é uma questão de futura pesquisa nesta área.

c) Multitarefa

O termo multitarefa é definido pelo dicionário Priberam (2017) como sendo um sistema operativo que é capaz de executar simultaneamente duas ou mais aplicações ou até realizar duas ou mais tarefas simultâneas para conclusão de um trabalho.

Para Goldratt (1997), na sua forma mais simples, multitarefa ocorre quando há tanta demanda no tempo de um recurso, que esse recurso é forçado a interromper cada tarefa antes da conclusão a fim de trabalhar em outra tarefa.

Segundo Valikoniene (2014) em projeto individual ou entre vários projetos (múltiplos projetos), além de promover a síndrome de estudante, a multitarefa tem efeitos negativos para o desempenho do projeto, de forma que traz mudança frequente a partir de uma tarefa para outra incompleta. Rosen (2008) destaca que atribuir um recurso para várias tarefas ou projetos, potencialmente leva atraso de conclusão da tarefa e, portanto, possível atraso no projeto.

Ainda Valikoniene (2014) enfatiza que, à luz da CCPM, a utilização da multitarefa também se relaciona com atraso de projeto, no entanto, para outros defensores do método (CCPM), a presença da multitarefa cria condições necessárias e até útil na troca de informações entre projetos, sendo possível compartilhar recursos em que situações de mudança de demanda podem ser ajustadas.

Na Figura 15 segue um exemplo que ilustra uma comparação da dinâmica de desempenho das tarefas realizadas com e sem ambiente de múltiplos projetos. A tarefa “**A**” foi realizada em 10 dias em um ambiente com multitarefa, mas em um ambiente sem multitarefa o tempo foi reduzido para 4 dias, um ganho de 6 dias; e para tarefa “**B**” tem execução em ambiente múltiplos projetos em 11 dias, e sem ambiente múltiplos projetos em 8 dias, já na última tarefa “**C**” realizada no ambiente múltiplos projetos foi realizada em 12 dias e no ambiente sem múltiplos projetos o término também em 12 dias, resultando em nenhum ganho de tempo pela abordagem de múltiplos projetos.

Para entender por que a multitarefa tem um aspecto nocivo, é preciso considerar o efeito sobre o tempo de ciclo de um projeto, cada vez que uma tarefa ou atividade é interrompida. O efeito sobre o tempo para concluir cada tarefa é quando o recurso alterna (muda) frequentemente entre tarefas. Na ilustração da Figura 15 tem-se um único recurso na multitarefa entre três tarefas idênticas pertencentes a diferentes projetos ou subprojetos em um ambiente de múltiplos projetos. Na abordagem sem multitarefa cada tarefa é trabalhada do início à

conclusão sem interrupção. Isso significa que a terceira tarefa (**C**) tem que esperar até que todas as duas tarefas anteriores sejam concluídas antes que ela seja iniciada.

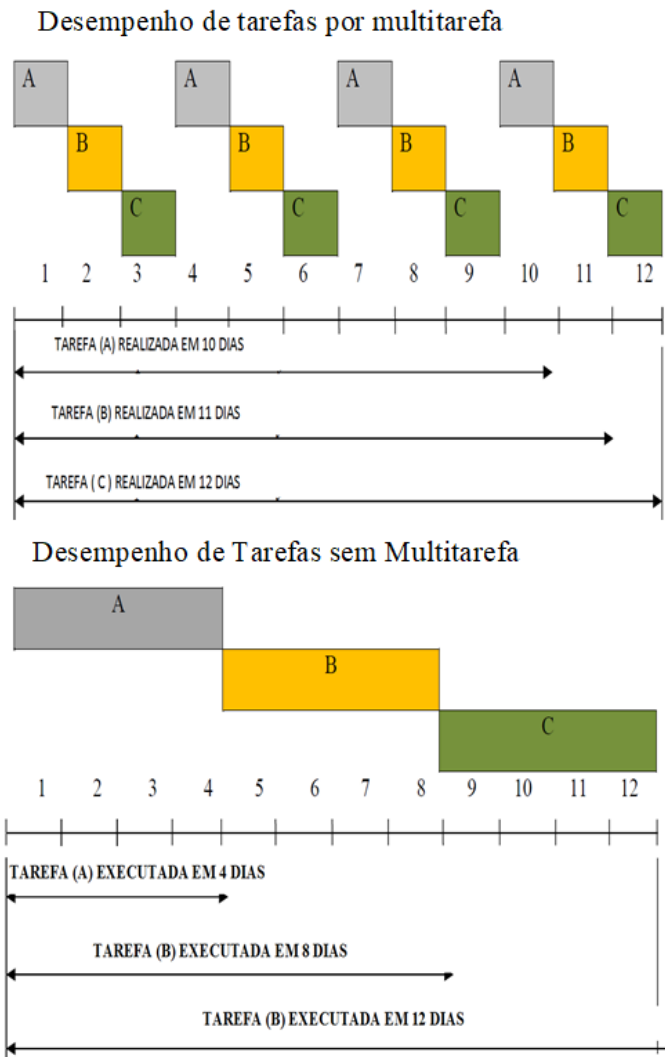


Figura 15. comparação de desempenho de tarefas com e sem multitarefa.

Fonte: Adaptado de Valikoniene (2014)

Quando as tarefas envolvidas são de diferentes projetos (múltiplos projetos), a prática generalizada de multitarefa pode resultar em significativo atraso para cada projeto em execução. Mas os efeitos negativos de multitarefas são difíceis de serem detectados pela gestão de projeto. Portanto, a multitarefa tem o efeito de assegurar que os recursos parecem estar em demanda constante (Robinson; Richards, 2010).

Esses autores também ressaltam que a solução da eliminação da multitarefa pela corrente crítica se dá, especificamente, a fim de assegurar que os recursos são capazes de dedicar um nível máximo de esforço para cada tarefa a que estão atribuídas para a maior extensão possível, de forma que:

- I. Os recursos são instruídos a trabalhar até a conclusão antes de iniciar uma nova tarefa, e todas as outras atribuições pendentes devem ser sequenciadas de tal maneira que todos os recursos disponíveis tenham condições mínimas, ou pré-requisitos, para ser atribuído assim que estiverem disponíveis;

- II. Tenha uma atribuição através da aplicação de um sistema de priorização de trabalho;
- III. Para garantir que os recursos não sejam sobrecarregados com um grande acúmulo de trabalho não atribuído, os projetos são atrasados em suas datas de início até que os recursos estejam disponíveis para assumir o novo trabalho.

O excesso de capacidade é mantido no pool de recursos para absorver potenciais atrasos na execução do trabalho.

Lechler, Ronen e Stohr (2005) apontam que trabalhar em um ambiente de múltiplos projetos significa gerenciar a implantação de recursos primeiramente na cadeia crítica, dando prioridade aos projetos e, por outro lado, evitando multitarefa para que um recurso gargalo complete todo o seu trabalho em um projeto antes de se mudar para o próximo projeto de menor prioridade.

Cooper Ordoñez (2013) corrobora com essa questão ao afirmar que deve ser feita uma ressalva em ambientes de múltiplos projetos que utilizam o método da Corrente Crítica, pois a multitarefa existe, porém, ela pode ser planejada com o propósito de reduzir o seu impacto na programação das atividades de um recurso, mas aponta que os recursos gargalos podem ser negativos quando são atacados sem desenvolver um planejamento adequado.

Corrente Crítica de ambientes de Múltiplos Projetos

Até aqui, a proposta para implementação da Corrente Crítica, apresentada nesta tese, focou em um projeto individual. Porém, em algumas situações, há o desenvolvimento de diversos projetos em paralelo ou em simultaneidade, formando um ambiente de múltiplos projetos.

O método da Corrente Crítica aplicado ao gerenciamento de múltiplos projetos está baseado na mesma diretriz para cumprir os objetivos de estabilidade e robustez que a metodologia estabelece para projeto individual. Deve, portanto, estabelecer inicialmente a identificação do recurso restritivo para o conjunto de projetos e, em seguida, desenvolver o sequenciamento das atividades de acordo com a prioridade (Herroelen; Leus; Demeulemeester, 2002; Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Leach, 2005).

Cabe destacar que a abordagem de múltiplos projetos pela CCPM identifica o recurso mais restrito (recurso tambor), que é comumente o mais usado entre os projetos da empresa e mais exigido em relação a outros recursos. Se estiver mais sobrecarregado ou não disponível, este recurso é o mais propenso a ter impacto negativo sobre a duração de todos os projetos. O método CCPM propõe o desenvolvimento dos cronogramas de projetos com base na prioridade entre os projetos, a fim de tentar remover o conflito dos recursos “gargalo”, enquanto maximiza o rendimento da execução entre os projetos (número de projetos concluídos). Este é o objetivo da abordagem CCPM para ambientes múltiplos projetos em que os projetos partem da premissa que são todos interdependentes (Steyn, 2002; Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Leach, 2005; Araszkievicz, 2017).

Gerenciamento de Projeto em Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP)

Patanakul e Milosevic (2009) atribuem que um ambiente de múltiplos projetos, os projetos são gerenciados simultaneamente e que se devem aplicar diversos métodos de solução de problemas relacionados às restrições de recursos.

Dessa forma, a metodologia para implantação da corrente crítica em um ambiente de múltiplos projetos dá-se por decisões de planejamento e programação. Isto é essencialmente um processo estratégico para as necessidades de soluções para os vários tipos de recursos, pois é um processo complexo de tomada de decisão que envolve as pressões de tempo e custo (Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Barcaui; Quelhas, 2004).

Vale ressaltar que os dois últimos autores supracitados também afirmam que a maioria das empresas não observa com o devido cuidado a sua real capacidade para a condução de diversos projetos simultaneamente nem a sincronização que deve existir entre eles, principalmente, no que refere à utilização dos recursos, em que cada projeto é programado ao lado do recurso restritivo numa forma de maximizar a capacidade utilizável desse recurso.

O fato de haver múltiplos projetos na empresa tende a deixar a situação mais complexa e, possivelmente, próxima à inércia, momento no qual os projetos parecem não mais evoluírem quanto à execução (Cohen; Mandelbaum; Shtub, 2004; Leach, 2005; Agarwal; Borchers, 2009). Para Barcaui e Quelhas (2004), o método CCPM pode contribuir para organização de forma a desenvolver a priorização e a sincronização adequadas dos recursos.

Dessa forma, o procedimento para aplicação do método da Corrente Crítica em ambientes de múltiplos projetos pela proposta de Leach (2005) está detalhada nos cinco passos, visto no Quadro (9), em que admite ser o recurso restritivo o responsável pela capacidade do sistema. Assim deve-se iniciar com a identificação do recurso restritivo, o qual ditará o ritmo do sistema (chamado de Tambor) e também deverá ser protegido por um Pulmão de Tempo: um pulmão do tambor (*drum buffer*) e um pulmão de capacidade. Conforme explica Leach (2005), as atividades programadas para o recurso restritivo são estimadas com tempos médios, portanto, também estão sujeitas a atrasos.

Newbold (1998) e Leach (2005) apresentam propostas semelhantes para o ambiente de múltiplos projetos. Para os fins desse trabalho, a proposta de Leach (2005) será melhor explorada, devido a sua robustez e detalhamento metodológico, visto no Quadro 9.

Lechler, Ronen e Stohr (2005) comentam que muitas organizações gerenciam os projetos simultaneamente e enfrentam uma demanda contínua para executar novos projetos. O principal problema nessa situação é alocar e coordenar recursos em vários projetos.

Quadro 9. Etapas de aplicação da corrente crítica no ambiente de múltiplos projetos.

1 Identificação do recurso gargalo (restritivo)
1.1 Aquele com menor folga e que necessita trabalhar mais tempo que os demais
2 Explorando o recurso restritivo da corrente crítica
2.1 Construir o cronograma baseado na corrente crítica para cada projeto
2.2 Determinar o projeto que possui maior prioridade em utilizar o recurso restritivo do sistema
3 Subordinar cronograma individual de cada projeto
1.1 Programar cada projeto para iniciar com base na programação do recurso restritivo do sistema;
1.2 Identificar a corrente crítica de cada projeto como a corrente que se inicia na primeira utilização do recurso gargalo e finaliza com a última atividade do projeto;
1.3 Inserir o Pulmão de Capacidade (PCA) entre o conjunto de atividades de cada projeto que utiliza o recurso com capacidade restritiva;
1.4 Se a inserção do Pulmão de Capacidade (PCA) causar conflito de recurso deve-se desconflitar;
1.5 Inserir o Pulmão Tambor (PT) em cada projeto, assegurando que o recurso gargalo sempre terá trabalho para processar.
4 Elevar a capacidade de recurso restritivo do sistema
5 Voltar o primeiro item, e não deixar que a inércia se torne uma restrição

Fonte: Adaptado de Leach (2005)

O Quadro 10 apresenta a fase de planejamento e programação de múltiplos projetos e as diferenças entre CPM e CCPM.

Quadro 10. Diferenças entre CPM e CCPM para Planejamento no Nível Múltiplos projetos.

Perspectiva	Caminho Crítico	Cadeia Crítica
Metas	• Minimizar a duração do projeto	• Maximizar o rendimento dos sistemas
Foco de atenção	• Desempenho de projetos individuais	• Desempenho da restrição de vários sistemas do projeto recurso • Reduzir WIP (<i>work in process</i>)
Incerteza	• Não abordado explicitamente	• Introduzir pulmão de tambor e capacidade
Gestão de recursos	• Maximizar a utilização de recursos de todos os recursos • Multitarefa não abordada explicitamente	• Maximizar a utilização de recursos de restrição de recursos • Não permitir a multitarefa
Programação	• Várias regras de priorização de projetos	• Escalonar os projetos ao longo da restrição de sistemas usando buffers de tambor e capacidade • Priorizar projetos • Resolver conflitos de recursos no nível do sistema
Questões comportamentais	• Não abordado explicitamente	• Evitar a multitarefa

Fonte: Adaptado de Lechler, Ronen e Stohr (2005)

Programação de Projetos

Segundo Al Nasser e Aulin (2016) e Kerzner (2011), a programação tem um papel significativo no controle do desempenho do projeto, no entanto, faz parte da integração no gerenciamento de projetos, de forma que um pré-requisito para a programação ser bem-sucedida é a definição de todas as atividades necessárias na composição do escopo do projeto com a sequência correta dessas atividades, com a adição de recursos e tempo para desenvolver um cronograma viável de execução.

Para isso, muitas empresas estão à procura de melhores práticas de programação de projetos para o bom andamento dos mesmos. Por conseguinte, há uma busca por técnicas de programação de projeto que tem como objetivo, na programação, encontrar uma maneira de atribuir e sequenciar o uso de recursos, principalmente os compartilhados, de modo que as restrições do projeto sejam atendidas e os custos gerados sejam minimizados (Huang; Huang; Pei, 2015).

Nesse aspecto, deve ser enfatizado que a qualidade de uma programação de projeto é um fator chave, tanto para determinar a duração do mesmo, bem como os recursos necessários. Patanakul e Milosevic (2009) apontam que a identificação e a mensuração dos fatores responsáveis por melhorar ou prejudicar o desempenho da programação às vezes são ignoradas pelos gerentes de projetos. Uma maior conscientização desses fatores ajudaria a melhorar a programação.

Weglaz et al. (2011) salientam que na programação deve-se determinar o sequenciamento de tempo para a realização de uma série de atividades relacionadas ao projeto. No entanto, deve ser entendida como escalonamento das atividades que obedece aos tempos estimados, e também aos recursos necessários na execução de cada uma destas atividades. Haverá incerteza na programação dos projetos pela falta de precisão da estimativa duração das atividades do projeto e da quantidade necessária de recurso.

Ressalta-se que a gestão de recurso em múltiplos projetos é tão importante quanto o uso de um método de programação de projeto apropriado. Para esse tipo de gerenciamento de recursos destacam-se: identificação do recurso restritivo, alocação de recursos e nivelamento de recursos.

Recurso Restritivo

O termo recurso restritivo é comumente utilizado para expressar o recurso mais utilizado dentro de um rol de recursos disponíveis entre os projetos ou processos, mas existem vários tipos de abordagem para defini-lo no campo de projetos. Neste sentido, o Quadro 11 traz uma abordagem panorâmica de alguns autores e suas definições de recurso restritivo em projetos.

Quadro 11 Tipos de enfoque de recursos críticos por vários autores aplicados em projetos.

Autor	Descrição
Hagemann (2001).	Aborda que se deve evitar todo desperdício no tempo disponível dos recursos gargalos, pois qualquer período de tempo perdido no gargalo é um tempo desperdiçado para todo o sistema.

Autor	Descrição
Cohen, Mandelbaum e Shtub, (2004).	Atribuem no seu trabalho que a presença do recurso restritivo, em um ambiente múltiplos de projetos, pelo método de CCPM, leva em consideração que um conjunto de projetos deve ser interligado através do “recurso gargalo”. Deve existir um <i>buffer</i> de restrição de capacidade, que é usado de acordo com CCPM onde recursos também podem estar sendo interligados entre projetos e que gargalos de recursos podem existir.
Leach (2005)	Sugere que a identificação do recurso restritivo seja pela maior soma da duração das atividades em corrente crítica no cronograma gerado para cada projeto. Isso representa que no ambiente de múltiplos projetos pelo método (CCPM) na disputa pelos recursos restritos ou “gargalos” deve-se dar à prioridade na tarefa que pertence à corrente crítica, seguida pela cadeia que mais consome o <i>buffer</i> ao logo do projeto.
Lechler, Ronen e Stohr (2005)	Fazem a sua identificação quando limita o desempenho do sistema. No caso da gestão da produção, isso significa encontrar a estação de trabalho mais fraca da cadeia – nesse caso é um recurso dito como “gargalo”. Já aplicado a um projeto individual, isso significa identificar a cadeia crítica, que é definida como a cadeia mais longa de tarefas que satisfaçam as restrições de precedência e de recursos.
Wang (2011).	Afirma que utilização de um recurso crítico pelo método CCPM em um ambiente de múltiplos projetos pode ser seguido por alguns procedimentos, tais como: em primeiro lugar deve, o conjunto de projetos, ser identificado com seus tempos e recursos e em seguida, a restrição do sistema deve ser localizada pelo maior consumo do recurso, de forma que recursos restritivos, ou “gargalos” possam determinar o sequenciamento subsequente dos projetos.
Gupta e Andersen (2012).	Apontam que em um ambiente um recurso é considerado crítico quando tem compartilhamento entre múltiplos projetos, e que os atrasos de um projeto podem causar atrasos nos demais. Assim, ao compartilhar simultaneamente um recurso restritivo entre múltiplos projetos, a empresa faz com que o prazo dos projetos se estenda e o recurso crítico fique congestionado, sem margem para a recuperação de atrasos.
Goldratt e Cox III (2016).	Abordam que recurso restritivo ou “gargalo” é uma forma de atribuir a um componente de um sistema em que a sua presença torna mais lento o processo. Quando consumido pela atividade acaba “ditando” o ritmo deste sistema.
Izmailov, Korneva e Kozhemiakin (2016)	Comentam que uma organização ao gerenciar múltiplos projetos simultâneos utiliza recursos comuns e compartilhados, e que nesta situação o trabalho é ainda mais desafiador. Os gerentes podem rapidamente se encontrar em “sobrecarga do projeto” com uma escassez contínua de recursos e grande dificuldade em determinar quais tarefas são verdadeiramente as mais importantes.

Fonte: Elaboração do autor a partir da literatura estudada

Neste contexto, faz-se necessário que seja levantado um quadro geral de alocação de todos os tipos de recursos nas atividades programadas e, em seguida, deve-se identificar o recurso mais solicitado e seja observado o seu nível de compartilhamento com outras atividades nos projetos que estão envolvidos, de forma que se tiver falta desse tipo de recurso pode gerar possível atraso no projeto e resultar em atrasos nos demais. Assim, ao compartilhar simultaneamente um recurso “gargalo” entre múltiplos projetos, o gestor faz com que o prazo dos projetos se estenda e o recurso crítico fique congestionado sem margem para a recuperação de atrasos.

Leach (2005) determina o tamanho do recurso crítico pela maior soma da duração das atividades na corrente crítica, no cronograma gerado para cada projeto, e representado na Equação (3).

$$RC = \max \sum_{ijk} t_{ijk} . x_i \quad (3)$$

Onde a variável t_{ijk} representa o tempo de duração da atividade i , com utilização do recurso k no projeto j e x_i representa uma decisão binária (1 e 0) da atividade se está na corrente crítica ou não crítica.

Cada projeto é então programado ao lado do recurso restritivo numa forma de maximizar a capacidade utilizável desse recurso (Herroelen; Leus, 2004). Por outro lado, os recursos “não restritivos” têm capacidade suficiente para lidar com uma quantidade razoável de incerteza e são capazes de proteger a programação planejada dos projetos.

Alocação de Recurso

Huang, Huang e Pei (2015) defendem que um dos principais desafios para gestores de projetos é desenvolver o planejamento e a programação das atividades com ótima alocação de recursos. Observa-se que tal atividade possui diversas variáveis a serem consideradas tais como: prazos, escassez de recursos, custos, interdependências entre tarefas, planejamentos de projetos, replanejamentos, estimativas e incertezas no intuito de alcançar o objetivo da data de entrega do projeto no prazo.

Dalfard e Ranjbar (2012) comentam que a maior parte dos atuais métodos de programação de um projeto é concentrada na programação de atividades de projeto individual com pouca apresentação para múltiplos projetos e que de alguma forma, para estes é mais difícil do que projetos individuais, pois há um aumento considerável de cálculos de tempo na programação.

Para Li *et al.* (2017), o gerenciamento de recursos, é um dos aspectos mais difíceis no gerenciamento de projeto em um ambiente de múltiplos projetos, que inclui o planejamento de recursos, alocação, equilíbrio e coordenação, e assim por diante; e que a gestão de recursos para projeto individual supostamente tem seus requisitos de recursos totalmente atendidos, e isso não diz respeito aos recursos necessários para outros projetos. Já no gerenciamento, há conflitos de recursos entre diferentes tipos de projetos.

Caso os conflitos não sejam resolvidos de imediato, os projetos enfrentarão problemas de atrasos, e consequentemente aumento de custos, portanto, deve-se encontrar formas de lidar com possíveis insuficiências de recursos (provável reescalonamento para uma nova redistribuição dos recursos) (Guo; Dong, 2014).

Adicionalmente, Dass e Steyn (2006) referem-se ao problema de alocação de recursos na gestão de múltiplos projetos pela competição que esses têm em utilizar os mesmos recursos limitados, e que força os gerentes de projetos individuais a construir contingências excessivas para lidar com o risco da insuficiência. Tal comportamento reduz a disponibilidade de recursos e pode levar a um círculo vicioso.

Este tipo de dificuldades em projeto é estudado como Problema de Pro-

gramação de Projetos com Restrições de Recursos (RCPSP), que envolve a atribuição de trabalhos ou tarefas pelo uso de recurso ou um conjunto de recursos com capacidade limitada, no intuito, de atender a um objetivo pré-definido ou estabelecido (Hartmann; Briskorn, 2010).

Dessa forma, o RCPSP surge quando os recursos disponíveis não são suficientes para satisfazer as exigências das atividades que podem ser realizadas ao mesmo tempo. É um típico problema de programação que aloca recursos escassos ao longo do tempo para realizar um conjunto de atividades a fim de minimizar a duração do projeto. Muitos métodos têm sido propostos para otimizar o problema, como métodos exatos e métodos heurísticos e cada um destes métodos tem suas vantagens e desvantagens (Abdolshah, 2014).

As soluções exatas normalmente são usadas apenas para instâncias de problemas menores, uma vez que o tempo computacional aumenta exponencialmente com o tamanho do problema. Isso levou ao desenvolvimento de outros tipos de abordagens que são aplicações de heurísticas (Chand; Singh; Ray, 2017).

Nesse sentido, o aspecto da heurística refere-se a um tratamento específico para a tomada de decisões que tem sido aplicada em vários tipos de problemas de programação de projeto (Kumanan; Jose; Raja, 2006; Ponsteen; Kusters, 2015).

Procedimentos Heurísticos na Programação de Projetos com Restrição de Recursos

Conforme Ichihara (2002), o termo “Heurístico” refere-se a formulação de um algoritmo iterativo que não converge em direção a uma solução ótima, mas sim a uma possível solução do problema que pode ser ótima global ou local. Já para Silva (1999), está baseada “em um conjunto de regras formais de tomada decisão, as quais são deduzidas através de uma lógica a partir de suposições consideradas razoáveis”.

O RCPSP é conhecido por ser um problema de otimização abordado também por vários métodos heurísticos, e tem sido proposto para tratar esse problema em diferentes contextos na programação de projetos (Lee; Kim, 1996; Kolisch; Hartmann, 2006; Hasgül *et al.*, 2009; Oddi *et al.*, 2010; Neumann; Schwindt; Zimmermann, 2012).

Quanto aos procedimentos heurísticos, emprega alguma regra de prioridade ou de experiência para determinar as prioridades entre as atividades que competem por recursos disponíveis (Boctor, 1996; Kolisch; Hartmann, 2006; Ponsteen; Kusters, 2015).

A partir da introdução de estudos voltados para resolver Problemas de Programação com Restrições de Recursos (RCPSP) surgiram muitas técnicas de solução heurística, primeiramente voltada para a programação de projeto individual e depois para resolver um nível mais complexo na programação de múltiplos projetos como pode ser visto na Figura 16.

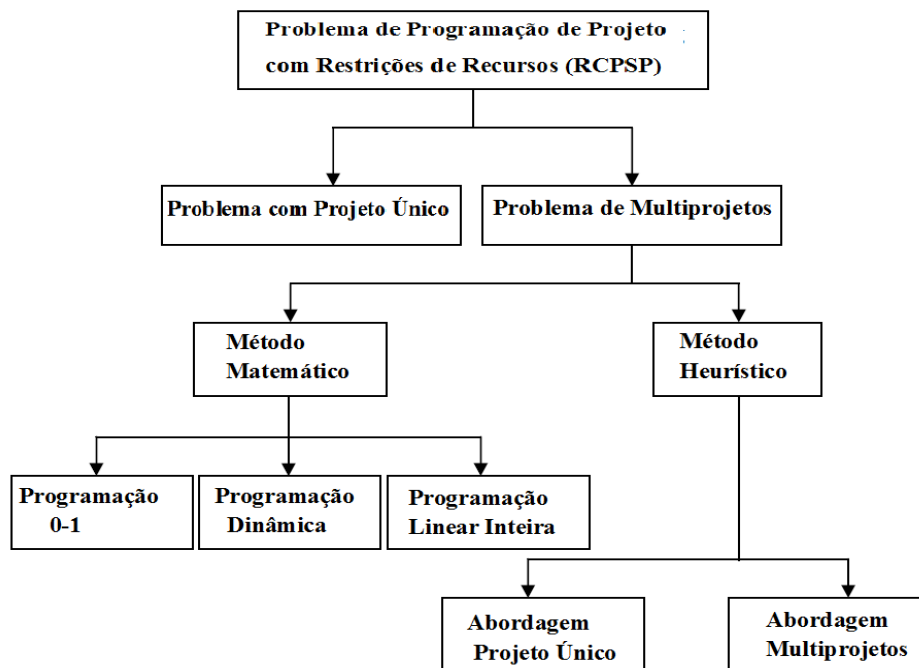


Figura 16. Classificação de Problema de Programação de Projeto com Recursos Limitados.

Fonte: Adaptado: Kanagasabapathie et al. (2010)

Vários esforços têm sido feitos para desenvolver algoritmos para gerar os melhores tempos para múltiplos projetos. Esses desafios estão sendo feitos para aumentar a eficiência dos métodos heurísticos, ampliar o escopo dos problemas e reduzir os tempos de respostas computacionalmente por essa técnica.

Nesse contexto, a maioria dos métodos heurísticos usados para resolver Problema com Recursos Limitados de Programação em projetos individuais e múltiplos projetos pertence à classe de métodos baseado em “regras de prioridade” e explorado por vários trabalhos abordados na literatura.

Método heurístico baseado na regra da prioridade

Kolisch e Hartmann (2006), em seu livro “*Experimental investigation of heuristics for resource*” e Zhang e Sun (2011) em “*An improvement of resource-constrained multi-project scheduling model based on priority-rule based heuristics*”, comentam que embora pertença a mais antiga metodologia de solução para resolver problema de programação de múltiplos projetos com recursos limitados (RCMPSP), a programação através da heurística baseada em regras de prioridade pode solucionar problemas difíceis como os múltiplos projetos, e é uma técnica de solução com facilidade na sua implementação. Isso é possível devido às seguintes razões:

- O método é intuitivo e fácil de usar, tornando-o muito adequado para ser utilizado dentro de softwares comerciais;
- O método é rápido em termo de esforço computacional podendo ser integrado em abordagens com aplicação de pesquisa de inteligência artificial;
- As implementações pelo método múltiplos passos mostra os melhores resultados obtidos pela heurística na atualidade.

Dessa forma, a aplicação do método baseado em regras de prioridade se desenvolve, no primeiro momento, com trabalhos que estão sendo programados e, subsequentemente, uma programação é construída, selecionando um subconjunto de postos de trabalho (ou atividade). Em cada passo é atribuído tempos de partida para esses postos de trabalho até que todos sejam considerados (ou alocados) (Boctor, 1996; Kolisch, 1996; Tormos; Lova, 2003; Zhang; Sun, 2011).

No Quadro 12 mostram-se alguns autores que aplicaram esse tipo de método na solução de RCPSP, tanto em projetos individuais com múltiplos projetos baseados por algum tipo de regra de prioridade.

Quadro 12. Autores com utilização regras da prioridade em RCPSP em projetos.

AUTOR	DESCRIÇÃO
Le (2008)	O autor propôs um tipo de algoritmo <i>Resource-Constrained Multi-Project Scheduling with Resource Moving Time</i> (RCMPSP-RMT) que visa resolver o problema RCPSP de minimizar a duração do projeto em ambiente de múltiplos projetos, com a utilização de tempo de mudança que é limitado pelas condições disponíveis de recursos renováveis, baseado na melhoria de uma heurística de um método pela regra de prioridade para otimizar a duração de vários projetos sob restrições de recursos e condições do tempo. Aplicou as regras de heurísticas como procedimentos de solução viáveis para o planejamento em grande escala de projetos.
Moumene e Ferland (2009)	Nesse artigo foi tratado o problema de programação de projeto como generalização do RCPSP, além de observar as precedências das atividades e restrições de recursos utilizou uma ampla classe de restrições adicionais tais como: um par de atividades deve ser separado por pelo menos uma determinada duração; um subconjunto de atividades não pode ser processado simultaneamente; uma atividade não pode começar antes de um determinado período; uma atividade não pode ser agendada em uma janela de tempo determinado e existência de restrições de recursos com variáveis exigidas e quantidades disponíveis. Neste contexto, o método de lista de atividades (regra de prioridade) de escolha na alocação de recursos nas atividades alcançou boas soluções para problemas (RCPSP).
Fündeling e Trautmann (2010)	Nesse artigo as atividades de um projeto são, em geral, caracterizadas por um conteúdo de trabalho em termos de unidades tempo-recurso, por exemplo, pessoas-dias. Mesmo que a maioria dos modelos de planejamento de projetos assuma um uso de recursos invariável no tempo, normalmente é possível variar o uso do recurso durante a execução de uma atividade. Um limite inferior e superior deste uso de recursos e um intervalo de tempo mínimo entre mudanças consecutivas deste uso de recursos são prescritos. O problema de agendamento do projeto estudado neste trabalho consistiu em determinar um perfil de uso de recursos viável para cada atividade, de modo que a duração do projeto seja minimizada, sujeita a restrições de precedência e capacidade de recursos.
Browning e Yassine (2010)	Abordaram um tipo de heurística em que trata (RCMPSP) com dois objetivos de atraso: atraso do projeto e atraso do portfólio (múltiplos projetos). Usaram medidas de avaliação para características do RCMPSP em que realiza uma análise abrangente de 20 regras de prioridade no teste de 12 a 320 problemas gerados para as especificações das características relacionadas ao projeto, atividade e recursos, incluindo complexidade da rede e distribuição e restrição de recursos com aplicação de diferentes regras de prioridade.

AUTOR	DESCRIÇÃO
Zhang e Sun (2011)	Esse artigo apresenta uma nova maneira de resolver o problema em que altera a condição de múltiplos projetos que não pode realizar simultaneamente devido ao limite fixo para o uso de recursos. Definido por um limite inferior e um limite superior para utilização do uso de recursos de cada atividade em vários projetos, com a introdução de uma heurística baseada em regras de prioridade adequada para lidar com este tipo de problema de RCMPSP. Finalmente, apresenta um exemplo numérico, em que foi dado para demonstrar a melhoria do modelo onde o resultado mostrou que a programação de vários projetos pode ser mais eficiente com os limites do uso de recursos e com utilização de uma heurística pela regra de prioridade do Máximo Conteúdo Total de Trabalho (MAXTWK).
Singh (2014)	Nesse trabalho, foi apresentado um tipo de algoritmo híbrido que integra a prioridade do projeto (ou criticalidade) com o desenvolvimento da programação do projeto para RCMPSP. Tendo como objetivo minimizar o resultado (tempo e custo) do projeto através do custo de penalidade que possui maior prioridade. Como o problema é NP (Não Polinomial) difícil, foi resolvido esse problema por integrar a prioridade do projeto com a prioridade da atividade. O cronograma do projeto foi gerado usando um algoritmo híbrido baseado em regras de prioridade e ferramenta de decisão AHP que resultou em uma integração das prioridades do projeto com o desenvolvimento do cronograma do projeto.
Almeida, Correia e Saldanha-da-Gama (2016)	Propuseram uma heurística de programação paralela para o Problema de Planejamento de Projeto de Restrições de Recursos com Multi-Habilidade, em que o procedimento exigiu a introdução de dois novos conceitos: peso do recurso e agrupamento de atividades. Foram consideradas várias regras únicas e de múltiplas prioridades. O quadro heurístico foi testado usando 432 instâncias em que os testes computacionais realizados com pequenas instâncias mostraram o procedimento ser capaz de obter soluções de alta qualidade dentro de pequenos tempos computacionais. Acima de tudo, esse trabalho mostrou que o uso das regras da prioridade de atividade para lidar com problemas de programação de projetos pode ser realizado com sucesso e adaptado aos tipos de RCPSP.

Fonte: Elaboração do autor a partir literatura estudada

Segundo Ichihara (2002) o procedimento da heurística baseada pela regra da prioridade (Figura 17) é projetada através de uma estrutura básica com seu pseudocódigo para alocação de recurso, em que uma atividade só é possível acontecer na programação se duas condições forem atendidas: todas as suas atividades predecessoras já tiverem sido programadas e caso ela possua pelo menos um modo de execução possível “neste caso, o modo de execução só é considerado possível se cada recurso requerido é menor ou igual à soma do recurso disponível para o período de tempo considerado”.

Heurística de Programação Baseada em Regra de Prioridade

Enquanto houver alguma atividade não programada **faça**

Avance para o período mais próximo onde há algum Recurso

[não alocado;

Estabeleça a lista de atividades programáveis. **Se** a lista estiver vazia,

[volte para o passo anterior;

Escolha a atividade programável que possui a mais alta prioridade.

[Para esta atividade, escolha entre os possíveis modos

[duração-recurso, aquele que possui a maior prioridade.

Figura 17. Pseudocódigo da Heurística de Programação Baseada em Regra de Prioridade.

Fonte: Kolish (1996) *apud* Ichihara (2002)

Assim, todas as operações de um projeto apresentam-se em uma ordem escolhida baseada na avaliação para a escolha da regra de prioridade, desde que as restrições de recursos e precedência não sejam violadas. As operações do projeto são, então, programadas na sequência avaliada nas necessidades e disponibilidades de recursos.

Browning e Yassine (2010) apresentam, no Quadro 13, uma classificação geral dos principais tipos de regras baseadas pela prioridade que são as mais comuns para o problema de programação para monoproyetos e múltiplos projetos, tendo como objetivo a minimização do atraso total do projeto. Ainda destaca que o fator tempo, nesse caso, é relevante na programação e reduz a folga nas atividades e resulta em uma melhor otimização.

Quadro 13. Regras Heurísticas para Alocação de Recursos.

Notação da Regra	Utilização	Descrição da Regra
FCFS* (first come first served)	Atividade	Atribuir à primeira atividade elegível a prioridade máxima, independentemente de outros fatores.
SOF* shortest operation first	Atividade	Programar primeira atividade com período curto em operação em primeiro lugar
MOF* maximum (longest) operation first	Atividade	Programar primeiro com maior tempo de duração (operação mais longa)
MINSLK** (minimum slack)	Atividade	Prioriza as atividades com menor folga total
MAXSLK** (maximum slack)	Atividade	Prioriza as atividades com maior folga total
SASP** (shortest activity from shortest Project)	Atividade / Projeto	Atribuir atividades que sejam viáveis em um curto período de tempo com preferência por projetos curtos.
LALP** (longest activity from longest Project)	Atividade / Projeto	Prioriza atividade período de tempo mais longa do projeto
MINTWK ** (minimum total work contente)	Atividade/ Recurso	Prioriza as atividades que consome menor conteúdo de trabalho
MAXTWK** (maximum total work contente)	Atividade/ Recurso	Atribuir atividades que exigem o consumo da maioria dos recursos, independentemente dos prazos (Máximo conteúdo de trabalho total)

Fonte: Adpatado de Browning e Yassine (2010) * Projeto único / ** multi-projetos

O Quadro 13 apresenta nove tipos de regras de prioridade, sendo que as três primeiras se aplicam em projetos individuais e as seis restantes se aplicam em ambiente de múltiplos projetos. Cabe destacar que no trabalho de Zhang e Sun (2011) foram testados os tipos de regras de prioridade em ambiente de múltiplos projetos. O MAXTWK (*Maximum Total Work Content*) foi que obteve o melhor resultado para critério de atraso do projeto, representado pela Equação (4).

$$g_{ij} = \sum_{j \in A_j} d_{ij}r_{ij} + d_{ij}r_{ij} \quad (4)$$

O Máximo Valor (g_{ij}) é representado em duas partes, sendo que a primeira parte da equação define o trabalho total da atividade já programada do projeto (J); e a segunda define o trabalho total consumido da atividade (i) que está sendo

analisada do projeto (j).

Neste contexto, o processo de alocação de recursos é tratado como um desdobramento do processo de otimização de recurso pela técnica do nivelamento. Dessa forma, o objetivo passa a ser determinar o menor prazo possível para a projeto, respeitado um certo perfil de disponibilidade de um recurso no tempo exigido.

Portanto, a intenção da programação dos projetos na alocação de recursos é garantir que o nível de recursos nas atividades não seja excedido nas suas limitações e manter a duração do projeto no tempo mínimo. Em outras palavras, o projeto termina no mais curto espaço de tempo possível sendo observadas as restrições e precedências das atividades e também os limites de recursos. Como resultado, a duração do projeto, ou data de conclusão, pode ser prorrogada para manter os recursos dentro dos limites especificados com o objetivo de que os pulmões de tempo de projetos sejam acionados no momento da sua necessidade de tempo para conclusão da atividade.

Pulmão de projeto na Corrente Crítica

O termo “Pulmão”, pelo enfoque de projeto proposto por Goldratt (1997), é definido como uma proteção que deve ser alocada no final da Corrente Crítica. A sua duração deverá ser a metade (50%) do valor da duração da Corrente Crítica, podendo ter as possíveis flutuações ocorridas nos tempos das atividades que se compensam. O excedente é absorvido por um tempo de proteção único, garantindo, dessa forma, o cumprimento do prazo como planejado, na proteção do projeto como um todo e não somente em cada atividade em particular. Essa proteção é chamada de “**Pulmão de Projeto**” ou **buffer** de projeto.

Para Umble e Umble (2000), além de ser um mecanismo de proteção contra os possíveis atrasos de projetos também pode agir sobre o efeito da variabilidade originada pelo nível de incerteza intrínseca à programação de tempo, atividades e disponibilidade de recursos em um projeto.

Já para Herroelen e Leus (2001), a presença de um pulmão de tempo no projeto significa desenvolver um possível “**estoque de tempo**”, sendo considerada “**pseudo-atividades**” que ao serem inseridas no programa procura assegurar a satisfação dos objetivos do sistema. Evita, tanto quanto possível, que as datas de entrega prometidas sejam afetadas pelos possíveis distúrbios ou atrasos que possam acontecer durante a etapa de execução do projeto.

Ainda Herroelen e Leus (2001) afirmam que CCPM determina os tempos de segurança que devem ser eliminados das estimativas individuais de duração de cada tarefa e pode ser agregada na forma de *buffers* de tempo em locais estratégicos (na rede) inserido na programação que resulta uma linha de base do projeto, no intuito de garantir uma melhor proteção sobre as estimativas dadas na segurança da atividade.

Para Leach (2005), a entrada dos pulmões de tempo de proteção não é somente considerada como “**tempo de folga**”, mas também faz parte do cronograma da cadeia crítica em que as estimativas das durações das atividades são reduzidas as durações nas atividades. Além disso, estas estimativas de durações não são perfeitas, mas suas inserções (presenças) de pulmões ou “**amortecedores de**

tempo” possibilitam uma melhor proteção da data de conclusão do projeto num ambiente de incerteza.

Nesse sentido, essas reduções nas durações das atividades diminuem a robustez de um projeto e deixa a data de término desprotegida. Por conseguinte, a adição dos pulmões de tempo permite gerar programações, na duração do projeto, mais robusta e viável na sua execução, e também pode agir como uma ferramenta de gestão no acompanhamento na duração das atividades reais durante a sua execução (Herroelen; Leus, 2004; Lambrechts; Demeulemeester; Herroelen, 2008).

Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004) além de Trietsch e Baker (2012) salientam que desenvolver uma programação de projeto pela abordagem CCPM é adotar um pulmão de tempo de projeto de entrega de projeto a proteger o cronograma contra a variação estocástica, ao longo da programação.

Com efeito, vários autores como Herroelen e Leus (2001), Steyn (2002), Leach (2005), Gong e Qing (2010), Bevilacqua, Ciarapica e Giacchetta (2009), Blackstone, Cox, Schleier (2009), Yu, Xu e Hu (2013), Peng e Huang (2014), Zhang e Geng (2014), Izmailov, Korneva e Kozhemiakin (2016) e Zhang, Song e Díaz (2016) apontam a importância da presença dos pulmões tempo em projetos tanto individuais como múltiplos projetos. Na utilização de projetos individuais os três tipos de pulmões: Pulmão de Projeto (PP), Pulmão de Alimentação (PA) e Pulmão de Recurso (PR) e para o ambiente de múltiplos projetos acrescenta o Pulmão de Capacidade (PC).

Pulmão de Projeto (PP)

Segundo Leach (2005), o pulmão de projeto é determinado como uma reserva de tempo colocado no final da corrente crítica à disposição do gerente do projeto e calculado com base na duração de tempo crítico da corrente. Este pulmão explora a lei estatística de agregação, protegendo o projeto das incertezas das atividades individuais usando pulmões no fim do caminho conforme é visto na Figura 18.



Figura 18. Pulmão de Projeto (PP)

Fonte: Adaptado de Budd e Cervený (2010)

Como já foi mencionada, em contraste com a programação tradicional de projeto (PERT/CPM), em que os tempos de segurança estão incluídos nos períodos de atividades separadas, a CCPM desloca os tempos de segurança associadas com as tarefas de corrente crítica para o fim da corrente crítica. Então, a data de entrega do projeto é a soma da duração da cadeia crítica mais a duração do buffer do projeto (Budd; Cervený, 2010).

Pulmão de Alimentação (PA)

Budd e Cervený (2010) comentam que o Pulmão de Alimentação (PA) é representado como uma reserva de tempo colocado no final da cadeia não crítica, a fim de proteger as tarefas colocadas na corrente crítica, ou seja, protegendo a cadeia crítica dos atrasos das atividades não críticas. Esse pulmão provê um modo de acompanhar os caminhos não críticos com foco na Corrente Crítica.

Destaca-se que esses caminhos são calculados com base na duração da corrente não crítica (no método de Goldratt um pulmão de alimentação corresponde a 25% da duração da corrente não crítica). Sua quantidade se limita à mesma quantidade de cadeias não críticas (PA) que aparece sempre quando uma corrente não-crítica se conecta com a corrente crítica, visto na Figura 19.

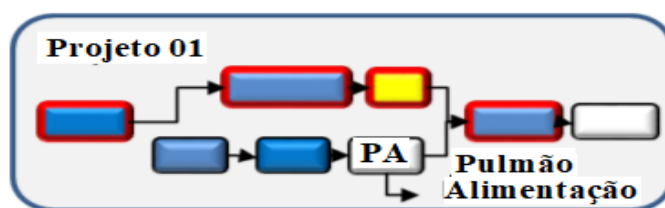


Figura 19. Pulmão de Alimentação (PA)

Fonte: Adaptado de Budd e Cervený (2010)

Após a inserção do Pulmão de Alimentação existe uma possibilidade de uma cadeia não crítica ser mais longa do que a corrente crítica. Isto significa que as tarefas não críticas têm que ser iniciadas antes da primeira tarefa na corrente crítica. Para responder a este problema, a corrente crítica é definida como a mais longa cadeia de recursos, atendendo a precedência no cronograma do projeto de CCPM antes da inserção do pulmão (Herroelen; Leus, 2001).

Pulmão de Recurso (PR)

Na metodologia CCPM original (Goldratt), Pulmão de Recursos (PR) é um de tipo pulmão “amortecedor de não-tempo” pois a sua presença não implica em um aumento de tempo de duração do projeto, uma vez que não tem tempo, somente recursos.

Segundo Leach (2005), Balakrishnan (2009), Budd e Cervený (2010), Gong e Qing (2010) e Zhang, Song e Díaz (2017), Pulmão de Recurso tem a função de proteger a Corrente Crítica da não disponibilidade de recursos, ou seja, assegurar que o recurso estará disponível para ser utilizado no momento programado, quando solicitado na programação gerada.

De acordo com o CCPM, o pulmão de recursos não usa o tempo no cronograma que protege a cadeia crítica da falta de disponibilidade de recursos necessários, pois, possibilita que as tarefas de cadeia crítica comecem mais cedo.

A inserção dos Pulmões de recursos tem como objetivo informar ao recurso o nível de avanço da atividade anterior, dando-lhe um horizonte de tempo para se preparar e dar início a sua atividade o mais rápido possível. E para as atividades não críticas, deve-se programar o mais tarde possível no sentido de evitar ocupar os recursos, principalmente o recurso crítico.

Pulmão de Capacidade (PC)

Segundo Budd e Cervený (2010), Pulmão de Capacidade (PC) é usado quando existem recursos estratégicos utilizados por vários projetos. Em um ambiente multi-projetos, a inserção do Pulmão de Capacidade é definir um grau de isolamento entre os projetos dos sistemas, fazendo com que a interdependência entre projetos gerada pelo compartilhamento de recursos seja menor.

Portanto, a inserção dos PC(s), como é visto na Figura 20, procura isolar um dado projeto dos demais, deslocando seu início e/ou postergando sua data de término. Espera-se que o efeito destes rearranjos na programação dos projetos faça com que o programa completo dos múltiplos projetos seja robusto perante as incertezas.

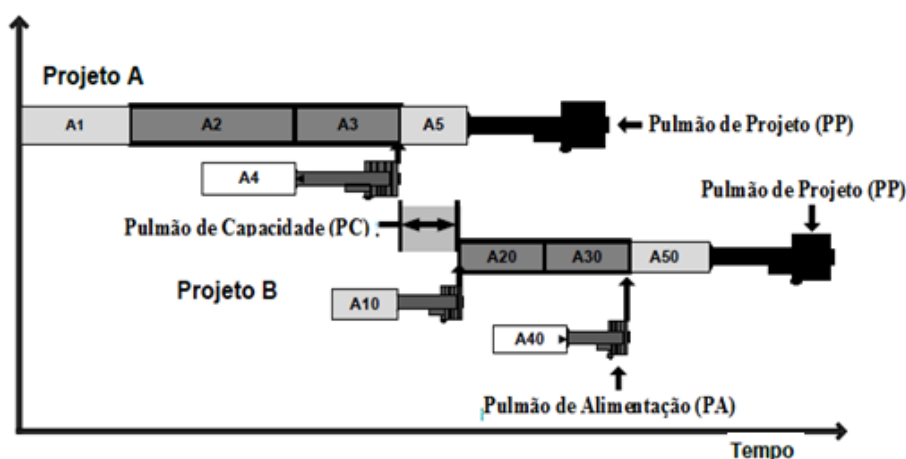


Figura 20. Programação de Múltiplos Projetos por meio da gestão dos pulmões (PP/PA/PC).

Fonte: Adaptado do Leach (2005)

Leach (2005) sugeriu que o Pulmão de Capacidade deve ser dimensionado, em relação ao tempo entre 25% a 30% da capacidade do recurso gargalo. Já Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004) atribuíram o valor de 50% da duração da cadeia correspondente e Valikonienė (2014) simulou em percentual de consumo para a variação do pulmão de projeto. Dessa forma, não existe na literatura um padrão, um tamanho exato para esse tipo de pulmão de capacidade (PC).

A proposta da metodologia de Leach (2005) para múltiplos projetos ilustrados na Figura 21, na qual, no projeto 2, pode-se identificar a inserção do pulmão de capacidade (PC) e o Pulmão de Recurso (PR), a fim de garantir o sincronismo do recurso restritivo “C” que está sinalizado de vermelho entre os projetos. Para garantir que o projeto 2 esteja disponível para ser trabalhado pelo recurso restritivo “C”, quando este concluir o projeto 1, os recursos “A” e “B” antecedem o início de suas atividades no projeto 2, pela inserção do Pulmão de Recurso (PR) no projeto. Seguindo a proposição, para garantir que o recurso “C” esteja disponível no tempo planejado para trabalhar no projeto 3, onde é inserido o Pulmão de Capacidade (PCA) após sua atividade no projeto 2, que se propõe a garantir que o recurso “C” não se atrasará para trabalhar no projeto seguinte. Observar que os projetos “3” e “1” foram utilizados para mostrar o sincronismo do projeto “2”, portanto, não possuem o pulmão de capacidade (PC) e o pulmão de recurso (PC), respectivamente.

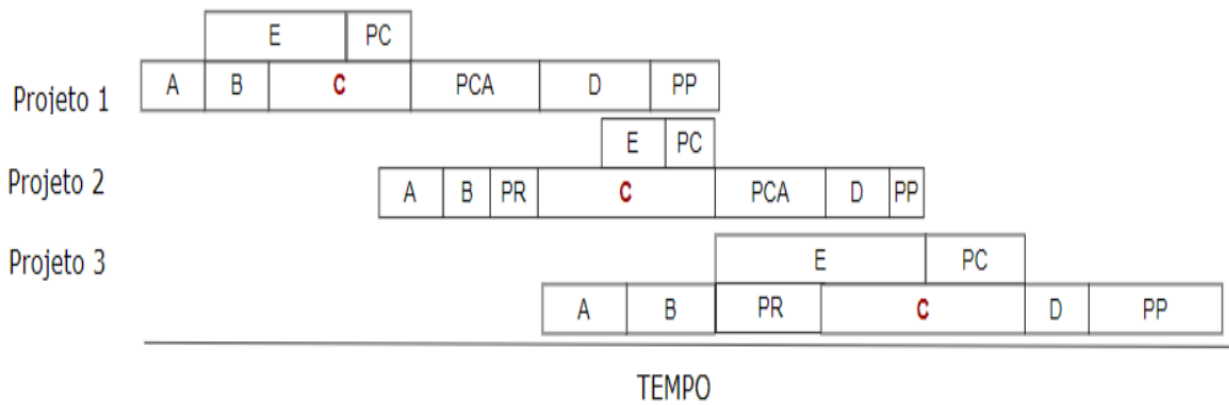


Figura 21. Inserção dos pulmões em múltiplos projetos.

Fonte: Adaptado de Caxias *et al.* (2013)

Para melhor implantação da metodologia da Corrente Crítica pela Gestão de pulmão de tempo em ambiente de múltiplos projetos, os autores Herroelen, Leus e Demeulemeester (2002), Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004) e Leach (2005) convergem nas principais etapas de aplicação:

- Definir uma prioridade para cada projeto que deve ser inserido no sistema;
- Fazer a Programação para cada projeto individual que obedece aos passos da Corrente Crítica e a inserção de pulmão de tempos;
- Reunir os projetos envolvidos em um único programa, de forma que sejam niveladas as atividades e que obedece às capacidades dos recursos e que não seja ultrapassada a capacidade disponível de recursos;
- Levantar o recurso gargalo (restritivo) entre todos os projetos e a observar a sequência de atividades que serão executadas por ele (sequência crítica do recurso);
- Fazer a inserção dos Pulmões (projeto, alimentação, capacidade e recursos) necessários, no intuito de evitar os possíveis atrasos no projeto, garantir que o atraso não se propague para o projeto seguinte;
- Inserir os Pulmões de Recursos (PR), pulmões de tempo com funcionalidade similar a dos Pulmões de Alimentação (PA). A função de um PR é evitar que uma atividade não crítica venha a atrasar uma atividade da sequência crítica.

Dessa forma, aplicação do método da Corrente Crítica centraliza seus esforços no gerenciamento de atividades com tempos enxutos (sem margem de segurança), porém devendo ser exequíveis, de forma a considerar uma estimativa “desafiadora” na sua implantação. Sabe-se que na fase de controle, pela corrente crítica, deve-se focar no consumo dos pulmões de tempos e não somente nas atividades e faz com que este procedimento seja desenvolvido, no intuito, de organizar o planejamento do projeto em buscar cumprir uma atividade em seu tempo mais viável possível.

Dimensionamento de Pulmão de Tempo

Newbold (1998) enfatiza que na prática da corrente crítica deve-se dimensionar o tamanho dos pulmões para serem inseridos na programação, mas ao mesmo tempo informa que o seu dimensionamento não requer um método científico, no entanto sugere que o seu tamanho deve “ser bom o suficiente e ajustado com base na avaliação de risco e que possa atingir o seu objetivo”.

Entretanto, Herroelen, Leus e Demeulemeester (2002) discordam dessa ideia da simplificação da implementação da corrente crítica, pois mostra, através de exemplos, a dificuldade que pode surgir quando adicionar os pulmões e adotar o seu tamanho na programação, onde deve atender os projetos que exigem certo grau de complexidade maior na cadeia crítica e que por si só não garante proteção ao projeto quanto à incerteza e pode resultar a um nível de vulnerabilidade no seu término.

Dessa forma, o dimensionamento dos pulmões deve ser calculado para refletir a incerteza que existe na programação, mas há um grande número de diferentes metodologias propostas na literatura para o tamanho do pulmão de tempo de projeto. Um dos métodos mais comuns é o “**Método Corta e Cola**” (C&PM-Cut & Paste Method) proposto por Goldratt (1997), e o outro, por Newbold (1998), o “**Método Raiz Quadrada do Erro**” (RSEM-Root Square Error Method), de forma que representam as incertezas presentes nas estimativas das durações das atividades e do projeto, e que deve proteger das possíveis variações comuns ou naturais do sistema em que os projetos estão inseridos.

Método Corta e Cola (C&PM)

Raz, Barnes e Dvir (2003) afirmam que está baseado no princípio estatístico em que “o desvio padrão da soma de um número de variáveis aleatórias mutuamente independentes é menor do que a soma dos desvios de padrão individual”. Esse foi o primeiro método de dimensionamento de pulmão identificado pela proposta por Goldratt em Corrente Crítica (Goldratt, 1997).

Para Newbold (1998 *apud* Tukel; Rom; Eksioglu, 2006) tanto a cadeia da corrente crítica como da alimentação, deve assumir para cada tarefa um valor de 50% das durações como estimativas seguras. Depois de encontrar a cadeia crítica, o próximo passo é somar todo o corte de segurança da cadeia crítica e da cadeia de alimentação e, em seguida, transferir ao final da corrente crítica o Pulmão de Projeto; e ao final da cadeia de alimentação o Pulmão de Alimentação, que representa 50% do valor deste corte.

Neste sentido, o trabalho de Robinson e Richards (2010) fornece, através de um exemplo numérico, uma demonstração da aplicação da regra de dimensionamento do Pulmão de tempo de 50% que foi usado em que o cronograma de Cadeia Crítica é aproximadamente 25% menor que seu equivalente do Caminho Crítico depois de nivelado os recursos, mas que está substancialmente melhor protegido de eventos incertos devido ao uso de pulmões como um meio de conter o risco no cronograma.

Diversos autores como, Herroelen, Leus e Demeulemeester (2002), Raz, Barnes e Dvir (2004), Lechler, Ronen e Stohr (2005), Tukel, Rom e Eksioglu (2006) e Schatteman *et al.* (2008) advertem do cuidado que a regra dos 50% pode levar

como uma excessiva quantidade de pulmões de tempo desnecessários, ou seja, uma tendência de um crescimento linear que pode ocorrer na cadeia crítica. Ainda Tukel, Rom e Eksioglu (2006) enfatizam, como exemplo desse cuidado, que não devem ser recomendados para ser aplicado em ambientes de projetos para desenvolvimento de novos produtos em virtude de não ser suficiente no atendimento do tempo de espera.

Goldratt (1997) argumenta que a regra é válida para qualquer ambiente de projeto, afirma que o “*buffer*” é uma extensão natural do tempo da tarefa, mas Herroelen e Leus (2001), (2005) e Yang e Fu (2014) enfatizam que a situação do aumento linear nem sempre traz benefícios, pois cria maiores tamanhos de pulmão de tempo do que necessário, e que pode resultar em um desperdício de recursos e também perda de oportunidades de futuros negócios para empresa (excesso de prazo). Dessa forma, a maioria dos autores que apoiam o CCPM rejeita esse método por apresentar o prazo de projeto excessivamente estendido. A inserção de grande proteção é desnecessária e pode reduzir a competitividade dos projetos.

Leach (2005) salienta vantagens e desvantagem que esse método pode trazer: a primeira e principal vantagem é que é simples de aplicar, a segunda, é que normalmente proporciona um pulmão de tempo suficientemente grande. Já a primeira desvantagem é que ele não permite contabilizar a variação conhecida no percurso de alimentação, a outra é que esse método pode conduzir um tamanho de pulmão de grande duração em projetos longos.

Apartir dos conceitos da corrente crítica, a Figura 22 apresenta uma demonstração da aplicação da corrente crítica pelo cálculo do método C&PM, que será inicialmente representada por uma rede de atividade, em que a letra de cada uma das atividades representa o recurso utilizado e o número diz respeito à duração da atividade. A corrente crítica está no caminho (**A4→B4→A8→B12**) e a corrente não crítica no caminho (**C4→D4**).

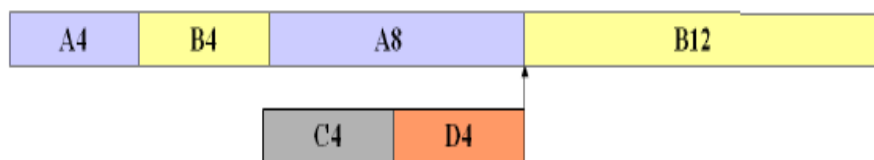


Figura 22. Rede de atividades do Projeto.

Fonte: Adaptado de Campanini (2013)

A etapa seguinte é aplicar em cada uma das atividades uma redução pela metade (50%) de seu tempo e transferir esses 50% desse tempo reduzido para o final da rede (**A4→B4→A8→B12**) como Pulmão de Projeto (PP), que tem valor de 7 períodos de tempo, e em seguida, adicionar o Pulmão de Alimentação (PA) ao final da cadeia que é de 2 períodos de tempo, resultado pela redução de 50% de C2 e D2, visto na Figura 23.

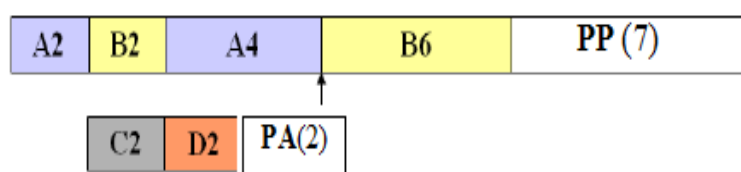


Figura 23. Rede de atividade após aplicar (50%) C&PM.

Fonte: Adaptado de Campanini (2013)

Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)

Newbold (1998) propôs esse método em que o dimensionamento do pulmão de tempo é definido como “a raiz quadrada da soma dos quadrados da diferença entre duas estimativas para cada tarefa que se encontra na rede”. Significa que é uma estimativa com duração segura considerada de baixo risco e outra com estimativa média para cada tarefa ao longo da cadeia que conduz a um tamanho de pulmão de projeto.

Já Tukul, Rom e Eksioglu (2006) afirmam que esse método é semelhante ao **C&PM**, pois utiliza também duas estimativas da duração das atividades para determinar o tamanho dos pulmões de tempo. A primeira é considerada como “**tempo seco**” ou estimativa de duração com 50% de probabilidade de atrasar (A_i). A segunda já inclui uma proteção suficiente para ser considerada como duração de **baixo risco**, que é geralmente estimada com 90% de probabilidade de não atrasar (S_i).

Leach (2005), em sua abordagem, não especifica o que é a duração de baixo risco para uma tarefa. Presumivelmente, seria uma duração com uma probabilidade de ser alcançada em excesso de 90%. Normalmente algo equivalente à duração pessimista que a rede PERT preconiza.

Assim, a incerteza de cada atividade pode ser calculada como a diferença de ambas estimativas, onde $U_i = (S_i - A_i)$, em que i representa cada uma das tarefas que compõem a rede de programação, podendo variar de 1 a n . No entanto, o método RSEM aplica duas estimativas para cada tarefa: a estimativa segura de 90% de probabilidade (S_i) e a estimativa reduzida de 50% (A_i). A diferença entre essas estimativas é a “margem de segurança” de duração da atividade e tem uma distribuição lognormal, e o seu desvio padrão pode ser calculado pela Equação (5).

$$\sigma = \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n - A_n}{2}\right)^2} \quad (5)$$

Dessa forma, a partir do desvio padrão pode-se calcular, pelo método estatístico, o tamanho do pulmão de tempo como visto na Equação (6), desenvolvido pelo Newbold (1998).

$$RSEM = \sqrt{\sum (\sigma_i)^2} \quad (6)$$

Na análise do trabalho de Tukul, Rom e Eksioglu (2006) que atribuem a esse método uma vantagem em relação ao Método de Cortar e Colar, são gerados pulmões de tempos não muitos grandes, e também podem ser pequenos, mas deve ser avaliado o seu comprimento da rede de atividades.

Nguyen (2013) fez também menção a vantagem do método RSEM, em que permite a utilização de variação de tempo conhecida na tarefa. A desvantagem é que pode levar o tamanho de pulmão de tempo a ser inferior para longas cadeias por dois motivos: no primeiro é a subestimação da variação real da tarefa; o segundo é que esse método assume que todas as variações do projeto são estocásticas e a realidade demonstra que alguns projetos não são.

Para ilustrar a aplicação do método, será tomado como base o mesmo exemplo de uma rede da Figura 22, em que tem as atividades no caminho da

corrente crítica (**A4→B4→A8→B12**) e no caminho da corrente não crítica (C4→D4), onde será calculado o valor da incerteza de cada atividade como sendo a diferença de ambas estimativas $U_i = (S_i - A_i)$ e depois o valor do pulmão pela raiz da soma dessas incertezas: Pulmão de Projeto (PP) é 7,8 unidades de tempo e o Pulmão de Alimentação (PA) é 2,8 unidade de tempo, como é visto no Quadro 14.

Quadro 14. Quadro demonstrativo dos cálculos para PP e PA.

Atividade	Cálculo de U	Cálculo do Pulmão de Projeto (PP)
A ₄	$U = 4 - 2 = 2$	$P = \sqrt{(2^2 + 2^2 + 4^2 + 6^2)} = 7,8$
B ₄	$U = 4 - 2 = 2$	
A ₈	$U = 8 - 4 = 4$	
B ₁₂	$U = 12 - 6 = 6$	
C ₄	$U = 4 - 2 = 2$	Cálculo do Pulmão de Alimentação (PA)
D ₄	$U = 4 - 2 = 2$	$R = \sqrt{(2^2 + 2^2)} = 2,8$

Fonte: Adaptado Campanini (2013)

Após o cálculo dos tamanhos dos pulmões de tempo pelo método RSEM, devem-se posicionar os pulmões na rede, conforme a Figura 24.

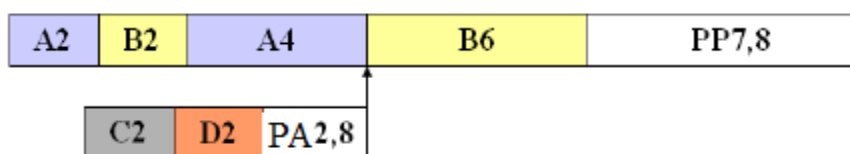


Figura 24. Posição do exemplo para Pulmão de Projeto e Alimentação.

Adaptado: Adaptado de Campanini (2013).

Herroelen, Leus (2002); Yang, Fu (2014) e Zhang, Sonz e Díaz (2016) enfatizam que muitas pesquisas têm apontado que o C&PM aumenta seriamente os tamanhos dos pulmões, enquanto o RSEM melhora, especialmente quando usado em projetos maiores. Mas o método RSEM pode evitar a superproteção implícita apontada pela metodologia C&PM, quando o número de atividades no projeto é muito grande. No entanto, as atividades de uma rede têm correlações e, podem, portanto, ser afetados pelos mesmos fatores, como restrições ou complexidade da rede, que tornam o tamanho do pulmão pelo RSEM menor do que o necessário.

Cabe ressaltar que além dos métodos tradicionais (C&PM e RSEM) que focam nas incertezas das atividades e que têm sido criticados por serem procedentes de demonstrações matemáticas (estatísticas), sendo, portanto, considerado incompatíveis com a natureza da gestão de projeto, existem outros métodos de dimensionamento de pulmões que levam em considerações as características de complexidade e do nível de compartilhamento de recursos dos projetos e também da escassez de recursos abordados por Tukul, Rom e Eksioglu (2006), Bie, Cui e Zhang (2012), Ma, Guofeng *et al.* (2014), Zhang, Song e Díaz (2016), Zhang, Song e Díaz (2017) e outros.

Após o trabalho de Tukul, Rom e Eksioglu (2006) sobre o dimensionamento de pulmões de tempo, muitos outros métodos têm surgido afirmando que o foco para sua determinação deve levar em consideração algumas singularidades, situ-

ações, cenários e características de programação de projeto, no intuito de que os métodos dos cálculos para pulmões devem ter características dinâmicas, especialmente quando novas informações estiverem disponíveis, de forma que as revisões dos tamanhos dos pulmões acontecem constantemente com a finalidade de poder sugerir novas oportunidades na redução da duração do projeto.

Outros métodos surgiram como proposta para dimensionamento de pulmão de tempo no sentido de superar as desvantagens de C&PM e RSEM, tais como: Algoritmos Genéticos, Lógica *Fuzzy*, Solução de Problemas pelas Restrições de Recursos- RCPSP, formulação de Heurísticas e modelos Matemáticos e outros tipos de ferramenta de apoio ao cálculo de pulmões, conforme o Quadro 15.

Quadro 15. Trabalhos desenvolvidos para dimensionamento de Pulmão de tempo de Projeto-C-CPM.

Autor	Proposta
Trietsch (2005)	Utiliza modelos matemáticos para definição de tamanho do buffer na gestão de projeto pelo aspecto do tempo e custo, em que adota as atividades estatisticamente independentes e não se preocupa com as cadeias longas.
Tukel, Rom e Eksioglu (2006)	Apresentaram dois métodos para determinar o tamanho do pulmão de tempo na programação da cadeia crítica do projeto: Procedimento Adaptativo com Escassez de Recurso (APRT) que considera restrições de recursos e o outro Procedimento Adaptativo com Densidade (APD) é atribuído pela complexidade da rede de atividades. Ambos os métodos foram testados e comparados com dois métodos (C&PM) e (RSEM), a comparação é feita por meio de um estudo de simulação em que os resultados dos testes indicaram que os métodos sugeridos geram tamanhos de pulmões de tempo menores, ao mesmo tempo em que fornecem proteção suficiente contra atrasos no projeto tempo de conclusão.
Rabbani et al. (2007)	Sugerem a construção de um algoritmo de otimização através de uma heurística de programação de projetos com restrições de recursos em redes estocásticas através da fusão dos conceitos de cadeia crítica e métodos tradicionais de Programação de Projetos com Recursos Limitados (RCPSP). Nesse algoritmo, as atividades estão prontas em cada ponto de decisão e são fornecidas pelos recursos disponíveis com base no nível de prioridade com intuito de reduzir o risco do projeto.
Yang et al. (2008)	Estabelecem fatores de correção de propriedade de três atributos relevantes para um projeto específico, que inclui o número de atividades em cadeia, a incerteza de duração atividades e a flexibilidade das atividades de hora do início projeto . Foi levantado o efeito destes fatores sobre o cronograma do projeto por meio de simulação de dados com propósito de melhorar o método de dimensionamento de pulmão de tempo e comparado o seu desempenho pelos métodos C&PM e RSEM.
Zhao, You e Lv(2008)	Propuseram um Algoritmo Genético melhorado para um método da determinação do tamanho de pulmão de tempo estimado de alimentação e do projeto, com utilização de uma programação de projeto com apoio da teoria de <i>Fuzzy</i> , na avaliação da incerteza no planejamento na vida real de um projeto complexo.
Gong e Qing (2010)	Os autores elaboraram uma forma de inserção de Pulmões de Projeto separada, para lidar melhor com a mudança de uma determinada tarefa. Reduz a carga de trabalho com os ajustes na programação da Corrente Crítica durante o avanço do projeto. Fornece ao gerenciamento de projeto, um cronograma que garante a efetividade da taxa de conclusão e duração.

Autor	Proposta
Xie, Guang e Chuang (2010)	Com base na teoria da cadeia crítica, este artigo analisa os projetos de desenvolvimento de software adotando método pelo “ Erro Melhorado Raiz Quadrada (IRSE) ”, que define os tamanhos de pulmão de tempo para projetos no desenvolvimento de software. O trabalho simula a incerteza do projeto com software de simulação e compara o resultado com método tradicional Método Cortar e Colar (C&PM) e Método Raiz Quadrada do Erro (RSEM) .
Fallah, Ashtiani e Aryanezhad (2010)	Desenvolveram uma proposta para dimensionamento de pulmão em programação de projeto de Cadeia Crítica em que considera a Distribuição Lognormal para o tempo de execução de atividades de modelagem em que a incerteza inerente nas atividades é considerada como um fator principal para o tamanho do pulmão de tempo. Os resultados mostraram que o método pelo logaritmo dinâmico supera os métodos tradicionais “ C&PM ” e “ RSEM ”.
Bie, Cui e Zhang (2012).	Neste trabalho, o dimensionamento de pulmão leva em consideração os efeitos da dependência entre atividades pela integração - APAD , atribui duas definições que refletem a dependência que são grau e o fator de dependência e são integradas na formulação do método. O método sugerido é testado através de um estudo de simulação que usa uma rede de projeto com 18 atividades e comparado com os métodos com suposição de independência o (RSEM), (APRT) e (APD) .
Yu, Xu e Hu (2013).	Propuseram uma abordagem integrada para dimensionamento de pulmão que leva em consideração os riscos de duração da atividade, fator de impacto de recursos e da cadeia de alimentação, sobre a influência das restrições de múltiplos recursos, tendo o tempo estimado pela simulação de Monte Carlo.
Goto, Truc e Takahashi (2013)	Trazem uma proposta de um quadro que descreve a Gerenciamento da Cadeia crítica de Projeto (CCPM) baseado pelo Método através de em uma representação Max-Plus Linear (MPL) para múltiplos projetos. O quadro leva o tamanho de buffers de tempo ambiente de projeto individual único e ambiente de múltiplos projetos , apresenta um sistema de escala pela técnica matemática muito complexa.
Campanini (2013)	Desenvolve uma proposta de um método para cálculo de pulmão de tempo. Para isso, foi utilizada a Lógica Fuzzy em uma empresa que trabalha com pedidos sob encomenda no segmento de Bens de Capital, com uso de cinco variáveis que influenciam no resultado dos contratos e, dessa forma, participaram dos cálculos, tais como: multa contratual, margem de lucro, importância do cliente, complexidade do projeto e escassez de recurso , adotado em um ambiente de múltiplos projetos .
Zhang e Geng (2014)	Defenderam um método em que se aplica os coeficientes de complexidade, de importância, grau de risco, e de ajustamento para preferências de risco do gestor e foram discutidos na visão de Problemas de Programação sob a Restrição de Recursos em Multi-Recursos . No entanto, faz uma ressalva no método de gerenciamento de projetos que ainda existem muitas limitações no método da cadeia crítica e não pode resolver todos os problemas na gestão de projetos. Este método ainda necessita de estudos e discussões.
Peng e Huang (2014)	Apresentaram um método de programação de projeto pela cadeia crítica, considerando tanto as limitações de recursos e duração incertezas em solução de um problema crítico de restrições de recursos e incertezas de duração realizados por um algoritmo de evolução aplicado em um conjunto de dados padrão modificados no PSPLIB (Project Scheduling Problem Library) e os resultados revelam a sua eficácia.

Autor	Proposta
Zhang, Song e Díaz (2014)	Propuseram um tipo de dimensionamento com base em otimização de atributos a fim de melhorar a eficiência na gestão de buffer e otimizar a precisão da estimativa de pulmão de projeto e com integração tanto a complexidade da rede como as restrições de recursos . Aplicaram a simulação Monte Carlo para obter um tamanho de pulmão menor do que o Método de Cortar e Colar (C&PM) , e maior do que Método da Raiz de Erro Quadrado (RSEM) . Estes resultados indicam que o método leva em consideração as interdependências entre as atividades .
Ma, Guofeng et al. (2014)	Os autores utilizaram um estudo em três projetos com a simulação em Monte Carlo, gerando uma amostragem aleatória de cada tempo de atividade com um comportamento de uma distribuição normal, de forma que os resultados mostraram que a proposta superou os métodos de dimensionamento de buffer tradicionais- (C&PM) e (RSEM) , gerando buffers com tamanhos razoáveis e com robustez suficiente contra possíveis incertezas.
Zhang, Jia e Diaz (2015)	Utilizaram teoria <i>Fuzzy</i> para calcular a incerteza e é ajustado usando o Aperto de Recursos (APRT) e a Complexidade da Rede (APD). O modelo está baseado na incerteza e nos atributos do projeto e a eficácia do método é verificada com a simulação de Monte Carlo e faz comparações dos resultados experimentais com os métodos tradicionais C&PM e RSEM .
Huet al. (2016)	Apresentaram um método de controle de projeto eficiente com base em gerenciamento de pulmões na cadeia crítica, onde avaliaram os projetos probabilisticamente pelo custo-efetivo .
Zhang, Song e Díaz (2016)	Propõem um método que utiliza Problema de Programação de Projetos com Restrições de Recursos (RCPSP), que estará baseado em um planejamento de projeto com utilização de número Fuzzy. O trabalho utilizou na programação o software MATLAB para simular a incerteza do projeto e comparando o desempenho dos resultados pelos métodos tradicionais (C&PM) e (RSEM).
Iranmanesh, Mansourian e Kouchaki (2016)	Nessa pesquisa os autores apresentaram um método para determinar o tamanho do pulmão de tempo com base no fator de densidade pós-limite em relação aos recursos limitados, com utilização do fator de localização da tarefa em uma rede, riscos ambientais e risco de cada tarefa com uso da simulação para especificar o tamanho de pulmão de tempo adequado aplicação nos projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Alguns autores de trabalhos recentes como Xie, Guang, Chuang (2010), Bie, Cui e Zhang (2012), Yu, Xu, Hu (2013), Ma, Guofeng et al. (2014), Zhang, Jia, Diaz (2014), Hu et al. (2016), Zhang, Song, Díaz (2016) e Iranmanesh, Mansourian e Kouchaki (2016) afirmam que as atividades possuem um nível de interdependência de uma atividade à outra, onde uma atividade pode influenciar o início de outra atividade e consequentemente atrasando-a na rede. Dessa forma, algumas situações comuns entre os trabalhos apontam fatores relevantes que podem influenciar diretamente o dimensionamento dos Pulmões de (Projetos e Alimentação), tais como: flexibilidade no tempo de início na atividade; disponibilidade /variação de recursos no tempo (t); duração dos tempos estimados para atividades, a natureza da complexidade da rede de projeto e projeção de cenários através da simulação, como é destacado no Quadro 16.

Quadro 16. Fatores que influenciam no dimensionamento de pulmões de projeto na CCPM abordados por alguns autores levantados na literatura.

Fatores de influência no Pulmão de Tempo	Autores						
	Yang <i>et al.</i> (2008)	Xie, Guang, Chuang (2010)	Bie, Cui e Zhang (2012)	Yu, Xu e Hu (2013)	Zhang, Jia e Diaz (2014)	Ma, Guofeng <i>et al.</i> (2014),	Iranmanesh, Mansouriane e Kouchaki (2016))
Flexibilidade na Atividade (i)			X	X	X	X	
Disponibilidade de recursos		X	X	X	X	X	X
Incerteza na duração dos tempos estimados (i)	X	X	X	X	X	X	X
Complexidade na rede		X	X			X	X

Fonte: Elaboração do autor

Este trabalho apoiou-se nas variáveis mostradas no Quadro 17 que influenciam no dimensionamento dos pulmões de tempo com a utilização da metodologia CCPM.

Quadro 17. Proposta dos fatores que influenciaram o Modelo proposto para dimensionar os pulmões.

Fatores	Autores
Flexibilidade na Atividade	Zhang, Jia e Diaz (2014)
Variação de consumo de recursos no tempo estimado	Xie, Guang, Chuang (2010); Ma, Guofeng <i>et al.</i> (2014).
Duração dos tempos estimados nas atividades	Yang <i>et al.</i> (2008); Bie, Cui, Zhang (2012); Iranmanesh, Mansourian e Kouchaki (2016).
Complexidade na rede	Ma, Guofeng <i>et al.</i> (2014); Iranmanesh, Mansourian e Kouchaki (2016)
Variável do atributo da incerteza / complexidade da natureza do projeto	Pinto, Novaski e Anholon (2018).

Fonte: Elaboração do autor

Fatores de influência no dimensionamento de pulmões de projeto na CCPM

a) Flexibilidade na Atividade (fa)

A técnica de avaliação da flexibilidade (fa) na pesquisa de Ma, Guofeng (2014) foi utilizada a partir do trabalho de Kumar (1987). Este usou como ferramenta de ponderação a teoria da Entropia, que atribui um valor referente com base em análises e julgamentos das equipes de projeto. Esses valores podem ser modifi-

cados com base no gerenciamento e experiência dos colaboradores dos projetos de forma arbitrária, para que se possa controlar o impacto das variações de (fa) nos tamanhos de pulmões de tempo resultantes.

Zhang, Jia e Diaz (2014) utilizaram a técnica da lógica *fuzzy*, que é uma ferramenta onde se atribui também uma ponderação em situações de diferentes interpretações, pois se trata de projetos e condições também diferentes. No entanto, é difícil para o gestor do projeto medir este fator da flexibilidade com precisão. Dessa forma, é difícil ter o tamanho da flexibilidade com exatidão, especialmente no caso de falta de dados históricos. Para descrever o (fa) foi definida uma escala baseada na flexibilidade do tempo e na complexidade da atividade, visto no Quadro 18.

Quadro 18. Valores estimados para Flexibilidade nas atividades (fa).

Valor	Descrição geral da Flexibilidade (fa)
0	Quando a flexibilidade do tempo de início da atividade é muito grande , a complexidade da rede é muito baixa , e a implementação das tarefas não será afetada.
0,3	Quando a flexibilidade do início da atividade tem um tempo grande e a complexidade da rede é baixa . Para assegurar a execução das tarefas, o projeto deve considerar a atividade.
0,6	Quando a flexibilidade do início da atividade tem um tempo pequeno e a complexidade da rede é alta , é, portanto, necessário considerar a implementação de atividades para manter o projeto sob controle.
1	Quando a flexibilidade do tempo de início da atividade é muito pequena e a complexidade da rede é muito alta , pelo que o projeto pode ser facilmente afetado por várias incertezas.

Fonte: Adaptado de Zhang, Jia e Diaz (2014).

Goldratt (1997) faz uma ressalva desse ganho, pois afirma que um atraso numa atividade é repassado por completo para a etapa seguinte, enquanto um avanço feito numa atividade é geralmente desperdiçado. Adicionando Herroelen, Leus e Demeulemeester (2002) argumentam que as estimativas não protegem o projeto como um todo e são desperdiçadas na conexão entre as atividades, resultando que um atraso em uma atividade implica atraso no início da atividade seguinte, e finalizar uma atividade antecipadamente ao que foi planejado, não necessariamente é transferida para outras atividades do projeto.

b) Consumo de Recurso disponível no tempo programado (R_{ti})

O R_{ti} pode ser determinado pela Equação (7) que deve ajustar o tamanho do pulmão de segurança para aumentar a estabilidade do projeto. Este fator tem o objetivo de medir o nível de consumo pelo tipo de recurso (r_{kt}) na janela de tempo (t) pelo total de recurso disponível (R_t); e que este tempo esteja contido dentro do intervalo $t \in [ST_i, ST_i + D_i]$, conforme é mostrado no trabalho Xie, Guang e Chuang (2010).

$$R_{ti} = \max\{\sum_{k=1}^m r_{kt}/R_t\}; t \in [ST_i, ST_i + D_i] \quad (7)$$

Descrição da Equação (7):

R_{ti} = disponibilidade de um recurso no instante t ;

r_{kt} = recurso possível da demanda do tipo de recurso k no instante t ;

m = número de atividades executada no instante t ;

ST_i e SF_i = tempos de início e fim de Atividade i , respectivamente.

Quando os valores de R_{ti} são altos, a restrição de recurso torna-se mais elevada e, conseqüentemente, os pulmões devem ser maiores e necessários para evitar a ocorrência de atraso relacionado com esse tipo de recurso na atividade (i). O valor do R_{ti} representa o **nível de incertezas** associadas à disponibilidade do recurso e o seu grau de acessibilidade em uma determinada demanda concorrente desse recurso por outras atividades na mesma janela de tempo.

c) Duração dos tempos estimados (T_i)

Conforme Iranmanesh, Mansourian e Kouchaki (2016), a estimativa de tempo na duração da atividade é para proteger o projeto contra as incertezas que podem ocorrer. Assim, afirmam que sempre há algumas atividades de projetos em que existirá uma grande possibilidade de ter uma flutuação durante o período de sua execução e que possibilitará um atraso no projeto.

Yu, Xu e Hu (2013), por sua vez, atribuem o uso da estimativa de tempo na duração para o dimensionamento do pulmão de tempo como sendo uma determinação do tempo de segurança que se dá pelo julgamento subjetivo e que não pode ser medida com exatidão, pois está sob certa condição de risco. Mas caso não se tenha dados históricos suficientes, é usado o método de três pontos para estimar a duração da atividade, pois de acordo com a experiência dos especialistas pode ser obtida com: duração mais otimista (a), duração mais provável (m) e a duração pessimista (b) abordado pela metodologia PERT.

Ainda Yu, Xu e Hu (2013) citaram que a estimativa do tempo empregada teve um nível de distribuição $T^{95\%}$, que indica a duração da atividade correspondente ao nível de confiança de 95% determinado por uma Distribuição de Probabilidade Triangular. Outra estimativa $T^{50\%}$ corresponde ao nível de confiança de 50% e a diferença entre as duas correspondem (40%), é considerada como “**tempo de segurança**” direcionada para risco de duração da atividade, como pode ser mostrada na Figura 25.

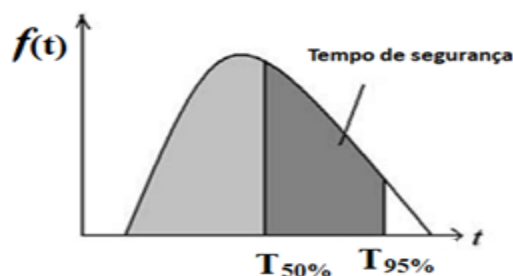


Figura 25. Distribuição de probabilidade de duração da atividade.

Fonte: Adaptado de Yu, Xu e Hu (2013)

Zhang, Jia e Diaz (2014) formularam que o tempo de segurança das atividades é, portanto, calculado em condições de risco apresentados em quatro faixas de incerteza (**muito baixa, baixa, alta e muito alta**) gerados dentro da margem ($T^{50\%}$ e $T^{90\%}$) para cada faixa de cada atividade.

d) Complexidade da rede na atividade (Cri)

As medidas de complexidade da rede do projeto foram abordadas e definidas de forma diferente por autores citados no Quadro 17. Isto mostra várias formas de resolução para essa situação, então, como quantificar a complexidade da rede com precisão? Esse problema realmente acontece pela dificuldade da interpretação do parâmetro da complexidade da rede, mas entre os aspectos observados, o mais relevante entre eles é o grau de dificuldade de execução pela relação de precedência.

Tukel, Rom, Eksioglu (2006) enfatizam que a complexidade da atividade é determinada pela complexidade da cadeia que contém essa atividade, ou seja, quando uma atividade tem mais atividades precedentes na cadeia, é mais provável que seja influenciada por atrasos e distorções que afetam suas atividades precedentes.

Nessa perspectiva, quando uma atividade estiver mais próxima do início da rede é considerada mais complexa para o projeto, e consequentemente tem maior probabilidade de não ser executada do que uma mais próxima do final da rede.

Alguns autores supracitados contribuíram para buscar um melhor entendimento para a solução da complexidade da rede, entre eles, destacam-se Xie, Guang e Chuang (2010), Zhang e Geng (2014) e Ma, Guofeng (2014) que expressaram um coeficiente de complexidade da atividade na rede. Quando atividade estiver mais próxima do final do projeto mais incerteza na sua finalização pelo fator de dependências das atividades predecessoras e quando mais próximo do início do projeto, menos incerteza, como é visto na Equação (8).

$$CRI = \frac{N_{predecessor(i)}}{\sum_1^n N} (cc/nc) \quad (8)$$

O valor pode ser atribuído às condições de complexidade da atividade da cadeia crítica (cc) ou não crítica (nc) na rede, em que ($N_{predecessor(i)}$) representa número da atividade predecessoras (i) e ($\sum_1^n N$) o número total de atividades na cadeia que contém atividade (i). O de Cri é um parâmetro não dimensional e está entre o intervalo [0, 1].

Para determinar o valor do fator da complexidade das atividades na rede para Pulmão de Projeto devem-se somar todos os coeficientes unitários das atividades de complexidade da corrente crítica $Cri(cc)$, e para os Pulmões de Alimentação (nc) devem-se somar também todos os coeficientes unitários das atividades que estiverem na rede da cadeia não crítica $Cri(nc)$.

A Equação (8) quantifica um índice de complexidade da atividade (i) na po-

sição da rede, pois se (i) estiver na corrente crítica (cc) o valor *Cri* será adicionado na equação geral (2.8) para quantificar o Pulmão de Projeto (PP), e caso (i) estiver na corrente não crítica (nc) será para quantificar o Pulmão de Alimentação (PA).

e) Variável do atributo de incerteza/complexidade da natureza do projeto (K_{ip})

As variáveis de incerteza e complexidade do projeto são dadas pelas Equações (9) e (10) adotadas pelo trabalho de Pinto, Novaski e Anholon (2018), mostradas no Anexo B.

$$Incerteza_i = \sum_{i=1}^0 impactoXimportância \quad (9)$$

$$Complexidad_i = \sum_{i=1}^0 impactoXimportância \quad (10)$$

Apartir do valor das medidas destas variáveis, determina-se o coeficiente de ajuste (K_{ip}) na Equação (11). Este coeficiente é adimensional e representará uma parcela do fator de ajuste dos pulmões.

$$K_{ip} = Incerteza_i x Complexidad_i \quad (11)$$

Monitoramento de Pulmão de Tempo para tomada de decisão

O sucesso da CCPM se dá pelo monitoramento da taxa de consumo do pulmão de tempo na rede do projeto, sendo uma das principais ferramentas de medidas de desempenho (Leach, 2005; Khemakhem; Chtourou, 2013). Este monitoramento deve ser efetuado em intervalos apropriado para execução do projeto, que geralmente pode ser semanal, quinzenal ou mensal Newbold (2008).

O monitoramento pode ser feito em forma de gráfico, dividido em três regiões convencionadas (“verde-amarelo-vermelho”), que é usada para descrever o status geral de cada projeto em intervalos regulares (Robinson; Richards, 2010).

A Figura 26 mostra um exemplo de monitoramento do pulmão de tempo consumido por meio de um gráfico.

O gráfico da Figura 26 foi construído a partir dos seguintes valores percentuais: linha que divide a área verde com a amarela inicia em 15% no período de tempo 0% e termina em 75% no período de tempo 100%; a linha que divide a área amarela da área vermelha inicia em 30% no período de tempo 0% e termina em 90% no período de tempo 100%. Dessa forma, a faixa amarela fica com uma largura de 15%.

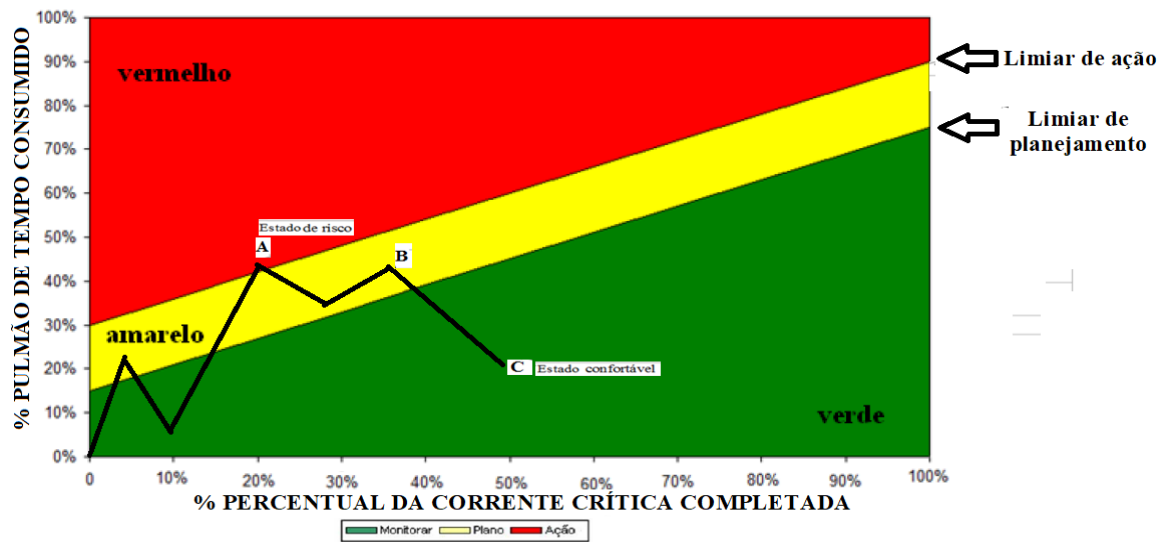


Figura 26. Gráfico do consumo de Pulmão de Tempo.

Fonte: Adpatado de Campanini (2013)

Da Figura 26, tem-se:

- No ponto A, o consumo foi 40% do tamanho do pulmão dimensionado, tendo consumido 20% em média do tempo da corrente crítica, que está situado na zona vermelha onde apresenta um estado crítico no gráfico. Isso reflete que deverá ser implementado um plano de ação no sentido de evitar que o consumo do pulmão aumente.
- No ponto B, o consumo foi aproximadamente 40% do tamanho do pulmão estimado, e tendo consumido 35% do tempo da corrente crítica e se posicionando na zona amarela. Isso reflete em um plano de ação que deverá ser elaborado, e ficando em um estado de alerta.
- No ponto C, o consumo foi 20% do pulmão de tempo dimensionado, e tendo consumido 50% do tempo da corrente crítica, posicionando na zona verde em um estado de conforto. Isto reflete que nenhuma ação deverá ser tomada, apenas o monitoramento do gráfico por meio de atualizações do projeto que deve continuar.

Dessa forma, o uso do gráfico de consumo de pulmão de tempo gera oportunidade aos gestores de projeto em garantir uma visão ampla do andamento do estado em que se encontram os projetos, e se estão indo bem ou se estão em zona de perigo, e também poder saber tomar decisões de onde e quando se deve intervir no projeto.

Conforme as premissas da corrente crítica em gerenciamento de projeto (CCPM), a parte do controle da programação de um projeto está baseada no monitoramento do tamanho dos pulmões de tempo, que é determinado pela quantidade de tempo disponível no projeto para que não haja atraso na sua conclusão. De acordo com as datas projetadas, estas são baseadas sobre as estimativas da “duração projetada” para as tarefas previamente informadas no seu escopo, em que a estimativa de quanto trabalho remanescente será feito estará sujeito também à alteração pelas margens de segurança que foi destinada para seu pulmão de tempo.

Dilmaghani (2008) apresenta um modelo para monitoramento e gerencia-

mento através do consumo de pulmão de tempo em ambiente multi-projetos através dos cálculos da porcentagem de cadeia completa e da taxa de seu consumo. Para cada projeto individual, a CCPM usa o fator proporcional do percentual da cadeia crítica completa para a porcentagem do consumo do pulmão do projeto (PP) para estabelecer uma prioridade atribuindo um recurso crítico entre as tarefas concorrentes de vários projetos. Essa proporção também é chamada Índice de Desempenho do projeto ID_p , representado na Equação (12) para um projeto individual no ambiente multi-projeto.

$$ID_p = \frac{\% \text{ Cadeia Crítica Completa}}{\% \text{ Consumo de Pulmão de Tempo}} \quad (12)$$

Especificamente, se (ID_p) for maior do que 1, significa que o pulmão de tempo restante pode ser suficiente para proteger a variação das atividades restantes, e que o projeto é menos provável em se atrasar, portanto, nada precisa ser feito ou menos atenção é necessária.

Por outro lado, se ID_p for inferior a 1 significa que o pulmão do projeto é consumido a uma taxa mais rápida em comparação com o progresso da cadeia crítica, e por isso há uma maior probabilidade do projeto sofrer um atraso, exigindo mais atenção à gestão para tomar medidas imediatas com ações corretivas.

Para ilustrar esse comportamento, a Figura 27 mostra o acompanhamento de dois projetos (P_1 e P_2). Para projeto 1 a quantidade de consumo de pulmão de tempo do projeto é de 60%, enquanto a quantidade de execução na cadeia é de 50%, é aplicado a Equação (12) onde o seu índice de desempenho é ID_{p1} ($0,5/0,6$) = 0,83. Para o projeto 2, resultado é ID_{p2} ($0,7/0,5$) = 1,4. O Projeto 1 tem maior prioridade com um maior ID_p e recebe um maior avanço entre os projetos no ambiente de multi-projetos. Já para o Projeto 2, tem uma situação mais favorável em relação ao Projeto 1.

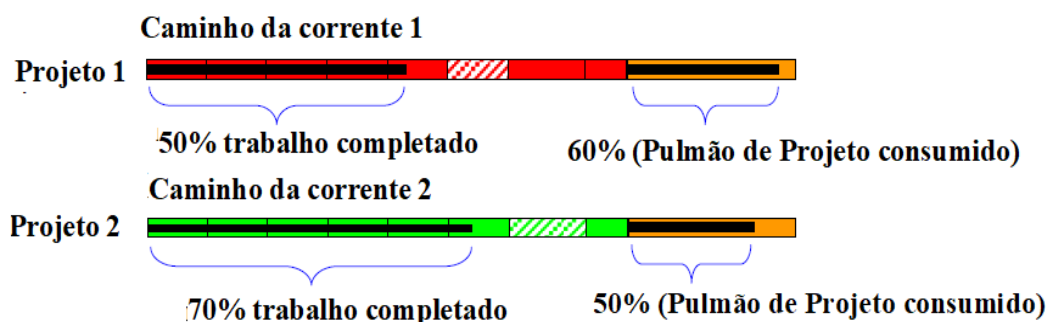


Figura 27 Impacto relativo nos pulmões de projetos de diferentes cadeias CCPM.

Fonte: Adaptado de Dilmaghanil (2008)

A Figura 28 representa gerenciamento dos projetos através de consumo de Pulmão de tempo com base no índice de Desempenho ID_p no ambiente de múltiplos projetos. O controle do projeto no ambiente de múltiplos projetos pode ser executado através do acompanhamento individual, possibilitando aos gestores de projetos que mantenham sob controle de todos os projetos através do consumo dos pulmões no âmbito de projetos individuais e em seguida possa tomar suas devidas decisões como: interromper a execução temporariamente de algum projeto, fazer renegociação de datas de entrega junto ao cliente, fazer repriorização dos projetos ou até mesmo autorizar horas extraordinárias para

acelerar a execução, no entanto, todas essas possíveis decisões devem estar contempladas dentro de plano de ação.

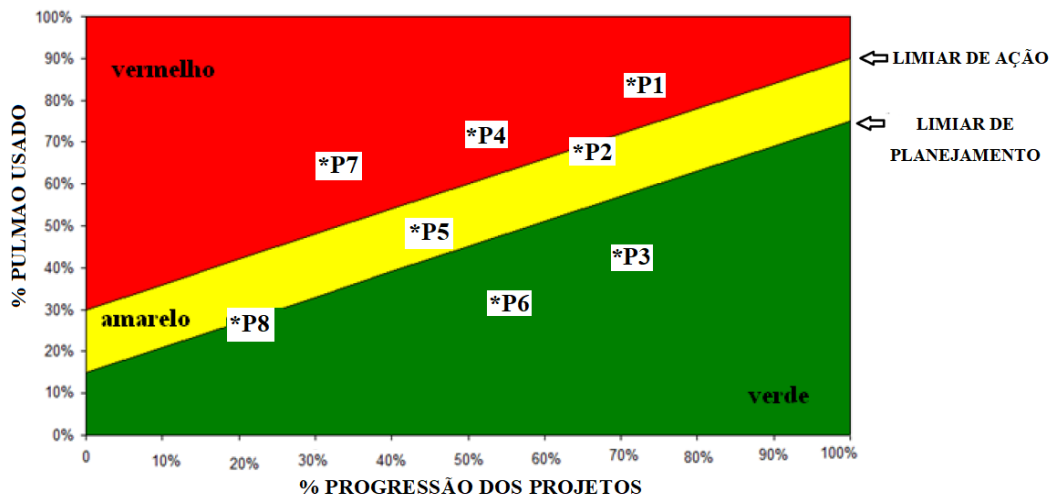


Figura 28. Gráfico de controle do uso de Pulmão de Projeto entre os projetos.

Fonte: Adaptado de Finocchio Junior (2009)

Na análise da Figura 28, pode-se observar que os projetos P6 e P3 estão em situação confortável, pois o nível de progressão está dentro da zona verde. O projeto P5 está na zona amarela que é uma situação de alerta devendo elaborar um plano de ação, e quanto aos projetos P2 e P8, apesar de estarem na zona amarela, mas bem próximo da vermelha que neste caso já deve estar com plano elaborado e preparando a sua implementação. E quantos aos três projetos (P7; P4 e P1) que se encontram na zona vermelha já devem ter o plano em execução com propósito de diminuir o consumo de pulmão com ações planejadas. Isto representa uma dinâmica em que se pulmão de tempo está sendo consumido a uma taxa menor do que a taxa de progresso do projeto, significa que o projeto está no caminho certo e caso contrário deve-se agir o mais cedo possível.

Conclui-se que usar gráfico de controle de pulmão de tempo, fornece uma visão geral para uma avaliação da porcentagem da corrente crítica que já foi completada e esse desempenho passa a ser uma medida crítica no acompanhamento e controle dos projetos para sua finalização e informa em que o **“status”** para o cenário do projeto que se encontra, pois quanto maior a razão entre a taxa de consumo do pulmão de tempo e a taxa de progresso da corrente crítica, a atenção é mais requerida pelos seus gestores.

Aplicação do FMEA em Gestão de Projetos

Face à complexidade dos projetos que cria incerteza e riscos em vários tipos de projetos, muitas abordagens foram sugeridas para sua identificação, classificação e análise. Dessa forma, houve um grande número de pesquisadores que propuseram diferentes processos sobre o tema e o objetivo final de todos os métodos é efetivamente, o gerenciamento de risco (Mohammadi; Tavakolan, 2013).

Conforme Guia do PMBOK (2014), o risco do projeto é definido como: “um evento ou condição incerta que, se ocorrer, tem um efeito positivo ou negativo em um ou mais objetivos do projeto, como escopo, cronograma, custo ou qualidade”.

A FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), Modos de Falha e Análise de Efeitos, é apresentada como um dos métodos para se analisar possíveis problemas de riscos associados a vários modos de falha (existentes e potenciais) em que ocorre uma priorização para tomada de ações (Ebrahimipour; Rezaie; Shokravi, 2010; Barends *et al.*, 2012).

Kumru e Kumru (2013) abordam que é uma técnica analítica que combina a tecnologia e experiência das pessoas na identificação de modos de falha previsíveis de um produto ou processo, e faz um planejamento para sua eliminação ou mitigação. Isto é utilizado em empresas em várias fases do ciclo de vida do produto ou processo e que está sendo cada vez mais aplicado no campo de projeto.

Khuankrue *et al.* (2017) destacam que o FMEA segue quatro estágios: preparação, identificação, avaliação e priorização e ação, como é mostrado na Figura 29.



Figura 29 Os quatro estágios básicos de um ciclo de FMEA.

Adaptado: Adaptado de Khuankrue *et al.* (2017)

No FMEA, as prioridades de risco dos modos de falha são determinadas pelo uso de Números de Prioridade de Risco (NPR) que pode ser obtido pela multiplicação nas pontuações de fatores de risco como ocorrência (O), severidade (S) e detecção (D) dos modos potenciais de falha, como é visto pela Equação (13) (Mohammadi; Tavakolan, 2013).

$$NPR = O \times S \times D \quad (13)$$

Os autores Mohammadi e Tavakolan (2013) defendem ainda que para a dinâmica da classificação de O, S e D são utilizados os números 1-10, onde 10, marca a maior contribuição para o risco e faz as descrições da seguinte forma:

Para a ocorrência (O), o melhor método para determinar a sua classificação é usar os dados reais do processo. Isso pode estar na forma de registros de falhas ou mesmo processar dados de capacidade. Quando os dados reais de falha não estão disponíveis, a equipe deve estimar a frequência com que modelo de falha pode ocorrer.

Já para a severidade (S), é uma estimativa de tão grave que seria um efeito se uma determinada falha ocorresse. Em alguns casos, é claro o quão grave seria o problema, por causa da experiência passada. Em outros casos, é necessário estimar a severidade baseada no conhecimento e experiência dos membros da equipe.

Para a classificação de detecção (D), uma descrição o quão provável é detectar uma falha ou o efeito de uma falha. Isso é feito pela identificação dos con-

troles atuais que podem detectar uma falha ou efeito de falha. Se não houver controles atuais, a probabilidade de detecção será baixa e o item receberá uma alta classificação de 9 ou 10.

Resumo do Capítulo

Para a elaboração do presente capítulo foram pesquisados artigos utilizando-se os termos a seguir, seja de forma combinada ou isolada: *theory of constraints, critical chain, project management, multiproject, critical chain project management, project buffer, scheduling techniques, Resource Constrained Project Scheduling Problem – RCPSP, Resource Constrained Multi-Project Scheduling Problem (RCMPSP), heuristic based on priority rule* e *Monte Carlo Simulation*.

De forma geral, a evolução da análise e discussão sobre a determinação do tamanho do pulmão de projeto a partir das premissas do método **Critical Chain Project Management**, CCPM em gerenciamento de projetos pode ser resumida como aparece no gráfico da Figura 30 e sendo descrito no Quadro 19.



Figura 30. Evolução da determinação do Pulmão de Projeto (PP) na CCPM.

Autor: Elaboração do autor

Quadro 19 Evolução do CCPM ao longo do período de tempo.

Ordem	Período	Descrição do acontecimento
1	1984	Início da Teoria das Restrições- TOC (Goldratt).
2	1997	Utilização da TOC no Gerenciamento de Projeto (CCPM) – aplicação do dimensionamento de Pulmão de Tempo pelo Método “Corta e Cola” (C&PM) – Goldratt.
3	1998	Surgimento do Método RSEM (Newbold).
4	2000	Início de discussão científica da metodologia CCPM aplicado em Múltiplos Projetos: livro do Leach e vários artigos publicados em diversos periódicos.
5	2006	Dimensionamento do Pulmão de Tempo pela utilização de restrições de recuso (ART) e complexidade da rede (APD) (Tukel; Rom; Eksioglu, 2006).
6	2007	Método de RCPSP na utilização de CCPM em múltiplos projetos com solução da aplicação de heurística em programação de múltiplos projetos.
7	2008	Surgimento de trabalhos de solução de RCPSP com aplicação de técnicas de Algoritmos Genéticos , Fuzzy na determinação de Pulmão de Tempo de projetos.
8	2010	Aumento do número de publicações com a utilização da Simulação de Monte Carlo na determinação dos pulmões de tempo de projetos.
9	2015	Utilização da Simulação de Monte Carlo no apoio do Gerenciamento de Projetos pelo Pulmão de Tempo focado de resultado de ganho financeiro.

Fonte: Elaboração do autor

As Figuras 31 e 32 ilustram as distribuições das referências bibliográficas consultadas. Em termos numéricos, foram consultados 148 artigos internacionais, 8 nacionais e 17 livros, 7 teses, 4 dissertações e 3 consultas em sites.

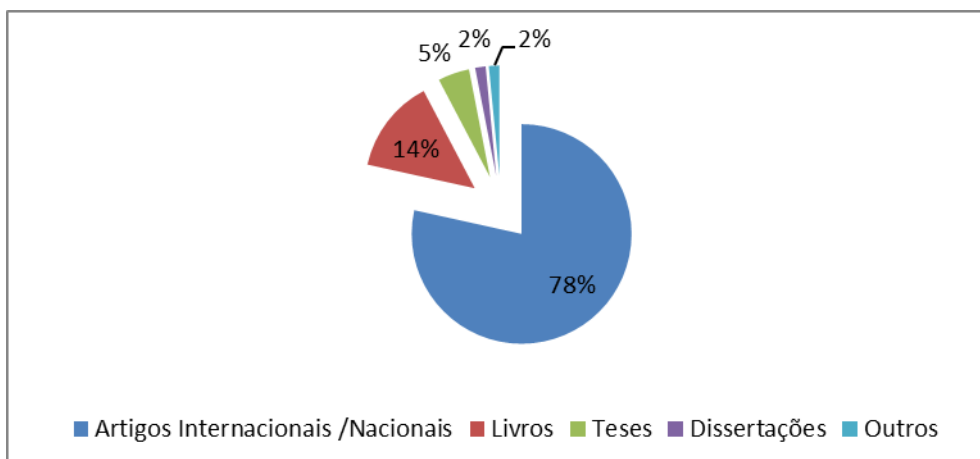


Figura 31. Distribuição das referências bibliográficas por categorias

Fonte: Dados da pesquisa

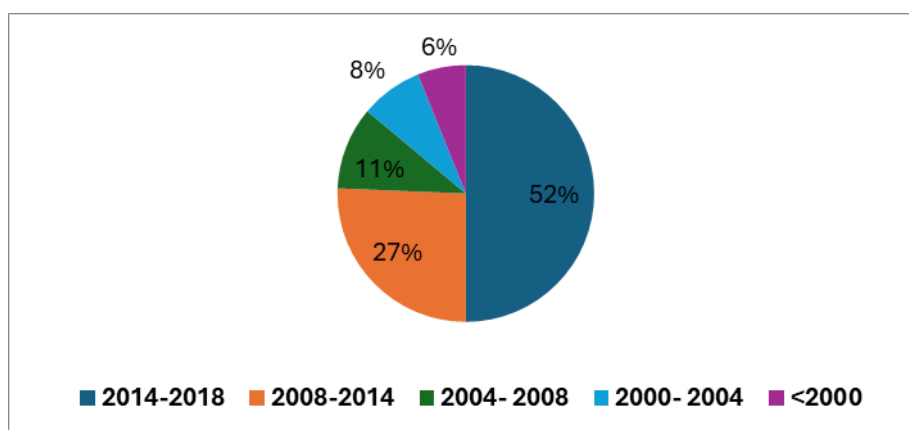


Figura 32. Distribuição das referências bibliográficas no período de 5 anos.

Fonte: Dados da pesquisa

CAPÍTULO 3

MÉTODO DE PESQUISA

Este tem o intuito de caracterizar a pesquisa e descrever os métodos e as técnicas do trabalho, bem como esclarecer as limitações do método.

Caracterizações do Trabalho

O desenvolvimento desta tese partiu da revisão bibliográfica apresentada no capítulo 2, onde se fez um delineamento conceitual sobre gerenciamento de projetos, relacionando-o à teoria das restrições. Nesse contexto, foram apresentados cinco fatores Quadro 16 que influenciam o tamanho do pulmão de tempo em contexto de múltiplos projetos, quais sejam: flexibilidade da atividade; complexidade da rede; tempos estimados nas atividades; disponibilidade / variação de recurso, incertezas e complexidade do projeto.

Delineamento da pesquisa

Quanto aos fins

De acordo com Marconi e Lakatos (2008), a investigação do conhecimento científico deve-se amparar em fatos. Para isso, utilizam-se metodologias para dar resposta aos problemas estudados, sendo contingente, na medida em que avalia a veracidade de suas hipóteses por meio da experimentação; visa o desenvolvimento da teoria por meio de sua extensão ou refinamento, ou a proposição de novas teorias, contribuindo para a geração do conhecimento.

Cervo, Bervian e Silva (2007) enfatizam que a elaboração de uma pesquisa científica pode ser estabelecida por um procedimento voltado para a solução de problemas e que seu objetivo consiste em encontrar respostas para perguntas, por apoio e comprovação por procedimentos científicos.

Cabe lembrar que a metodologia de pesquisa consiste na seleção do método de pesquisa a ser empregado no trabalho. Nesse sentido, Vergara (2009) classifica a pesquisa quanto aos fins a que se propõe e quanto aos meios que se utiliza. Os fins da pesquisa podem ser destacados pela forma: exploratórias, descritivas, explicativas, metodológica, aplicadas e intervencionistas. Quanto aos meios, uma pesquisa pode ser através de uma pesquisa de campo, laboratoriais, documentais, bibliográficos, experimentais, pesquisa-ação ou um estudo de caso.

Assim sendo, nessa seção é feito o enquadramento dessa pesquisa segundo alguns critérios: natureza; objetivos; forma de abordar o problema; e procedimentos da pesquisa utilizados (Figura 33) conforme as definições de Turrioni e Mello (2012).

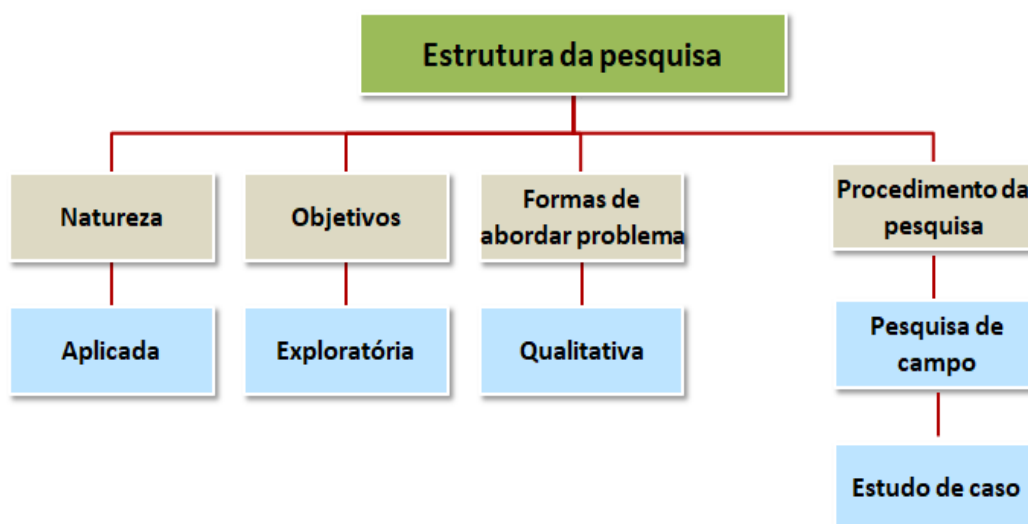


Figura 33. Representação Esquemática da Metodologia de Pesquisa Utilizada.

Fonte: Adpatado de Turrioni e Mello (2012).

Segundo Moresi (2003), a pesquisa quanto à sua natureza, classifica-se como básica ou aplicada, sendo a primeira caracterizada pela busca por novos conhecimentos e contribuições para o avanço da ciência, não havendo planos de aplicá-la à priori; enquanto a pesquisa aplicada busca a solução de problemas específicos. Tomando como base esse entendimento, ressalta-se que esta pesquisa é de natureza aplicada, uma vez que se pretende colaborar com o processo de gestão nas organizações, especificamente no que se refere ao gerenciamento de múltiplos projetos e à problemática implícita da gestão de recursos na programação de projetos, observando a complexidade de atendimento dos prazos estimados e simulando condições de incerteza por meio de pulmão de projetos.

O caráter aplicado desta pesquisa pode ser ilustrado pelo uso de pulmões de tempo pelo Método de Gerenciamento de Projetos pela Corrente Crítica - CCPM, por se tratar de um método que aborda de forma mais adequada à incerteza existente num ambiente de múltiplos projetos (Finocchio, 2009). Dessa forma, a pesquisa buscará a geração de conhecimentos para aplicação prática, fontes de informações qualitativas e também gerando resultados quantitativos por meio de questionários e entrevistas para a compreensão e explicação da dinâmica do problema.

Destaca-se que, segundo Cervo, Bervian e Silva (2007), na pesquisa aplicada, o pesquisador é estimulado pela necessidade de contribuir para fins práticos, quase que imediatos, buscando soluções para problemas realistas.

Em outra perspectiva, o enquadramento dessa tese tem uma abordagem descritiva em que a pesquisa descreve as características de determinada população ou fenômeno ou, então, estabelece correlações entre variáveis e, em seguida, identifica fatores que determinam ou que contribuem para a ocorrência dos fenômenos (Gil, 2010). Isto é conseguido, frequentemente, por meio de técnicas padronizadas de coleta de dados, tais como questionários e observação sistemática (Marconi; Lakatos, 2008).

Uma abordagem exploratória, por sua vez, segundo Gil (2010) dá-se em função de buscar “proporcionar maior esclarecimento de um determinado tema ou problema pouco explorado, com vistas a torná-lo mais explícito ou a constituir

um conjunto de hipóteses”.

Severino (2007) e Martins (2006) acrescentam que, a pesquisa exploratória, visa proporcionar maior familiaridade com o problema, no qual há pouco conhecimento acumulado e sistematizado. Por meio do levantamento de informações sobre o objeto estudado, por registro de dados e análise dos fenômenos é mapeado e delimitado o campo de trabalho. Esta é, normalmente, o passo inicial para quem não conhece ainda suficiente o campo que pretende abordar.

Diante disso, essa tese é considerada ainda como exploratória e também descritiva. Exploratória, pois busca agregar conhecimento tanto nos modelos de gestão de projeto pela corrente crítica, quanto pela investigação dos problemas presentes em ambientes de múltiplos projetos com dimensionamento de pulmão de projeto. Descritiva, por ser um processo que se baseia na análise de modelos mais ou menos adequados ao que se pretende investigar, não havendo, portanto, um modelo único ou exclusivo para se construir conhecimentos confiáveis sobre o tema; admitindo que exista pouco conhecimento acumulado e sistematizado sobre este tema.

Adicionalmente, esse trabalho é caracterizado pela bordagem qualitativa, que também geram resultados quantitativos. A abordagem qualitativa auxilia na construção do modelo desejado, dado que as variáveis relevantes da pesquisa são desconhecidas e/ou não existem modelos exatos ou teoria para o desenvolvimento da pesquisa (Martins, 2010). Além disso, resultados quantitativos dos questionários foram utilizados com o propósito de desenvolver um modelo mais sustentável, favorecendo a imparcialidade do pesquisador e dos possíveis envolvidos no processo.

Dessa forma, a estratégia de pesquisa permite que sejam observados aspectos temporais e contextuais do fenômeno em estudo, além de permitir a utilização de formas qualitativas de análise. Malhotra (2006) considera ainda que método de pesquisas qualitativas pode fornecer uma compreensão muito rica, que pode auxiliar na formulação de estratégias bem-sucedidas em sua aplicação.

Quanto ao Procedimento de Pesquisa

a) Pesquisa Bibliográfica

Esta fase consiste em uma pesquisa teórica que visa levantar alguns dos principais trabalhos pertinentes ao tema trabalhado. Assim, um levantamento bibliográfico foi conduzido com o propósito de identificar eventuais pesquisas que tenham explorado a CCPM e que pudessem contribuir para dimensionamento de pulmão de tempo em múltiplos projetos em uma aplicação.

b) Pesquisa de Campo

Tendo em vista a necessidade de uma estratégia de pesquisa, foram aplicados procedimentos próprios da técnica do método CCPM conhecida como pesquisa de campo, uma vez em que foram pesquisadas além das características dos profissionais, e das organizações, a utilização das práticas de gestão de projetos por meio de questionários enviados para a amostra deste estudo.

Vale ressaltar que, antes de iniciar uma pesquisa de campo, é importante que seja feita uma revisão bibliográfica, para permitir um bom desenvolvimento da base teórica a respeito do fenômeno a ser analisado, no intuito de compreender os procedimentos aplicados na investigação dos dados para melhor compreensão dos fatos (Gray, 2012).

É conveniente destacar que esta etapa foi aplicada na investigação dos fenômenos para melhor compreensão dos fatos e variáveis inerentes aos projetos estudados. Esse primeiro procedimento vislumbra uma abordagem qualitativa, definindo um conjunto de projetos cuja característica principal é o compartilhamento de recursos restritivos, consumidos ao mesmo tempo e formando, assim, um ambiente de múltiplos projetos. A estratégia adotada para a coleta de dados foi a entrevista com as pessoas diretamente envolvidas com o problema de cumprimento dos tempos estimados em projetos.

Essa fase foi primordial na execução desta pesquisa, pois proporcionou observação dos fatos ou dos fenômenos naturais, de acordo com a entrada de dados e os parâmetros estabelecidos apresentado no modelo. A pesquisa passou a ser representada por avaliação do andamento dos projetos (consumo de recurso, atividades, prazo de tempos estimados) sendo focada no gerenciamento dos pulmões de tempo no ambiente de múltiplos projetos.

c) Estudo de caso

Gonçalves (2001) afirma que o estudo de caso privilegia um caso particular, uma unidade significativa, considerada suficiente para análise de um fenômeno. Retrata a realidade específica e a multiplicidade de aspectos globais que tem intuito de colaborar na tomada de decisões sobre o problema estudado, indicando as possibilidades para sua modificação.

Para Moresi (2003), o estudo de caso é uma investigação detalhada de uma ou mais organizações, ou grupos dentro de uma organização, com vistas a prover uma análise do contexto e dos processos envolvidos no fenômeno.

Dessa forma, o estudo de caso foi aplicado como procedimento de pesquisa deste trabalho por ser uma estratégia de melhor compreensão dos fatos e também da identificação das variáveis inerentes ao ambiente de múltiplos projetos, pois permite melhores condições de avaliar o desempenho do modelo proposto.

Validação da Pesquisa

Para Gray (2012) é importante que em uma pesquisa se tenha a definição clara do método a ser utilizado no intuito de que o trabalho possa ter validade e confiabilidade para testar as hipóteses e verificar se as proposições teóricas são sustentadas pelas evidências. Neste contexto, para assegurar que o modelo proposto seja considerado válido e confiável deve estar apoiado em duas perspectivas de validade: interna e externa.

Sendo que, a validade interna está relacionada à questão da correlação (causa e efeito) que o pesquisador, a partir dos dados levantados, pode assim interpretá-los com a realidade da ocorrência dos fatos estudados; ou seja, que possa

registrar as informações no seu momento exato de acontecimento. Para esta pesquisa, a sua replicação pode ser difícil de acontecer, em virtude de que o objeto de estudo dos projetos possuir peculiaridades. Contudo, essa limitação só se verifica caso não seja dada importância ao processo de levantamento e acompanhamento dos projetos durante a fase de execução.

A validação externa significa a possibilidade de generalização a partir dos dados levantados para um contexto mais amplo. No modelo proposto, só acontece a generalização se o objeto de estudo tiver as variáveis mencionadas no Quadro 16 e o modelo proposto puder se adequar ao contexto específico.

Quanto aos critérios de confiabilidade na pesquisa, a forma de avaliação se dá pelo método da triangulação, que segundo Gray (2012), é um modo de institucionalização de perspectivas e métodos teóricos, buscando reduzir as inconsistências e contradições. A técnica de triangulação contribui tanto por meio de validade quanto de confiabilidade compondo um quadro mais evidente do fenômeno por meio da convergência, corroboração e correspondência de diferentes métodos.

Nesse tipo de avaliação, este modelo será comparado com modelos tradicionais de dimensionamento de pulmão de tempo que são Método “Corta e Cola” (C&PM) e Método “Raiz Quadrada do Erro” (RSEM), e a validação, por essa comparação torna uma estratégia de pesquisa de validação convergente dos dados relativos para o mesmo fenômeno.

Nessa forma de abordagem, esta pesquisa tem método misto de pesquisa em que a investigação se caracteriza como abordagem qualitativa trazendo resultados quantitativos conforme visto na Figura 34. Enquanto a primeira, que é a forma qualitativa, leva em consideração os elementos de pesquisa observados na revisão da literatura, verificados em um estudo de campo, na segunda os valores quantitativos são levantados pela proposta do modelo na qual é feita através de planilhas eletrônicas de dados coletados quanto às informações dos projetos, e também da aplicação de questionários e como resultado, os relatórios finais por meio do gerenciamento dos projetos (múltiplos projetos), pelo consumo de pulmão de tempo e também com encerramento dos projetos com aplicação de questionários para mensuração de Fatores Críticos de Sucesso (FCS).

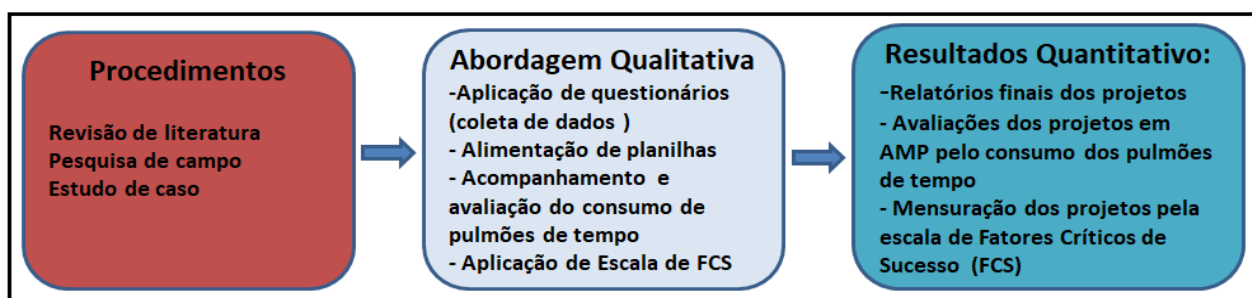


Figura 34. Modelo de método da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor

A estrutura da pesquisa apresenta dois aspectos que merecem ser evidenciados. O primeiro é o Estudo de Caso, que foi aplicado para melhor compreensão dos fatos e variáveis inerentes ao ambiente de múltiplos projetos. O segundo será por uma abordagem qualitativa que gera resultados quantitativos e foi aplicada no desenvolvimento e realização do levantamento das informações na

aplicação do modelo, além do controle e manipulação das variáveis pelo gerenciamento do tempo por meio da utilização da variação do tamanho de pulmão de projeto.

Definição das variáveis da pesquisa

Por ser esta uma pesquisa aplicada e para adequar à filosofia da metodologia aos procedimentos interno da empresa, foi dado um treinamento à equipe técnica visando à adoção da metodologia CCPM na dinâmica do projeto.

A necessidade de uso de variáveis (obtidas pelos atributos dos fatores de influência) no contexto do gerenciamento do pulmão de tempo em ambiente de múltiplos projetos foi verificada na dependência do tamanho de pulmão de tempo. Essa relação é esquematizada na Figura 35.



Figura 35. Relação de dependência das variáveis da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor

Assim, a variável dependente é o valor do tamanho do pulmão de tempo para o gerenciamento de múltiplos projetos pelo método CCPM, e será medida pelas entradas das variáveis independentes e avaliadas de forma quantitativa e qualitativa. Tais variáveis são detalhadas no Quadro 20.

Quadro 20. Variáveis de influências na determinação para Pulmão de Tempo em ambiente de Múltiplos Projetos do Modelo Proposto.

Variáveis	Identificação
Tempos nas atividades	Estas variáveis serão identificadas com os tempos em cada atividade de cada projeto através do especialista da empresa e/ou de dados histórico, obtendo um desvio padrão dos tempos atividade por meio de números aleatórios.
Recursos na atividade	Nesta, será identificado o consumo de recurso em cada atividade de cada projeto através de um levantamento de dados pelo especialista de projeto da empresa.
Flexibilidade na Atividade (i)	Valores estimados para Flexibilidade nas atividades (fa) sendo utilizados valores estabelecidos no Quadro 18.
Complexidade da atividade pela rede	Medido pelo parâmetro da complexidade da rede pelos aspectos do grau de dificuldade de execução da atividade pela relação de precedência, é extraído da Equação (8).
Atributo da variável de incerteza e complexidade do projeto	Uma escala de medida do atributo da incerteza e complexidade da natureza do projeto adotado pela proposta do trabalho de Pinto, Novaski e Anholon (2018) calculado nas Equações (9) e (10).

Fonte: Elaboração do autor

Existem ainda outros grupos de variáveis, as quais são obtidas por meio do estudo de campo e plotadas em planilhas de Excel, tais como: nivelamento dos recursos pelos métodos da regra de prioridade em projeto individual (MOF) e entre projetos (múltiplos projetos) (MAXTWK), identificação do recurso restritivo (pelo maior consumo do recurso na corrente crítica), construção da aplicação do corte na duração estimada pela técnica da FMEA e em lições aprendidas na fase de encerramentos dos projetos pela escala de mensuração dos Fatores Críticos de Sucesso de Projetos (FCS).

Universo e Amostra da Pesquisa

Malhotra (2010) refere-se a uma população como agregado ou soma de todos os elementos que compartilham algum conjunto de características comuns e que compreende o universo para o problema de pesquisa. Para o referido autor, uma amostra é uma representação de uma população menor para participação da pesquisa, que nesta tese será representada pela empresa que configura no segmento do setor de fabricação metalúrgica.

Como o escopo desta pesquisa abrangeu os projetos de engenharia do setor de Projetos, Construção e Montagem (PCM) formaria o universo para este problema de pesquisa. Porém, inicialmente, esta pesquisa foi delimitada para população-alvo definida para a realização da pesquisa de três tipos de projetos contratados. Dessa forma, a amostra foi considerada não probabilística do tipo por conveniência, pois “foi selecionada sem considerar a probabilidade, mas sim as características da pesquisa” (Sampieri; Collado; Lucio, 2013).

Convém ressaltar que a pesquisa foi delimitada para três projetos, com bases nas seguintes considerações:

- I. A aplicação da Metodologia CCPM deve inicialmente ser adotada em uma organização onde os processos de execução das atividades estejam de acordo com o que preconiza o método CCPM. A Figura 4.2 traz um mapa do fluxo de processo que acontece a implementação do CCPM na empresa em estudo, e que foi implementado deste do ano de 2017 pela equipe de engenharia e produção.
- II. A manufatura do produto dentro da empresa segue uma rotina de projeto como definido pelo Guia do PMBOK (2014), quais sejam inicialização, planejamento, execução e encerramento;
- III. Os projetos compartilham algum conjunto de características comuns, que neste caso são os tipos de recursos como é descrito pelo método CCPM;
- IV. Os problemas comuns encontrados nos aspectos do CCPM quanto ao gerenciamento de pulmão de tempo são gerenciados na garantia de atingir os prazos estimados de entrega dos projetos

Tomando como base essas considerações, a unidade de análise desta pesquisa pode ser classificada como pertencente ao nível micro em produção, e no nível macro como sendo orientada para projetos. Assim, o PMBOK (2014) define que cada projeto cria um produto, serviço ou resultado exclusivo. Contudo, organizações orientadas a projetos também podem ter um fluxo constante de projetos. Estes são geralmente concebidos para melhorar as operações de produção

e, como no presente caso, introduzir mudanças no processo pela metodologia CCPM e para melhoria dos produtos finais, aumentar a confiabilidade do produto e também a entrega aos clientes dentro do prazo prometido.

CAPÍTULO 4

DETALHAMENTO DA PROPOSTA DO TRABALHO

Introdução

Neste capítulo é apresentada a proposta de integração de ferramentas de gerenciamento de projeto e determinação do pulmão de tempo em um ambiente de múltiplos projetos pelo uso de corrente crítica

Para a aplicação do CCPM para gerenciamento de pulmão de tempo, que é a chave para o acompanhamento do desempenho em ambas as abordagens de projeto (individual e múltiplos projetos), contudo, deve-se observar que o nível de múltiplos projetos no gerenciamento de pulmão de tempo monitora o consumo de cada projeto.

As seguintes considerações foram levadas em conta na proposição do trabalho:

- Em ambientes de múltiplos projetos, a abordagem da cadeia crítica conecta todos os projetos identificando, em primeiro lugar, o recurso mais restritivo;
- Cada projeto é então programado ao lado do recurso restritivo, numa forma de maximizar a capacidade utilizável deste recurso;
- Em ambiente de múltiplos projetos, caracteriza dos projetos que competem para usar recursos comuns de um “pool” de recursos da organização. Estes projetos, muitas das vezes, têm grau de complexidade em relação às interdependências em recursos, tamanhos, prioridades e níveis de progresso da sua execução;
- O atributo da incerteza é inerente e inevitável aos processos de execução de projeto Kerzner (2011). Esta abordagem pela corrente crítica pretende lidar com as incertezas atribuídas ao projeto a fim de levantá-las para estimar a duração do projeto;
- A programação da corrente crítica pela CCPM em múltiplos projetos também trabalha com o comportamento negativo dos recursos humanos (Síndrome do estudante, Multitarefas e lei de Parkinson);
- Para o mecanismo do gerenciamento de pulmão de tempo, é possível determinar prioridades de projeto pelo consumo do pulmão de tempo e se concentrar em tarefas, e recursos críticos no melhor desempenho dos projetos;
- Mecanismos de controle pelo sistema de pulmão podem gerar um alerta mais cedo e é útil para um sistema de rastreamento das atividades que podem estar atrasadas. Através do monitoramento da taxa de consumo de pulmão pelo gráfico de controle, é possível ver o status atual do pro-

jeto e se ele pode ser concluído no prazo prometido (estimado). Caso esteja em uma zona intermediária (amarela) ou crítica (vermelha) pode-se preparar e realizar ações de recuperação para compensar, a taxa de consumo do pulmão e trazer a taxa de utilização de pulmão para a situação normal (zona verde).

As ferramentas a serem integradas são: EAP, redes PERT/CPM, heurística de nivelamento de recurso baseada na regra de prioridade, FCS, FMEA. Os pulmões a serem determinados são Pulmão de Projeto e Pulmão de Alimentação.

A Proposta

A Figura 36 apresenta o fluxo proposto que teve como base a visão de sistema apresentado no PMBOK (2014). O gerenciamento do tempo em sistemas de múltiplos projetos usando o método CCPM aparece em quatro etapas principais, sendo recomendável executar o fluxo na sequência indicada com a integração de ferramentas de gerenciamentos de projeto, tais como: Escopo de Projeto, EAP, redes PERT/CPM, Programação de Projeto (nivelamento e escalonamento), FCS, FMEA e uso do consumo do pulmão de tempo no controle e monitoramento dos projetos. O desenvolvimento da aplicação de cada uma das etapas é descrita com mais detalhe no Capítulo 5.

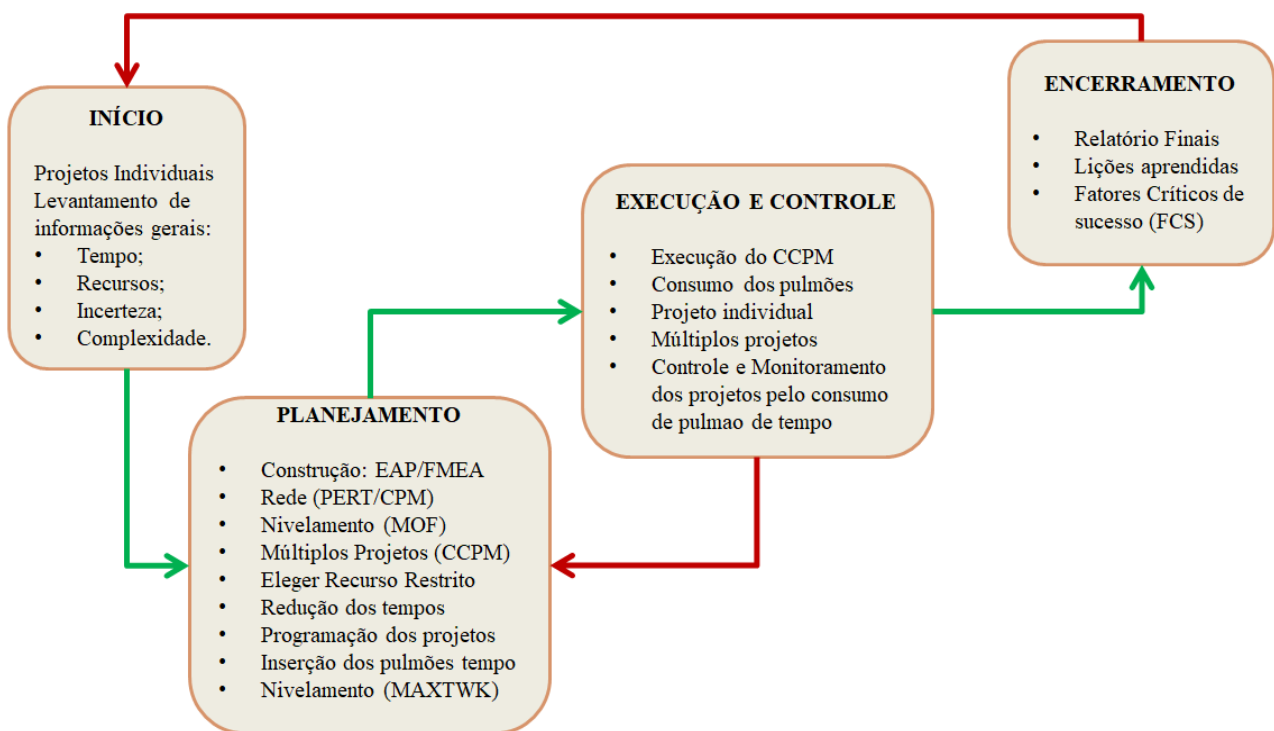


Figura 36. Fluxo geral proposto para Gerenciamento do Pulmão de Tempo para Múltiplos Projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Dessa forma, para a realização da proposta foi utilizado um conjunto de etapas e passos que devem ser adotados para realização da pesquisa. Por procedimento metodológico, entende-se um dispositivo ordenado, em que se estabelece um processo sistemático. E, por técnicas, tem-se a aplicação do plano metodológico e a forma especial de executar, conforme esquematizado na Figu-

ra 37 que traz as três etapas em que se desdobra este trabalho.

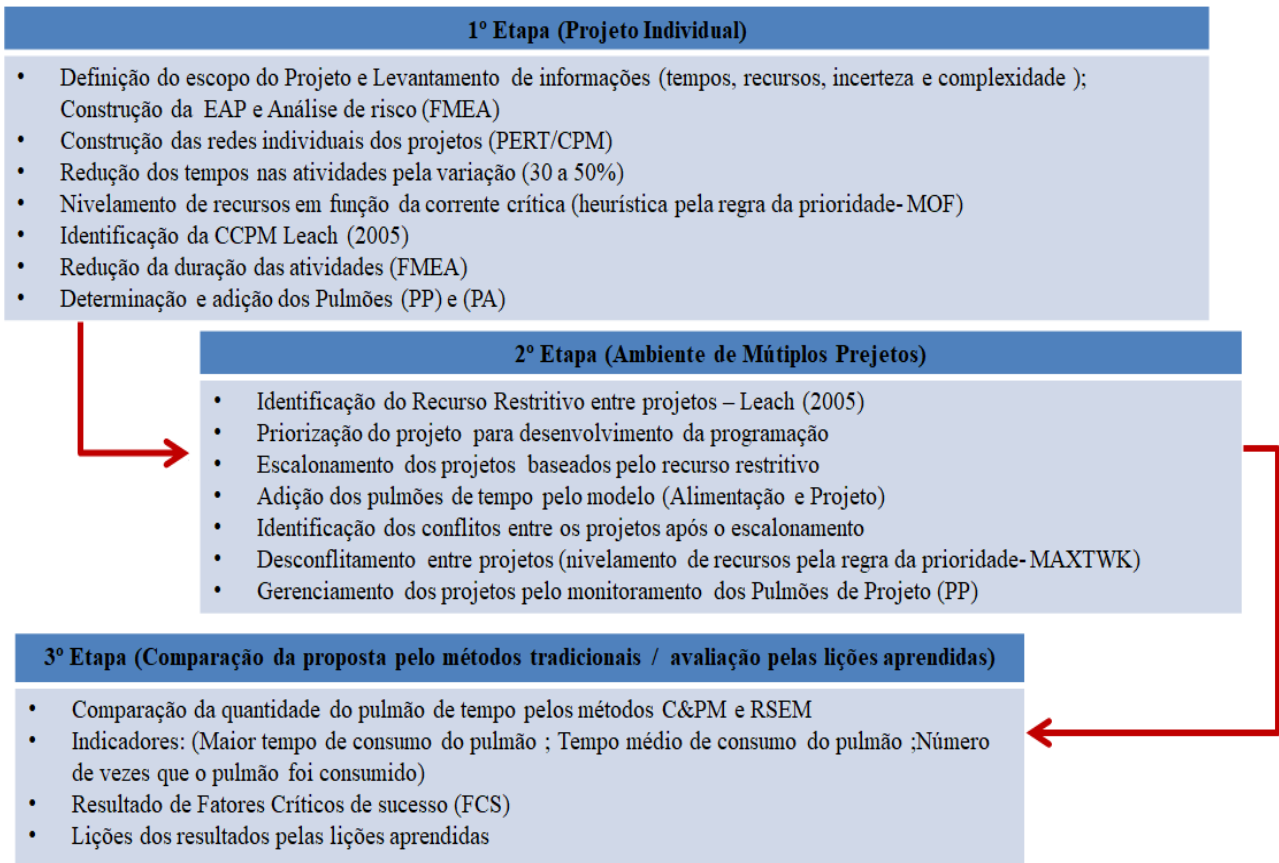


Figura 37. Passos do desdobramento da pesquisa.

Fonte: Elaboração do autor

Detalhamento do Fluxo Proposto

Primeira Etapa

Essa etapa contempla as fases para tratamento do projeto individual na execução do gerenciamento do projeto individual pela corrente crítica antes de se chegar à fase de múltiplos projetos. A sua sequência segue os passos da Figura 37 que tem seu desdobramento pelo gerenciamento da corrente crítica demonstrado na Figura 38.

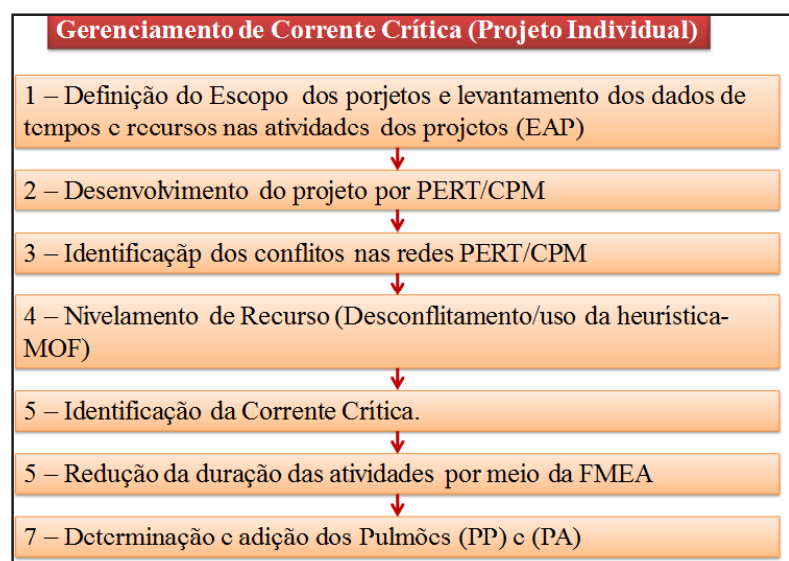


Figura 38. Passos para gerenciamento de projeto individual pela corrente crítica.

Fonte: Elaboração do autor

Levantamento dos dados de tempos e recursos nas atividades dos projetos

Nessa etapa inicial foi dada atenção ao planejamento dos projetos, reunindo os dados importantes para começo da pesquisa com a utilização de informações para definição clara das atividades envolvidas em cada projeto por meio de:

- **Escopo:** informações de tempos, recursos e suas respectivas necessidades para cada atividade;
- **EAP:** (Estrutura Analítica de Projeto), permitindo ao Gerente do Projeto e às partes interessadas terem uma visão organizada, estruturada e clara de todas as entregas do Projeto.
- **FMEA (Análise de Modos de Falhas e Efeitos):** análise de riscos nas atividades pelo Índice de Severidade x Índice de Ocorrência que apoia a decisão de corte dos tempos nas atividades e garante uma abordagem sistemática e realista nos projetos.
- **Atributos da complexidade e incerteza:** mensurada pela escala de Pinto, Novaski e Anholon (2018) com questionários estruturados pelas variáveis apresentadas no Quadro 21.

Quadro 21. Variáveis dos atributos Incerteza / Complexidade para análise de projetos.

Incerteza dos projetos	Complexidade dos projetos
Duração do projeto	Tamanho relativo do projeto
Marcos dos projetos são cumpridos	Tipo de inovação (tecnológica ou organizacional)
Conhecimento do gerente de projetos referente ao tipo de projeto que está gerenciando	Porte da organização
Conclusão do projeto dentro do cronograma	Localização dos membros da equipe de projetos
Conclusão do projeto dentro do orçamento	Tipo de projeto
Mudanças no escopo do projeto	Número de departamentos da organização envolvidos no projeto
Existência de atividades de planejamento e controle do projeto	Nível de impacto das mudanças causadas pelo projeto
Volume de investimento para execução do projeto	Número de interessados no projeto (stakeholders)
Existência de documentação do projeto	Tipo de estrutura do projeto
Riscos do projeto	Pressão por prazos

Fonte: Adaptado do modelo de Pinto, Novaski e Anholon (2018).

Essa escala de mensuração está apoiada em 14 perguntas que são dirigidas ao gestor de projeto e são ponderadas pelos pesos para os níveis de impacto e de importância da variável no atributo. A escala é dimensionada para uma pontuação mínima de 10, e a máxima de 250 pontos, onde, o atributo da incerteza/complexidade é dado pela multiplicação do nível de impacto pelo nível da importância, que são levantados nos questionários (Anexo B). As variáveis para impacto e importância têm pesos variando entre 1 e 5.

As Equações (9) e (10) representam respectivamente o valor do atributo da variável da incerteza e valor do atributo da variável da complexidade da natureza do projeto, que foram propostas no modelo de Pinto, Novaski e Anholon (2018).

Ressalta-se que estas informações são levantadas com apoio do especialista de projetos da empresa. Após serem tabuladas em planilhas, dá-se início à construção do cronograma da rede PERT/CPM de cada projeto; e caso existam restrições (conflitos) de recursos, isso é resolvido através de heurística, que usa regra da prioridade MOF para fazer o desconflitamento da rede. Além de segui-la, deve-se utilizar conceitos da corrente crítica que obedece às restrições de recursos e as regras de precedências entre as atividades.

No Quadro 22 é apresentado um modelo de entrada para planilha eletrônica onde os dados levantados de um projeto têm as atividades identificadas com parâmetros úteis para elaboração da rede PERT/CPM.

Quadro 22. Parâmetros de entrada de dados na construção de rede de projeto.

A_{ij}	A_{pred}	tp	tm	to	d	imc	imt	tmc	tmt	F	r	Or

Fonte: Elaboração do autor

Onde:

A_{ij} : Projeto (j) na atividade (i);

A_{pred} : Atividade Precedente;

tp: tempo pessimista;

tm: tempo mais provável;

to: tempo otimista;

d: duração da atividade;

imc: início mais cedo;

imt: início mais tarde;

tmc: término mais cedo;

tmt: término mais tarde;

F: folga;

r: tipo de recurso usado na atividade i;

qr: quantidade de recurso utilizado.

Para os projetos do setor metalúrgico, serão estudados como natureza única, mas com algumas atividades semelhantes que já têm sido desenvolvidas em outros projetos, porém com dimensões diferentes. O tipo de recurso levantado é o tempo de máquina (horas) para as atividades.

Construção da rede de projeto (PERT/CPM)

A partir dos dados de entrada levantados por meio de um modelo do Qua-

dro 22, desenvolve-se uma simulação da construção de uma rede de projeto aplicando a técnica de PERT/CPM, já comentada nas seções 2.2.2 e 2.2.3. No exemplo da Figura 39, o caminho crítico está nas atividades (B₁, B₂, B₃, B₄, B₅, B₁₂ e B₁₃) em que as folgas nas atividades são iguais à zero.

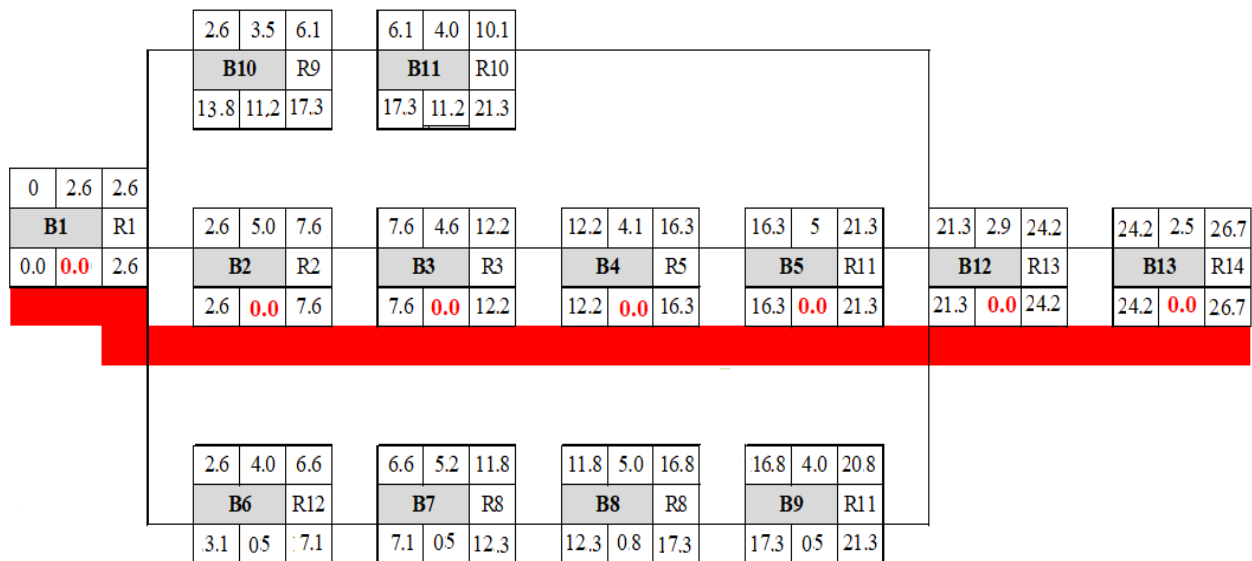


Figura 39. Exemplo de uma simulação da solução PERT/CPM aplicado no projeto B.

Autor: Elaboração do autor

Redução da duração das atividades na eliminação das margens de segurança

Geralmente, as margens de segurança variam de acordo com a percepção gerencial. Atribuir-se-á um plano de corte que pode variar entre 33% a 50%, conforme Raz, Barnes e Dvir (2004), nos tempos de execução das atividades e que neste trabalho será atribuído com o apoio da equipe de projeto, por meio do uso da técnica FMEA. Este grupo levantará dados para determinar os **índices de severidade (S)** e **ocorrência (O)** não sendo aplicada a parte da detecção (D). Isso ocorre uma vez que a detecção do modo de falhas não é oportuna para o momento de avaliação da atividade. Além disso, é uma ação reativa ao risco que pode ocorrer (efeito) e os demais índices são proativos na estimativa de margem de tempo.

Para utilização da ferramenta FMEA, foram utilizados os valores dos índices de severidade e ocorrência vistos nos Quadros 23 e 24. O fator de risco da atividade atrasar o projeto (FR_{atraso}) é dada pela Equação (14).

$$FR_{atraso} = (S) \times (O) \quad (14)$$

Para o fator de ocorrência, o modo de falha é mais impactante no final do projeto, em que as atividades, no final da rede, apresentam maior número de atividades precedentes, o que torna mais provável um atraso. A mensuração pode ser dada pela aplicação de uma escala pela variando de 1 a 10, conforme o Quadro 23.

Quadro 23. Índice da probabilidade da ocorrência

Índice	Ocorrência	Proporção
1	Remota	1:1.000.000
2	Pequena	1:20.000
3		1:4.000
4		1:1.000
5	Moderada	1:400
6		1:80
7		1:40
8	Alta	1:20
9		1:8
10	Muito Alta	1:2

Fonte: Adaptado de Guo, Tian e Zeng (2010).

Para a severidade do modo de falha, por sua vez, é estimada pela gravidade do risco de ocorrer “efeito”. Esta gravidade de risco é expressa em uma escala de 1 a 10, mostrada no Quadro 24 pela ordem de prioridade.

Quadro 24. Índice de severidade do efeito.

Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O impacto no projeto pode ser negligenciado
2	Pequena	O impacto é muito pequeno
3		
4		
5	Moderada	Afetar ligeiramente o cronograma ou desempenho (atividade na corrente não crítica)
6		
7		
8	Alta	Afeta o cronograma ou desempenho do projeto (atividade na corrente crítica)
9		
10	Muito alta	Afetar gravemente o projeto podendo ser impactado o projeto (início da rede e sendo uma atividade na corrente crítica)

Fonte: Adaptado de Guo, Tian e Zeng (2010).

Após o cálculo do valor FR_{atraso} para cada atividade do projeto, é feito o corte de tempo na atividade. Quando esta estiver mais próxima do início do projeto é aplicado um corte maior e quando estiver mais próximo do final será aplicado um corte menor, e, caso a atividade pertença à corrente crítica, ela terá um grau de severidade mais impactante. O percentual de corte é dado pela interpolação linear entre FR_{atraso} (0 a 100) e a variação de corte de 33% a 50 %.

O valor de corte da duração do tempo na atividade do projeto é baseado na análise da FMEA, em que é atribuída uma variação de corte onde o maior valor é 50% e o menor valor é 33%. Neste caso, será utilizada a Equação (15), que o valor determinado (**dci**) representa a duração da atividade após corte em unidade de tempo, onde (**di**) é a duração da atividade **i** e (**ci**) valor percentual do corte na duração da atividade para alocar no pulmão mpo.

$$dci = di \times ci$$

(15)

Execução do Escalonamento (nivelamento dos recursos nas atividades)

Para este parâmetro usar-se-á uma adaptação da heurística proposta por Walker (2001) *apud* Cox e Schleier (2013) em que o escalonamento visa ao desconflitamento prévio do projeto individual entre atividades que usam o mesmo recurso.

Todas as atividades do projeto com o mesmo recurso conflitante são indicadas com setas tracejadas (*dummy*) para sinalizar prioridade de uso de recurso, identificado na etapa I conforme a Figura 40.

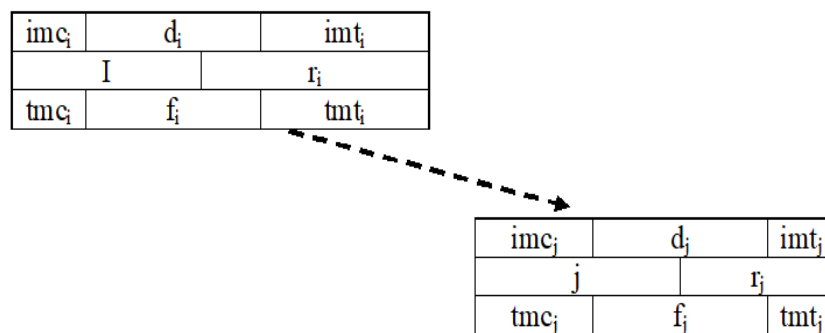


Figura 40. Setas tracejadas para indicar conflitamento de recurso.

Fonte: Elaboração do autor

As setas tracejadas são representações gráficas que indicam a mudança do curso do caminho crítico para informar a utilização de um mesmo recurso em uma atividade, dando lugar à Corrente Crítica. A atividade (i) da Figura 40 representa uma atividade com folga total zero, estabelecida pelo caminho crítico e calculado na etapa 2. Nesse caso, a atividade *i* adquire prioridade em relação à atividade *j*, em função de uma heurística de decisão.

A representação matemática da heurística, vista na Figura 41, é dada pelas setas tracejadas, onde é configurada por uma matriz atividade-período, em que **i** representa a atividade, e **t** a janela de tempo (intervalo) para utilização do recurso em um horizonte de tempo T, em unidades de tempo *t*.

Dada uma duração *d_i*, dá-se que cada período *t* representa uma unidade da duração. Sendo assim, demonstra-se *t=1* para o uso da atividade *i*, e 0, caso contrário. O Quadro 25 ilustra o uso desta representação para um projeto com 5 atividades e executado em 7 dias.

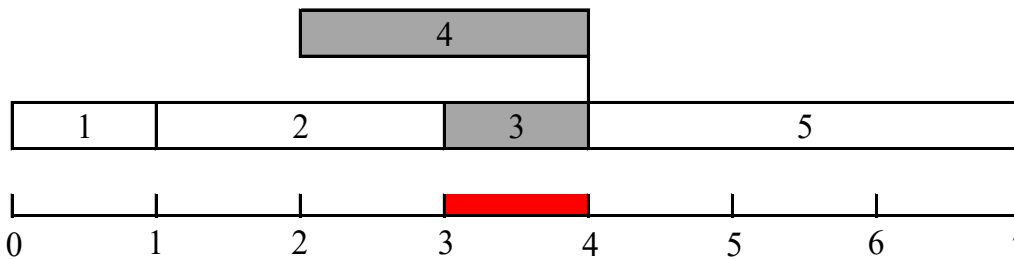
O conflito é identificado pela soma de *p*, que deve ser verificado a partir dos dados de utilização de recurso. No exemplo, o Quadro 26 representam as atividades na janela 2-3 e 3-4 apresentam em que a soma de *p* (recurso utilizado) igual a 2. Assim, identifica-se inicialmente uma possibilidade de conflito. Para certificação do conflito, faz-se uma verificação aos dados obtidos no cronograma planejado, ou seja, a utilização de recursos de cada atividade.

Quadro 25. Identificação de conflito pelo consumo de recurso na atividade.

i/t	0-1	1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7 (dias)
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	1	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	0
5	0	0	0	0	1	1	1
Soma de p	1	1	2	2	1	1	1

Fonte: Elaboração do autor

Dessa forma, pode-se entender que a soma de p igual ou maior que 2, significa a existência de duas ou mais atividades, utilizando o mesmo recurso na mesma janela de tempo que pode ser melhor representado na ilustração da Figura 41.

**Figura 41.** Identificação de conflito de atividades entre atividades em janelas de tempo.

Fonte: Elaboração do autor

Os passos seguintes são:

- I. Calcular o tempo de início mais cedo e início mais tarde de todas as atividades. As setas fantasmas são consideradas no fluxo de cálculo, ou seja, se a soma de t for maior ou igual a 2, deve-se considerar **imcj=imti** a atividade conflitante parte da Corrente Crítica. Por sua vez, as atividades sucessoras de todas aquelas com conflito devem ter seus **imc** e **imt** recalculados. Dessa forma, as atividades em conflito são empurradas no tempo mais tarde, conforme o trabalho desenvolvido por Cohen, Mandelbaum e Shtub (2004);
- II. Selecionar a última atividade do projeto e iguale o tempo de término mais tarde para o tempo de término mais cedo ($tmt = tmc$);
- III. Calcular o Tempo de Início Mais Tarde (IMC), Término Mais Tarde (TMT) de todas as atividades.

Identificação da corrente crítica do projeto

A corrente crítica é determinada pela sequência de atividades mais longa do projeto que considera aspectos de dependência das atividades e restrição de recursos. Neste trabalho, adotar-se-á a metodologia de Leach (2005).

A partir de uma análise de conflitos do exemplo hipotético da Figura 4.4, em que a quantidade de recurso disponível é de 8 horas por dia, observa-se que as

atividades $\{B_5 \text{ e } B_9\}$ têm restrições do recurso do tipo R11, pois a janela de tempo nas duas atividades possibilita um consumo diário de 9 unidades de período de tempo e, nesse caso, ocasiona uma demanda de consumo de recurso maior que a oferta (8 unidades de período por dia).

Para a efetivação do desconflitamento, utiliza-se a heurística proposta neste trabalho, respeitando as dependências entre as atividades e suas restrições de recursos. Na Figura 42, o (IMT) da atividade (B_5) foi deslocado para (IMC) da atividade (B_9), como é indicada pela seta tracejada, o que faz com que sejam recalculados os tempos da rede. Dessa forma, o maior caminho passa a ser ($B_1, B_2, B_3, B_4, B_5, B_9, B_{12}$ e B_{13}), somando um valor de 30,7 unidades de tempo, o que ultrapassa do valor da rede PERT/CPM que foi de 26,7 und/t.

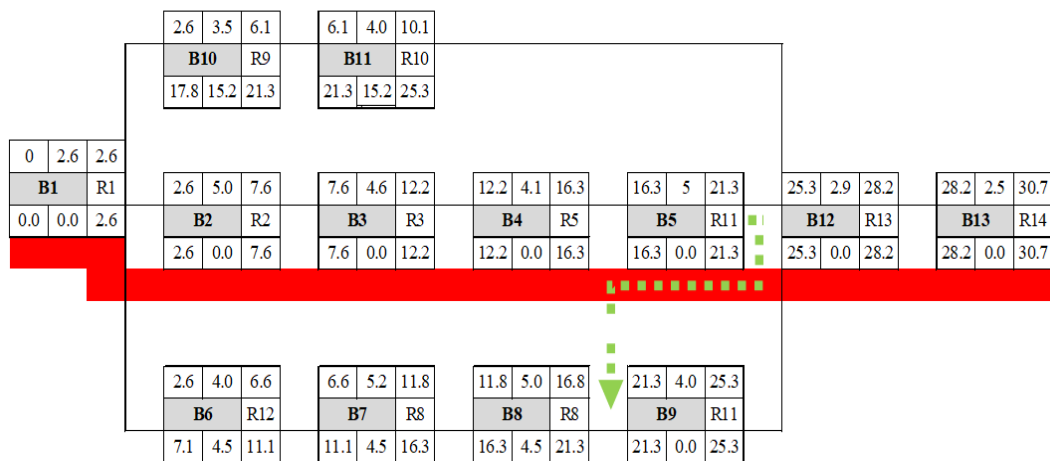


Figura 42. Identificação da Corrente Crítica no Projeto Individual.

Fonte: Elaboração do autor

Determinação o Pulmão de Tempo

O procedimento para o dimensionamento de pulmões de tempo utilizado neste trabalho considera a Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM), proposto por Newbold (1998) com ajustes, levando-se as variáveis de influência para a determinação do pulmão. Estas variáveis são denominadas pela sigla FAPT (Fator de Adequação do Pulmão de Tempo) apresentadas no Quadro 26.

Quadro 26 Variáveis de influência no modelo proposto do Pulmão de Tempo.

Fator de Influência	*FAPT
Flexibilidade da atividade	(1+fa)
Complexidade da rede	Cri
Tempos estimados nas atividades	σ_i
Disponibilidade / variação de recurso	(1+Rti)
Incertezas e Complexidade do projeto	Kip

Fonte: Elaboração do autor

O diferencial do método proposto para dimensionamento do Pulmão de Tempo (PT) está no Fator de Adequação do Pulmão de Tempo (FAPT) que é calculado por meio da aplicação das condições de incertezas e complexidade do

projeto (Kip), complexidade da rede (Cri), disponibilidade/variação de recurso na atividade ($1+Rti$), flexibilidade da atividade ($1+fa$) e os tempos estimados nas atividades (σ_i) (desvio padrão na atividade), em que é calculado em função dos valores extraídos da rede de projeto em duas situações:

Nas atividades que estiverem na corrente crítica, os valores são calculados pela Equação (16), que determina o tamanho Pulmão de Tempo do Projeto (i) $PT(pp)_i$ para alocação do seu valor no final da rede do projeto.

$$PT(pp)_i = Kip \times Cri \times \sqrt{\sum_{i=1}^n [(1 + Rti)(1 + fa_i)\sigma_i]^2} \quad (16)$$

Nas atividades que estiverem fora da corrente crítica o valor será dimensionado pela Equação (17) para Pulmão de Tempo de Alimentação $PT(pa)_i$ para alocação do seu valor no final do caminho da corrente não crítica.

$$PT(pa)_i = Kip \times Cri \times \sqrt{\sum_{i=1}^n [(1 + Rti)(1 + fa_i)\sigma_i]^2} \quad (17)$$

No trabalho proposto, as parcelas ($1+Rti$) e ($1+fa$) servem como ajuste de ponderação para os tempos estimados do valor do desvio padrão, onde cada tempo de atividade está condicionado à realidade do projeto. Os fatores de ajuste expressam, respectivamente, o consumo de recurso no tempo programado e a flexibilidade da atividade de iniciar antecipadamente no projeto.

Dessa forma, acredita-se que essas ponderações são relevantes para dimensionamento dos pulmões de tempo, pois a expressão ($1+Rti$) leva em consideração a escassez de recurso no tempo de consumo da atividade programada e representa um fator de incerteza associado à disponibilidade de recursos no tempo programado. Ela também mede quão acessível é um recurso para uma determinada atividade, dada as demandas simultâneas para este recurso por outras atividades na mesma janela de tempo e em que é calculado pela Equação (7).

Já ($1+fa$) é um termo que possibilita uma ponderação para tamanho do pulmão de tempo que indica a possibilidade da atividade ser concluída no tempo menor que o programado. No entanto, o consumo do pulmão de tempo é dado como uma variável de influência na execução do projeto pelo impacto da flutuação total dos tempos nas atividades.

A Figura 43 apresenta esta dinâmica, sendo a atividade (A) predecessora da atividade (B), implica que o início do tempo da programação da atividade (B) depende do término da atividade (A), que neste caso é o tempo ($T1$). Como a atividade (A) finaliza mais cedo em ($T1'$) a atividade (B) inicia em seguida, o que mostra que a atividade (A) teve uma flexibilidade $F(a)$ de terminar mais cedo e obtém um ganho de tempo ($T1-T1'$) na relação de precedência de atividade correspondente no caminho (A-B).

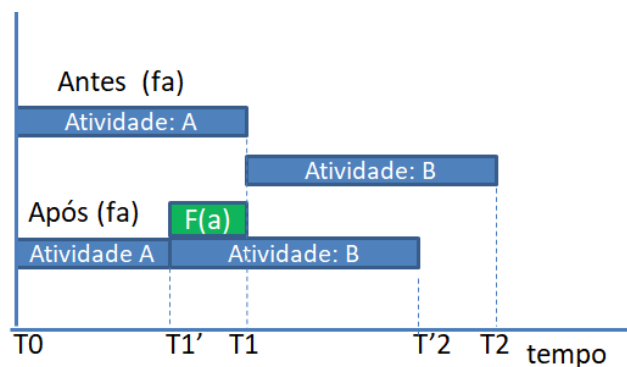


Figura 43. Ganho de tempo com Flexibilidade na Atividade.

Fonte: Elaboração do autor

O valor atribuído à $f(a)$ é definido por uma escala de flexibilidade pelo fator do tempo de início baseado pela análise da complexidade da atividade do projeto. Tais valores foram estimados pela ponderação como critério para cada atividade pela sua posição da rede do projeto.

Tempos estimados nas atividades

Para o cálculo do desvio padrão da atividade, nesta tese, foram adotadas as durações estimadas (pessimista e otimista) atribuídas pelo especialista, de forma que o nível de incerteza do tempo de duração é assumido segundo uma distribuição triangular, como é destacado pelos trabalhos de (Yu; Xu; Hu, 2013; Ma, Guofeng *et al.*, 2014).

Quanto ao (Cri), será levantado para variável um fator de complexidade julgado pelo especialista, e o grau da densidade da rede de projeto pela Equação (2.8), que tem uma relação de peso pela posição da atividade na rede. A análise é dada pelo julgamento, no qual para a atividade que estiver mais próxima do final do projeto será atribuída maior incerteza à sua conclusão, justificado pelo fator de dependências das atividades predecessoras e caso esteja mais próxima do início do projeto é menor o valor de incerteza para finalizações, pois a sua dependência de predecessoras é menor.

Para (Kip), é designado um fator de ajuste para natureza do projeto, pois cada projeto tem sua peculiaridade quanto à natureza de execução, dadas como ponderação para os atributos das variáveis de complexidade e incerteza do projeto, e traduzido pela Equação 2.11. A grandeza é adimensional, e as entradas das variáveis são encontradas nos questionários (Anexo B).

Desconflitamento de atividade pelo algoritmo de uma heurística

Seja através do exemplo hipotético, ilustrado na Figura 44, em que as atividades consomem certo tipo de recurso que é representada pela cor, de forma que se podem observar os projetos individualmente para levantamento de conflito entre as atividades. No projeto A tem um conflito entre atividades $\{(A_4) (A_5)\}$, no projeto B tem um conflito entre as atividades $\{(B_{10}) (B_{11})\}$, e projeto C não há conflito.

A partir do escalonamento dos três projetos (programação de múltiplos projetos), os números de conflitos já apresentam uma quantidade maior. Entre os projetos A e B tem dois conflitos $\{(A_{10}) (B_2)\}$, $\{(A_{11}) (B_5)\}$, entre os projetos B e C têm nove conflitos $\{(B_1) (C_1)\}$, $\{(B_2) (C_2)\}$, $\{(B_3) (C_4)\}$, $\{(B_4) (C_3)\}$, $\{(B_7) (C_5)\}$, $\{(B_5) (C_6)\}$, $\{(B_9) (C_8)\}$, $\{(B_{10}) (C_{10})\}$, $\{(B_6) (C_7)\}$ e entre os três projetos (A, B, C) têm dois conflitos $\{(A_{10}) (B_2) (C_2)\}$ e $\{(A_{11}) (B_5) (C_6)\}$.

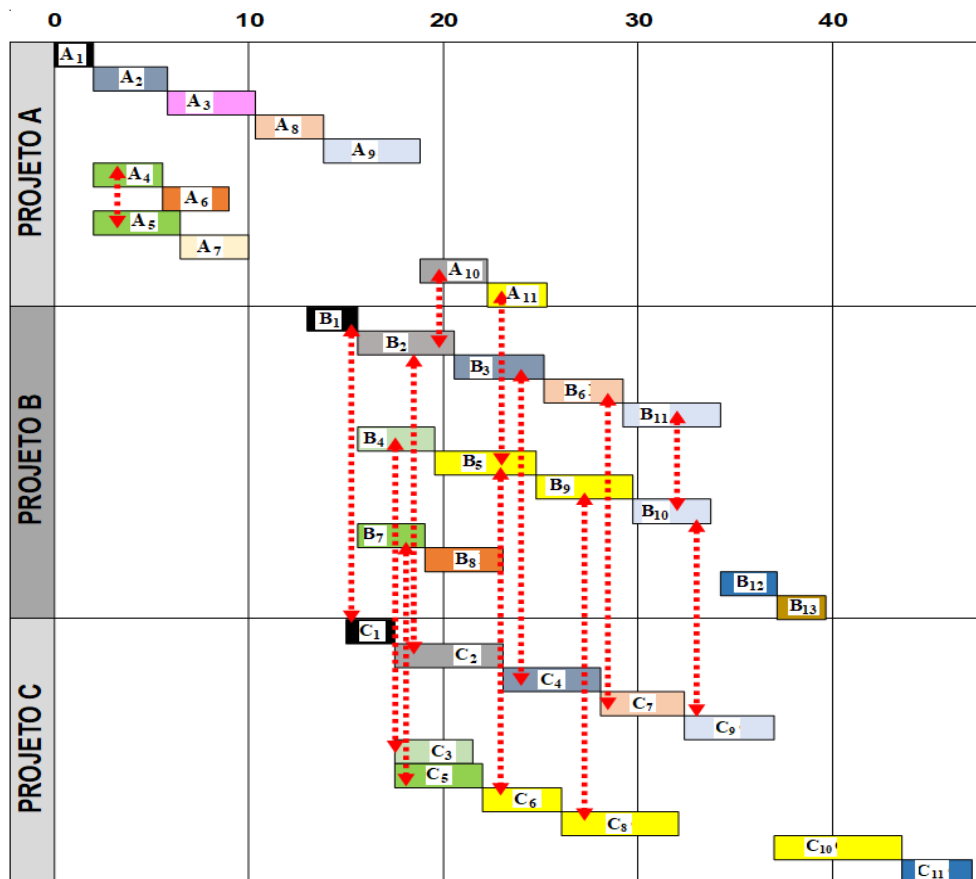


Figura 44. Identificação de conflitos no projeto e entre projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Em seguida, com a adição dos pulmões de projetos, é possível que as atividades se desloquem e encontrem conflito em paralelo com outras atividades. Esse problema pode ser representado pelo seguinte modelo observado pela Figura 45.

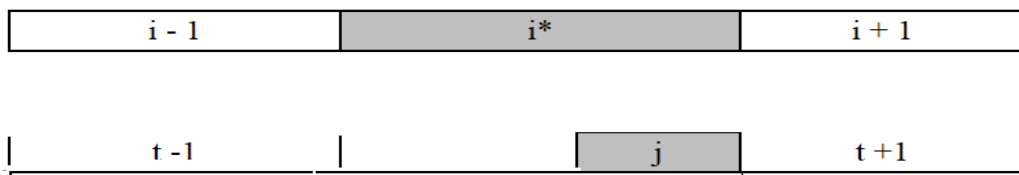


Figura 45. Conflitamento de recurso de uma atividade i priorizada com uma j conflitante.

Fonte: Elaboração do autor

i^* : Atividade priorizada - corrente crítica ou regra de prioridade

j : Atividade em conflito com i^*

$t-1$: Tempo disponível antes de j

$t+1$: Tempo disponível após j

A atividade priorizada i^* em um projeto individual significa que ela está na corrente crítica, e a atividade que conflita com esta possui tempo para trás e para frente, os quais podem ser alocados, dependendo da prioridade da movimentação. Para este modelo, segue-se a abordagem sugerida por Blackstone, Cox e Schleier (2009), os quais mostram a importância de priorizar a movimentação

para trás com adição dos pulmões de tempo.

O processo de desconflitamento de recurso na atividade dentro do projeto individual é dado pela heurística MOF em que a regra de decisão é programar a atividade com a operação mais longa na programação, conforme Browning e Yassine (2010), que seguem os procedimentos do algoritmo (Figura 46) para escolha da atividade no atendimento da regra de prioridade.

A aplicação da primeira parte da heurística nas etapas (1, 2 e 3) do fluxo proposto é estabelecida com o intuito de obter a estrutura dos projetos e identificar os possíveis conflitos inerentes a cada um. Cabe destacar que a aplicação é simultânea para cada projeto individual, no entanto, o resultado não interfere em um ou outro.

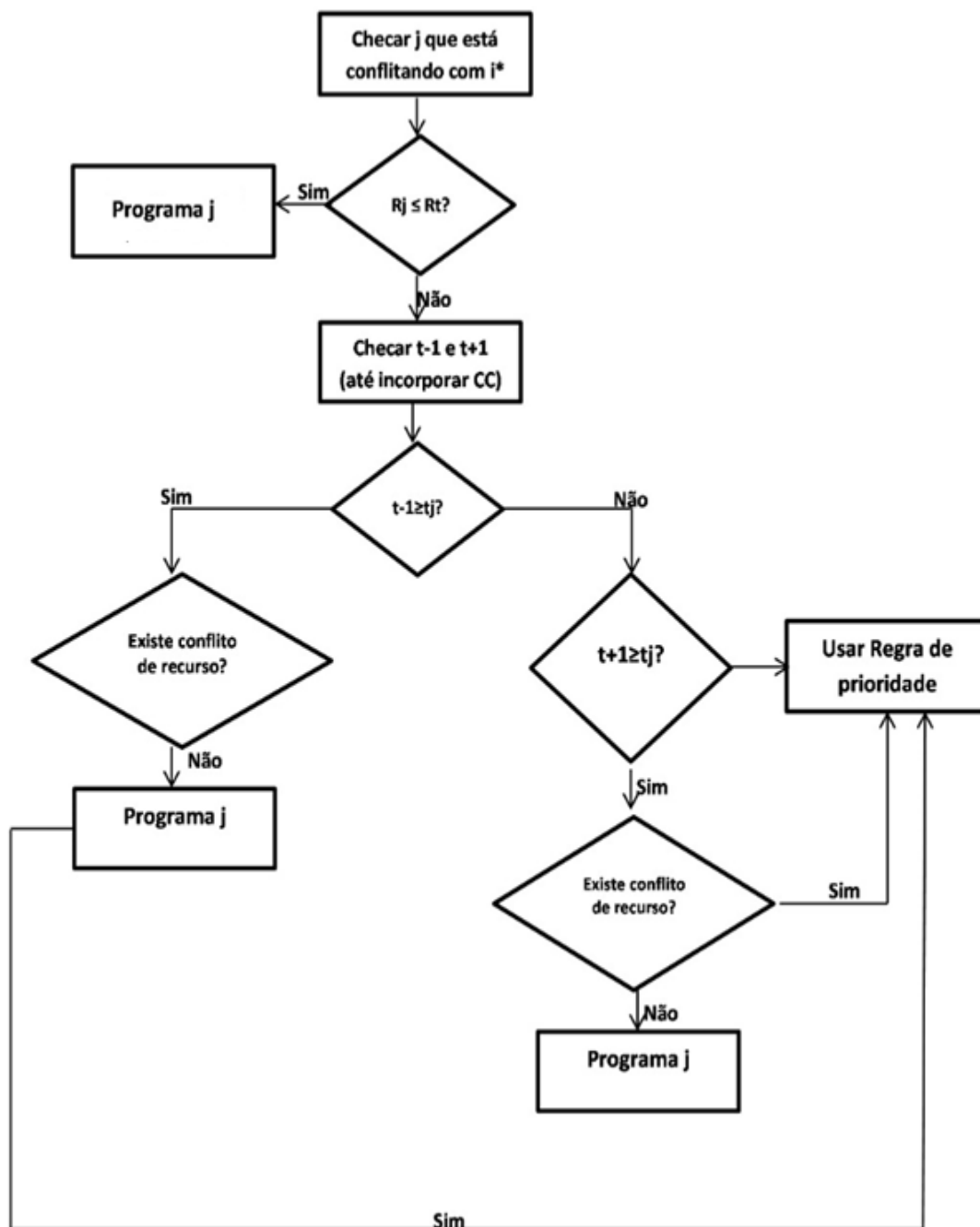


Figura 46. Algoritmo para desconflitar atividades com mesmo recurso em ambientes de Projeto Individual ou Múltiplos Projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Após fazer a programação final de cada projeto individualmente, deve-se analisar a entrada da programação para um ambiente de múltiplos projetos, que inicialmente deve eleger o recurso crítico baseado na Teoria das Restrições.

Segunda Etapa

Nesta segunda etapa da pesquisa, inicia-se o ambiente de múltiplos projetos seguindo os passos da Figura 47, onde se observa a necessidade de se iniciar pela identificação do recurso restritivo, pois é este que restringe o sistema e deve orientar o rumo dos projetos, a fim de ter melhor desempenho. Neste trabalho ser considerado o procedimento sugerido por Leach (2005) na sequência de um algoritmo em ambiente de múltiplos projetos.

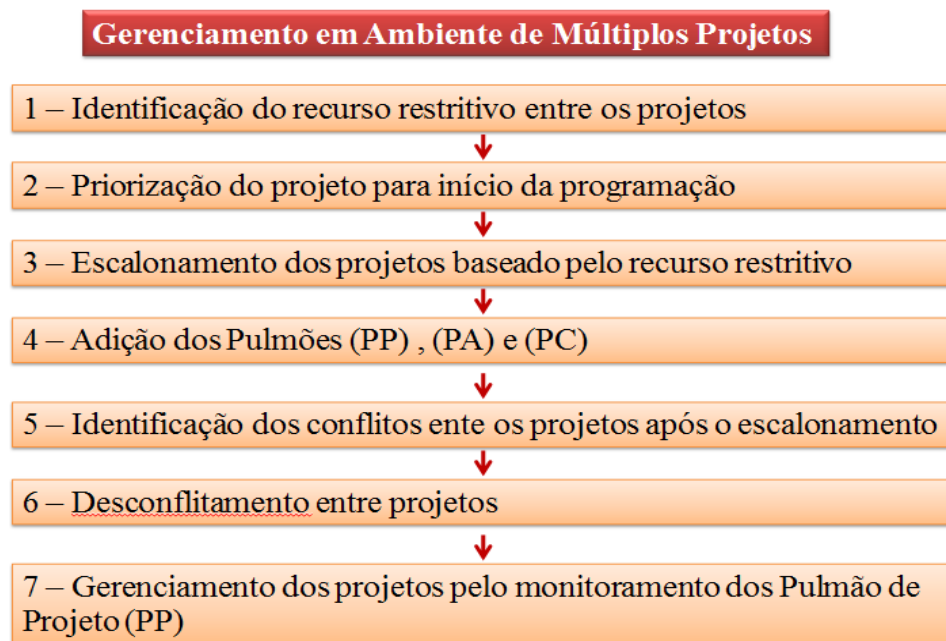


Figura 47. Algoritmo para Gerenciamento em ambiente de Múltiplos Projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Identificação do Recurso Crítico (RC)

Leach (2005) sugere a identificação desse recurso pela maior soma da duração das atividades na corrente crítica no cronograma gerado para cada projeto, como pode ser visto na Equação (18).

$$RC = \max \sum t_{ijk}.x_i \quad (18)$$

A variável t_{ijk} representa o tempo de duração da atividade i com utilização do recurso k no projeto j e x_i demonstra a decisão binária da atividade na corrente crítica ou não. Mas o maior valor de consumo do recurso na corrente crítica de todos os projetos, será o recurso restritivo ou recurso gargalo no ambiente de múltiplos projetos.

Priorização de projetos

Para a proposta, adotou-se o aspecto em que o recurso crítico do sistema pode ser considerado como fator de decisão para priorizar os projetos na fase de escalonamento, ou seja, a decisão de priorização (p) será baseada na ordem de máxima utilização do Recurso Restritivo (maxRC) entre os projetos. Isso pode ser definido por meio da relação do recurso crítico visto na Figura 48. Caso haja empate, considera-se o projeto que tiver maior quantidade na atividade da corrente crítica.

$$p_{\max RC\ 1} > p_{\max RC\ 2} > p_{\max RC\ 3} \dots p_{\max RCn}$$

Figura 48. Relação da ordem de prioridade pelo valor máximo de recurso restritivo.

Fonte: Blacktone, Cox e Schleier (2009).

Escalonamento de projetos

Esta etapa corresponde à sincronização sequencial dos projetos através da ligação do recurso crítico de um projeto a outro. O escalonamento do recurso crítico (*Drum Scheduling*) deve ser realizado levando em consideração toda a trajetória de uso do recurso crítico entre as atividades (Leach, 2005).

Os períodos disponíveis entre as atividades de cada projeto prioritário serão utilizados para o uso da primeira utilização do recurso crítico do projeto seguinte, formando assim a Corrente Crítica em um ambiente de múltiplos projetos. Para este modelo, no intuito de aperfeiçoar o uso do recurso crítico, não se admite a preempção do projeto.

Para ilustrar a dinâmica de uma programação de projetos em um ambiente de múltiplos projetos, a Figura 49 apresenta três projetos (A, B e C) que têm as atividades representadas pelas barras e as cores como recurso necessário e o período representa a quantidade do consumo de recurso pela atividade.

Portanto, o projeto A tem seis atividades, sendo que quatro estão na corrente crítica. São elas: A₁, A₂, A₃, A₆ e duas na corrente não crítica A₄ e A₅ com Pulmão de Projeto (PP) e Pulmão de Alimentação (PA) respectivamente.

O projeto B tem seis atividades, sendo que quatro estão na corrente crítica B₁, B₂, B₃, B₆ e duas na corrente não crítica B₄ e B₅, com Pulmão de Projeto (PP) e Pulmão de Alimentação (PA) respectivamente.

O projeto C tem sete atividades, sendo que cinco estão na corrente crítica C₁, C₂, C₃, C₆ e C₇ e duas estão na corrente não crítica C₄ e C₅, com Pulmão de Projeto (PP) e Pulmão de Alimentação (PA) respectivamente.

Os três projetos estão simulados em ambiente de múltiplos projetos, em que o recurso restritivo será tomado pelo primeiro passo da heurística. A identificação entre os projetos (A, B e C) é dada pela maior soma da duração na corrente crítica que, no exemplo, é o recurso “vermelho”, pois soma Projeto A (6und); Projeto B (14 und) e Projeto C (12 und).

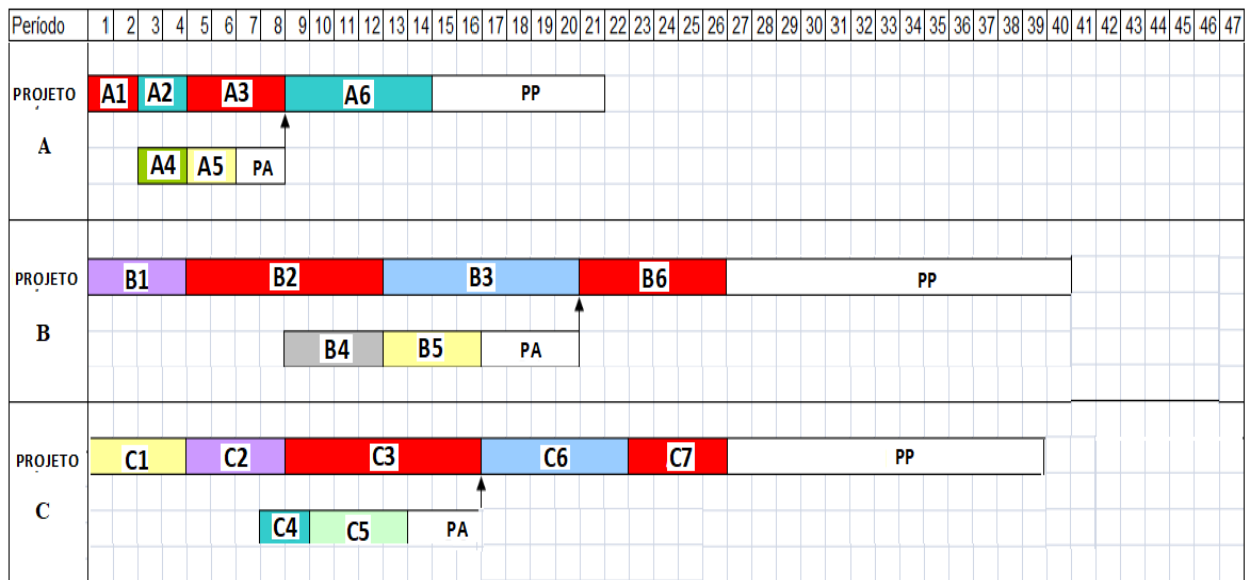


Figura 49. Simulação dos Projetos (A, B e C) em ambiente de múltiplos projetos.

Fonte: Adaptado de Campanini (2013)

Depois da identificação do recurso restritivo entre os projetos, faz-se o escalonamento entre eles, utilizando o recurso restritivo pela programação de projeto. Inicialmente deve-se escolher o projeto que terá maior prioridade, no exemplo é o projeto B, seguido pelo projeto C e projeto A. De forma que a priorização dos projetos é definida pela soma total do recurso “vermelho” que está nas atividades da corrente crítica (PB > PC > PA).

Para executar o escalonamento, observa-se o recurso restritivo entre os projetos. No exemplo, começa-se pela ordem de prioridade entre os projetos a partir do recurso restritivo no projeto B, em que o final do consumo do recurso restritivo está na atividade B₂. Depois, inicia-se a primeira atividade do projeto C, que consome o recurso restritivo que está na atividade C₃. Ao final da atividade C₇, começa a atividade A₁ do projeto, conforme a Figura 50.

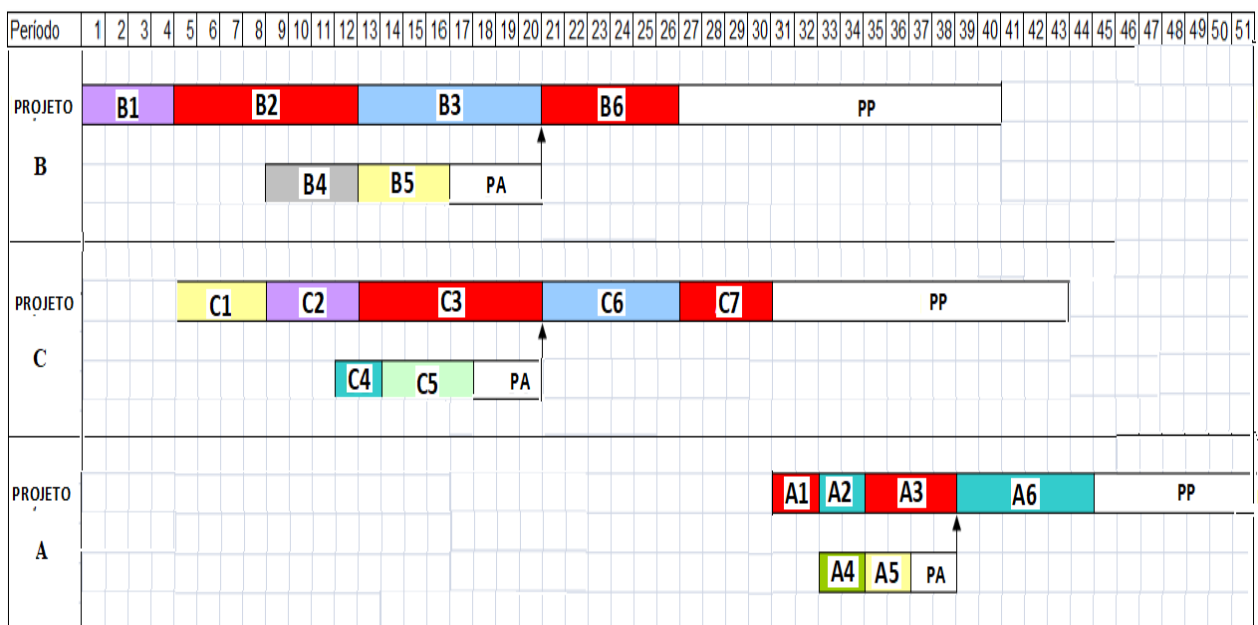


Figura 50. Escalonamento entre os projetos (A, B e C) pelo recurso restritivo.

Fonte: Adaptado de Campanini (2013)

Nivelamento de Recurso pela heurística baseada na regra de prioridade MAXTWK

O procedimento do nivelamento de recursos é uma parte importante para funcionalidade no processo da gestão dos projetos, dado que ajuda alocar recursos, quando a demanda procura não exceder a oferta. Com esse fim, algumas premissas devem ser adotadas:

- Os requisitos dos recursos de todas as atividades programadas são comparados com a quantidade máxima disponível na ocasião do nivelamento;
- Uma atividade é atrasada ou adiantada, caso o recurso esteja disponível em um número insuficiente em qualquer estágio de execução da atividade.

Este processo de tomada de decisão se baseia no procedimento heurístico dado pela regra da prioridade MAXTWK, em que se levanta o valor máximo de recursos utilizados na atividade e decide-se a prioridade, no momento do planejamento, de forma a otimizar a distribuição dos recursos compartilhados em um ambiente de múltiplos projetos.

Monitoramento dos Pulmões de Tempos

A execução do monitoramento deve ser feita em intervalo, e é desenvolvido por um levantamento de comparação entre o grau do consumo do pulmão e o andamento do projeto pela corrente crítica, conforme foi sugerido por Newbold (2008).

As informações do controle dos Pulmões do projeto (projeto individual) são dadas pelo consumo do pulmão de tempo, em que as informações são extraídas através do sistema de controle de produção da linha de produção que alimenta um banco de dados. Assim sendo, os pulmões de tempo do projeto servirão para proteger as datas de término dos projetos e o monitoramento será por meio do gráfico.

A partir do monitoramento de cada projeto será dado o acompanhamento do conjunto dos projetos (ambiente de múltiplos projetos) pelo Índice de Desempenho do projeto ID_p , na Equação (12), em que será feito o acompanhamento dos projetos.

Através do monitoramento da taxa de consumo pelos gráficos de monitoramento é possível ver o status atualizado do projeto, e se o projeto pode ser concluído ou não na data prometida. Se a quantidade de consumo de pulmão é elevada, isso indica que a data de entrega do projeto está com tendência de alta do consumo de pulmão não é atendida, e, neste caso, deve-se preparar e realizar ações de recuperação para compensar a taxa de consumo e trazer a taxa de utilização de pulmão para a situação normal.

Terceira Etapa

Nesta etapa, comparam-se os resultados do modelo proposto pelos métodos “Método Cortar e Colar- C&PM” do Goldrat (1997) e “O Método da Raiz Quadrada

do Erro (RSEM)” do Newbold (1998) no tamanho do pulmão de tempo de projeto e avaliando o desempenho pelos indicadores de: maior tempo de consumo pelo pulmão de projeto (PP) (dias); tempo médio de consumo do pulmão de projeto (PP) (dias) e número de vezes que o pulmão de projeto (PP) foi consumido.

Por último, apresentam-se os resultados dos projetos pela utilização de uma escala de mensuração de fatores críticos de sucesso na qual foi elaborado por Besteiro (2012) e utiliza-se o resultado em informações úteis como lições aprendidas para futuros projetos.

A Figura 51 apresenta um fluxo que segue cinco passos para desempenho da proposta, finalizando com lições aprendidas.

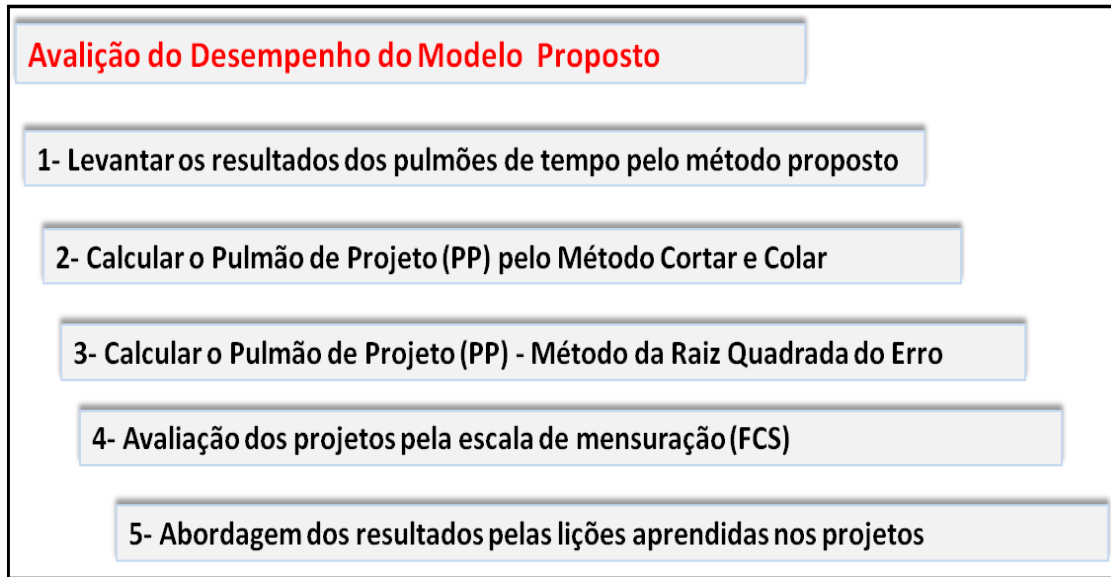


Figura 51. Algoritmo para Avaliação do Desempenho do Modelo Proposto.

Fonte: Elaboração do autor

CAPÍTULO 5

RESULTADOS, ANÁLISES E DISCUSSÕES

Contextualização da empresa

A aplicação da proposta foi aplicada e implantada em uma empresa de fabricação e montagem do setor da indústria metal-mecânica e prestação de serviços em estruturas metálicas com mais de 20 anos no segmento metal-mecânico, estabelecido pelo desenvolvimento de produtos metalúrgicos de acordo com a necessidade de cada cliente.

Apesar de a empresa ter sido fundada no ano de 1997, foi apenas em março de 2010 que se iniciou o processo de implantação de um Escritório de Projetos PMO (*Project Management Office*), em que se notou a necessidade de promover, dentro de seu ambiente organizacional, as metodologias e as técnicas de gestão em projetos, que pudessem ajudar a alcançar maiores índices de sucesso.

Sistemática do Escritório do Planejamento e Controle de Projetos (EPCP)

O Escritório do Planejamento e Controle de Projetos (EPCP) foi implantado na empresa e segue uma ordenação gradativa que envolve o gerenciamento das rotinas e dos processos associados aos projetos, onde as técnicas e ferramentas desenvolvidas permitem intervenções e correção de possíveis problemas desde a concepção até a entrega do projeto.

Quando o EPCP aprova um novo projeto, a equipe de projeto procura elaborar a rede PERT/CPM em que levanta as informações, tais como: cadastro das atividades principais, os tempos de operações nas máquinas (pessimistas e otimistas), definições de atividades precedentes, estabelecimento de cronograma e acompanhamento e atualizações, como mostra a Figura 52.



Figura 52. Fluxos iniciais de Informações de Projeto – EPCP.

Fonte: Elaboração do autor

No Quadro 27 é apresentado um resumo de cada fase do projeto com setores envolvidos e a suas atividades correspondentes.

Quadro 27. Resumo das fases de projeto com setores envolvidos.

Fase do Projeto	Setores envolvidos	Atividades
Planejamento do projeto	Comercial (Vendas), Orçamento, EPCP.	Levantamentos relacionados à composição do orçamento do projeto, preço e prazo de entrega.
Estrutura Analítica do Projeto (EAP)	Planejamento; EPCP	Detalhamentos dos projetos vendidos, elaboração de cronogramas, cálculos da capacidade de longo prazo, elaboração de planilhas eletrônicas.
Desenhos e relação de materiais	Engenharia de Produção	Elaboração dos desenhos e codificação interna (cadastro de operações) para fabricação e documentação e gestão de ERP.
Planejamento e Controle Industrial	PCP	Acompanhamento das execuções pelo plano mestre de produção (MPS), emissão das ordens de produção e de compra, planejamento dos projetos.
Programação de Projeto	EPCP	Utilização de cálculo de capacidade de recurso, cadastro: código, descrição, cliente e prazo de entrega dos projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Esta dinâmica começa pelo levantamento das atividades e com suas estimativas de tempo, e é realizada na fase de preparação do orçamento, em que são definidas pelas quantidades de horas ou dias de trabalho para suas execuções. É realizada por meio de reuniões agendadas com o coordenador (especialista de projeto) em conjunto com a área de orçamento realizando um cronograma preliminar para fase pré-contrato.

A partir dos possíveis tempos estimados para cada atividade, e os recursos envolvidos, tem-se a construção da rede PERT/CPM, que uma vez construída, será de suma importância para discutir a proposta preliminar de venda do projeto. Caso seja acertado com a empresa contratante, o projeto inicial servirá de base para construção de uma rede mais detalhada com um novo cronograma definitivo baseado nos princípios da CCPM.

A implementação do CCPM na empresa

A preparação da empresa para CCPM foi através de treinamento, na qual ministrado em duas partes da equipe (uma com a coordenação do projeto ECPC e planejamento) e a outra (com equipe de projeto da CCPM) em que é demonstrado por meio de um fluxo de informações do processo da condução da metodologia em duas frentes de trabalho na empresa (visto na Figura 53), sendo este treinamento foi conduzido pelo autor.

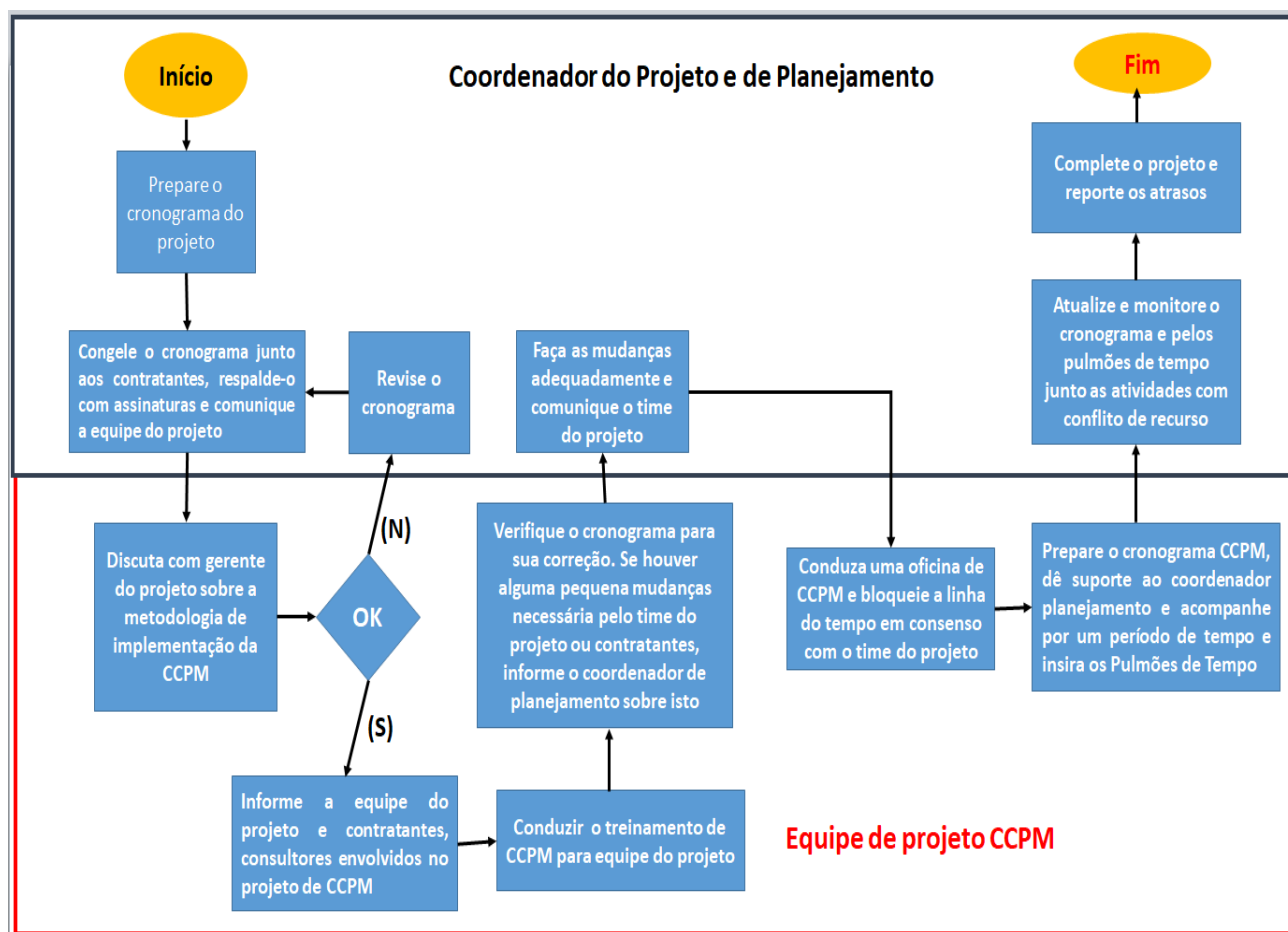


Figura 53. Fluxo de processo de informações (CCPM) na empresa.

Fonte: Elaboração do autor

a) Coordenação do Projeto e Planejamento

A coordenação de projeto na empresa terá as seguintes funções, após a implantação da proposta: preparação e apresentação do cronograma junto aos contratantes, respaldando-o com assinaturas (contrato) e comunicação interna à equipe do projeto, revisão do cronograma, (caso aconteça alguma mudança) que seja feita de imediata adequação ao projeto, comunicar imediatamente a equipe do projeto sobre esta alteração, atualizar e monitorar o cronograma e adicionar os pulmões junto às atividades com conflitos de recursos (fazendo desconflitamento), completar os projetos e fazer relatório dos atrasos para reprogramação das atividades dos projetos.

b) Equipe de projeto CCPM

Esta equipe terá a responsabilidade de discutir com o gerente do projeto sobre a metodologia de implementação da CCPM. Se estiver adequado para a utilização da CCPM, verificar o cronograma para sua correção e se houver alguma mudança, informar ao coordenador de planejamento, avaliar o andamento do projeto pela linha de tempo de execução das atividades, e também usar o monitoramento e controle pela adição do pulmão de tempo nos projetos.

A utilização do fluxo de projetos utilizando a CCPM foi implantada pelo autor, segundo a lógica do fluxo ilustrada na Figura 36.

Objetivo do planejamento da CCPM na empresa

As maiores restrições para um projeto de manufatura de produtos metalúrgicos são custo e tempo. Mas neste trabalho não será dado foco na questão de custo, mas sim no gerenciamento de tempo. Assim, o principal objetivo do planejamento foi elaborar os cronogramas de execução dos projetos de forma mais realista e segura na finalização nos prazos programados pela metodologia (CCPM), estabelecido entre a empresa e a contratante do serviço.

Aplicação da proposta do modelo em Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP)

As características gerais do sistema de múltiplos projetos e a proposta de procedimentos, para gerenciamento do Pulmão de Tempo para Múltiplos Projetos pelo método CCPM foram descritos na Figura 36 e que tem o seu desdobramento dividido em três etapas como pode ser visto na Figura 37.

Conforme exposto anteriormente, a implantação e as análises dos dados coletados foram feitas na organização em três projetos desenvolvidos no Projeto e Montagem de produtos metalúrgicos, na qual serão denominados como sendo: Projeto A; Projeto B e Projeto C, conforme o fluxo geral da Figura 36.

a) Início do Projeto

Nesta fase foi feito o levantamento de informações gerais dos projetos individuais: tempos de operações das atividades nas máquinas (recursos); aplicação da escala de mensuração dos atributos complexidades e incerteza (Anexo B); construção do escopo de cada projeto e caso houvesse alguma mudança do escopo, atribuição de informações ao formulário (Apêndice F); análise de risco das atividades pelo FMEA para corte dos tempos estimados nas atividades (Anexo A) e preenchimentos dos dados das planilhas eletrônicas pelo modelo apresentado no Quadro 22.

b) Planejamento

Nesta etapa, o planejamento deu-se por meio de reuniões entre a equipe técnica da empresa e equipe contratante (procedimento interno da empresa) e posteriormente seguiram os seguintes passos:

- Elaboração das redes individuais pela técnica PERT/CPM para cada projeto com os tempos estimados pelo especialista da empresa;
- Cortes dos tempos estimados nas atividades pela variação entre 33% a 50% nos tempos já informados pelo especialista;
- Nivelamento de recursos, já sendo resolvidos os possíveis conflitos com

a heurística pela regra da prioridade (MOF). Em seguida, identificada a corrente crítica para cada projeto;

- Identificação de recurso restritivo “gargalo”, que se deu pelo maior consumo de um recurso no percurso da corrente crítica;
- Identificação dos conflitos entre os projetos (AMP);
- Escalonamento entre projetos pelo recurso restritivo no AMP;
- Adição dos Pulmões de Projeto (PP) e Pulmão de Alimentação (PA) e (PC) pelo método proposto;
- Nivelamento pelo desconflitamento por meio de uma heurística (MAX-TWK) entre os projetos depois adição dos pulmões.

c) Execução e Controle

Nesta fase foram divididas em duas etapas simultaneamente executadas, pois as informações de execução alimentaram as planilhas que, em seguida, foram processadas as informações das atividades na qual devem ser executadas e monitoradas com mais relevância, mediante reuniões entre a equipe de monitoramento (Apêndice A) e execução (Apêndice B), por meio de gráfico de acompanhamento entre projetos para verificação do andamento dos projetos pela corrente crítica.

d) Encerramento

Nesta última etapa, os procedimentos internos da organização, serão registradas as informações executadas e elaborados pelos relatórios finais (Anexo G), aplicando assim o modelo de aferição dos fatores críticos e sucesso apresentado por Besteiro (2012) conforme Anexo H.

O estudo para este trabalho foi desenvolvido, em conjunto de três projetos de estrutura metálica que foram planejados pelo EPCP, concomitantemente para três clientes diferentes. Estas estruturas foram concebidas e fabricadas no mesmo período, entre os meses de dezembro de 2017 e abril de 2018, e tendo características pertinentes para constituir em um ambiente de múltiplos projetos, tais como simultaneidade de execução de atividades entre os diferentes projetos, compartilhamento de recursos, início e término de projetos em períodos diferentes entre outros.

Como sendo uma pesquisa aplicada para validação do fluxo proposto (Figura 36), os resultados numéricos obtidos são válidos apenas para os casos estudados. Todavia, o fluxo aplica-se a qualquer situação, em que haja pertinência de aplicação da CCPM em múltiplos projetos.

A seguir há um detalhamento da implantação e da análise dos dados da Figura 37.

Fase de Projeto Individual

Nesta fase serão adotados os procedimentos para gerenciamento da corrente crítica nos projetos individuais, em que se apresenta desde o levantamento dos dados de tempos e definição do escopo, até última fase que é o nivelamento pelo desconflitamento das atividades com o uso de um algoritmo para aplicação de uma heurística por uma regra de prioridade (MOF), como foi destacado pelos passos na Figura 44.

Definição do Escopo dos projetos e levantamento dos dados de tempos e recursos nas atividades dos projetos

Após a aprovação do contrato comercial, foi necessária uma formalização de que o processo terá início, em que tanto a empresa contratada como a empresa contratante está ciente de que todas as especificações, prazos de entrega, custos orçados, etc. Normalmente esta formalização é dada por uma reunião entre o cliente e a empresa chamada de Reunião de Início de Projeto e que gerará subsídio para criação da EAP.

No entanto, o documento é uma convergência entre o Termo de Abertura de Projeto, a Declaração do Escopo e a Lista de Documentos. Originalmente estes três documentos são gerados separadamente, mas neste caso eles devem ser compactados em um único, sem deixar de lado nenhuma informação importante.

A partir deste documento, foram levantados dados dos três projetos com a equipe de engenharia da empresa. Estes dados incluíram as atividades de planejamento de cada projeto com os possíveis tempos de início e conclusão e, os recursos alocados e compartilhados pelo valor quantitativo do tempo de máquina na programação dos projetos.

Os projetos foram codificados neste trabalho em: Projeto A com 11 atividades, Projeto B com 13 atividades e Projeto C com 11 atividades. O Quadro 28 apresenta um conjunto de recursos (máquinas), que aqui serão considerados como sendo recursos consumidos nas atividades.

Quadro 28. Tipos de recursos atribuídos nos projetos.

Tipo	Recurso (Rn)
R1	Empilhadeira
R2	Máquina de Plasma
R3	Ponte rolante
R4	Esmerilhadeira
R5	Estampadeira
R6	Furadeira de bancada
R7	Máquina de Solda MIG/MAG
R8	Dobradeira
R9	Policorte
R10	Guilhotina
R11	Jato de Tinta
R12	Máquina de Solda submersa

Fonte: Dados da pesquisa

As Figuras 54, 55 e 56 apresentam um levantamento de informações gerais do planejamento de programação quanto às atividades e seus recursos e quantidades consumidos para os projetos A, B e C.

P	A _{ij}	r	Recurso	qr
A	A ₁₁	R1	Empilhadeira	1
	A ₂₁	R2	Máquina de Plasma	1
	A ₃₁	R3	Ponte rolante	1
	A ₄₁	R12	Máquina de Solda submersa	2
	A ₅₁	R4	Esmerilhadeira	3
	A ₆₁	R2	Máquina de Plasma	1
	A ₇₁	R5	Estampadeira	2
	A ₈₁	R6	Furadeira de bancada	3
	A ₉₁	R7	Máquina de Solda MIG/MAG	3
	A ₁₀₁	R4	Esmerilhadeira	2
	A ₁₁₁	R11	Jato de Tinta	1

Figura 54. Demonstrativo de recursos nas atividades dos projetos (A).

Fonte: Dados da pesquisa

P	A _{ij}	r	Recurso	qr
B	A ₁₂	R1	Empilhadeira	2
	A ₂₂	R2	Máquina de Plasma	1
	A ₃₂	R4	Esmerilhadeira	3
	A ₄₂	R5	Estampadeira	2
	A ₅₂	R8	Dobradeira	2
	A ₆₂	R4	Esmerilhadeira	3
	A ₇₂	R4	Esmerilhadeira	2
	A ₈₂	R5	Estampadeira	3
	A ₉₂	R9	Policorte	2
	A ₁₀₂	R7	Máquina de Solda MIG/MAG	2
	A ₁₁₂	R11	Jato de Tinta	2

Figura 55. Demonstrativo de recursos nas atividades dos projetos (B).

Fonte: Dados da pesquisa

P	A _{ij}	r	Recurso	qr
C	A ₁₃	R1	Empilhadeira	1
	A ₂₃	R2	Máquina de Plasma	1
	A ₃₃	R12	Máquina de Solda submersa	2
	A ₄₃	R4	Esmerilhadeira	3
	A ₅₃	R10	Guilhotina	2
	A ₆₃	R7	Máquina de Solda MIG/MAG	3
	A ₇₃	R4	Esmerilhadeira	3
	A ₈₃	R9	Policorte	2
	A ₉₃	R7	Máquina de Solda MIG/MAG	3
	A ₁₀₃	R11	Jato de Tinta	2
	A ₁₁₂	R11	Jato de Tinta	2

Figura 56. Demonstrativo de recursos nas atividades dos projetos (C).

Fonte: Dados da pesquisa

O primeiro projeto mapeado constitui a construção de uma ponte de estrutura metálica tendo seu início na célula da atividade (A_{11}) (amarelo) e a finalização na atividade (A_{111}) (amarelo) com 46 dias; em seguida são alocados os recursos utilizados (r) conforme a Figura 57. Também foram levantados nas atividades os tempos estimados por dias (pessimista- tp , mais provável- tm e otimista- to), folga- F , quantidade recurso (qr) e o seu consumo total na atividade ($R \cdot D$) e, por último, as relações de precedências.

P	A(n)	Aij	tp	tm	To	d	imc	imt	tmc	tmt	F	r	Recurso	qr	R*D
1	1	A11	1	3	5	3,0	0,0	3,0	0,0	3,0	0,0	R1	Empilhadeira	1	3,0
1	2	A21	2	4	6	4,0	3,0	7,0	3,0	7,0	0,0	R2	Máquina de Plasma	1	4,0
1	3	A31	3	5	7	5,0	7,0	12,0	7,0	12,0	0,0	R3	Ponte rolante	1	5,0
1	4	A41	4	6	8	6,0	12,0	18,0	12,0	18,0	0,0	R12	Máquina de Solda submersa	2	12,0
1	5	A51	3	5	7	5,0	18,0	23,0	18,0	23,0	0,0	R4	Esmerilhadeira	3	15,0
1	6	A61	4	6	8	6,0	3,0	9,0	8,0	14,0	5,0	R2	Máquina de Plasma	1	6,0
1	7	A71	3	5	7	5,0	9,0	14,0	14,0	19,0	5,0	R5	Estampadeira	2	10,0
1	8	A81	2	4	6	4,0	14,0	18,0	19,0	23,0	5,0	R6	Furadeira de bancada	3	12,0
1	9	A91	4	6	8	6,0	23,0	29,0	23,0	29,0	0,0	R7	Máquina de Solga MIG/MAG	3	18,0
1	10	A101	5	7	9	7,0	29,0	36,0	29,0	36,0	0,0	R4	Esmerilhadeira	2	14,0
1	11	A111	8	10	12	10,0	36,0	46,0	36,0	46,0	0,0	R11	Jato de Tinta	1	10,0

Figura 57. Planilha de dados de entrada do projeto A.

Fonte: Dados da pesquisa

Para o segundo projeto (B), na qual foi executado para uma empresa que atua no segmento de logística, consistiu na construção de uma estrutura para montagem de um galpão metálico e que tem os dados de entrada vistos na Figura 58.

P	A(n)	Aij	tp	tm	To	d	imc	imt	tmc	tmt	F	r	Recurso	qr	R*D
2	1	A12	2	4	6	4,0	0,0	4,0	0,0	4,0	0,0	R1	Empilhadeira	2	8,0
2	2	A22	4	6	8	6,0	4,0	10,0	10,0	16,0	6,0	R2	Máquina de Plasma	1	6,0
2	3	A32	5	7	9	7,0	10,0	17,0	16,0	23,0	6,0	R4	Esmerilhadeira	3	21,0
2	4	A42	5	7	9	7,0	17,0	24,0	23,0	30,0	6,0	R5	Estampadeira	2	14,0
2	5	A52	8	10	12	10,0	4,0	14,0	4,0	14,0	0,0	R8	Dobradeira	2	20,0
2	6	A62	3	5	7	5,0	14,0	19,0	14,0	19,0	0,0	R4	Esmerilhadeira	3	15,0
2	7	A72	3	5	7	5,0	19,0	24,0	19,0	24,0	0,0	R4	Esmerilhadeira	2	10,0
2	8	A82	4	6	8	6,0	24,0	30,0	24,0	30,0	0,0	R5	Estampadeira	3	18,0
2	9	A92	3	5	7	5,0	30,0	35,0	30,0	35,0	0,0	R9	Policorte	2	10,0
2	10	A102	5	7	9	7,0	35,0	42,0	35,0	42,0	0,0	R7	Máquina de Solga MIG/MAG	2	14,0
2	11	A112	4	6	8	6,0	42,0	48,0	42,0	48,0	0,0	R11	Jato de Tinta	2	12,0

Figura 58. Planilha de entrada de dados do Projeto B.

Fonte: Dados da pesquisa

O terceiro e último projeto foi a construção de um Silo, executado para uma empresa de escoamento de grãos em caminhões de cargas, para um terminal portuário e tem os dados de entrada na planilha, conforme a Figura 59.

P	A(n)	Aij	tp	tm	To	d	imc	imt	tmc	tmt	F	r	Recurso	qr	R*D
3	1	A13	1	3	5	3,0	0,0	3,0	0,0	3,0	0,0	R1	Empilhadeira	1	3,0
3	2	A23	4	6	8	6,0	3,0	9,0	3,0	9,0	0,0	R2	Máquina de Plasma	1	6,0
3	3	A33	5	7	9	7,0	9,0	16,0	9,0	16,0	0,0	R12	Máquina de Solda submersa	2	14,0
3	4	A43	2	4	6	4,0	16,0	20,0	16,0	20,0	0,0	R4	Esmerilhadeira	3	12,0
3	5	A53	3	5	7	5,0	3,0	8,0	6,0	11,0	3,0	R10	Guilhotina	2	10,0
3	6	A63	4	6	8	6,0	8,0	14,0	11,0	17,0	3,0	R7	Máquina de Solga MIG/MAG	3	18,0
3	7	A73	1	3	5	3,0	14,0	17,0	17,0	20,0	3,0	R4	Esmerilhadeira	3	9,0
3	8	A83	4	6	8	6,0	20,0	26,0	20,0	26,0	0,0	R9	Policorte	2	12,0
3	9	A93	3	5	7	5,0	26,0	31,0	26,0	31,0	0,0	R7	Máquina de Solga MIG/MAG	3	15,0
3	10	A103	5	7	9	7,0	31,0	38,0	31,0	38,0	0,0	R11	Jato de Tinta	2	14,0

Figura 59. Planilha de entrada de dados do Projeto C.

Fonte: Dados da pesquisa

Após o levantamento das informações gerais sobre os projetos pela Equipe da Coordenação e de Planejamento de Projeto (ECPC) tais como: tipos de projetos, tempos estimados na duração, atividades desenvolvidas e recursos de máquinas programadas e quantidade consumida, precedências das atividades, desenvolveu-se a rede PERT/CPM. Depois foram identificados os principais problemas de concorrência de recursos comuns (conflitos) e críticos em relação ao sistema de múltiplos projetos da empresa pela metodologia da CCPM.

Desenvolvimento do projeto por PERT/COM

O levantamento das atividades e estimativas de tempo de projeto foi realizado na fase de preparação do orçamento do projeto, em que são definidas as quantidades de horas ou dias de trabalho para execução das atividades e foi realizada por meio de reuniões agendadas com o coordenador de projeto (especialista de projeto) e com área de orçamento onde foi elaborado um cronograma preliminar.

Na elaboração da rede pelo CPM, a empresa utilizou o software *Msproject*, que foi alimentado com informações, tais como: cadastro das principais atividades com seus tempos, precedências, estabelecimento do cronograma do projeto, acompanhamento e atualizações ao longo do projeto. Neste momento foi definido o caminho crítico do projeto pela sua sequência de tempo mais longa de atividades dentro projeto.

Com os possíveis tempos já estimados para cada atividade, a elaboração da rede PERT/CPM começou a ser construída e uma vez montada, já que teve um cronograma inicial que apoiou a apresentação da proposta para setor de negócio da empresa. A partir do projeto orçado, e assinado o contrato comercial, o cronograma inicial tornou-se ponto de partida para a construção de um novo cronograma mais realista.

Características das redes PERT/CPM nos Projetos A, B e C

O projeto A, representado pela Figura 60, apresentou 11 atividades, consumindo nove tipos diferentes de recursos (R1, R2, R3, R4, R5, R6, R7, R11, R12) e as células hachuradas de vermelho nas atividades (A_{11} ; A_{21} ; A_{31} ; A_{41} ; A_{51} ; A_{91} ; $A_{10,1}$; $A_{11,1}$) na qual representam o caminho crítico, com um tempo total de conclusão em 46 dias.

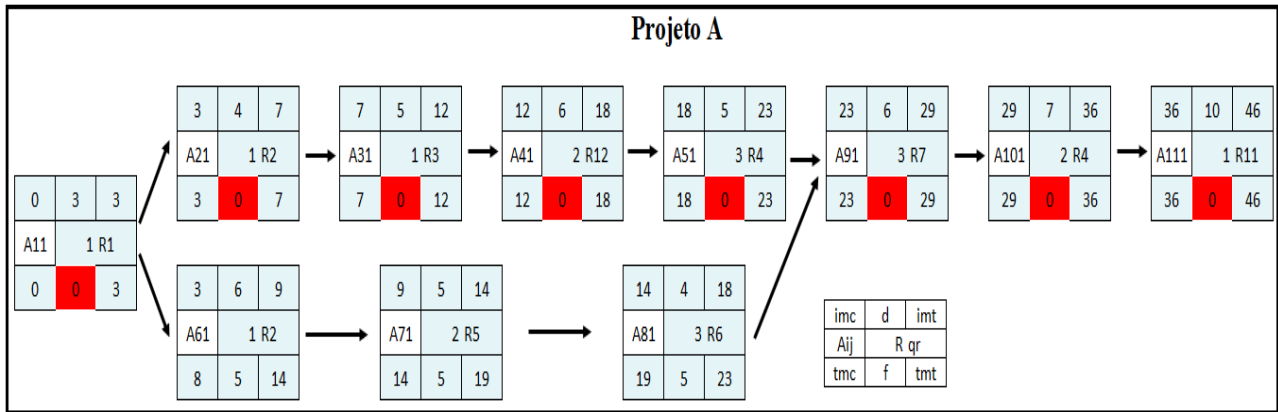


Figura 60. Rede PERT/CPM do Projeto A.

Fonte: Dados da pesquisa

O Projeto B, representado (Figura 61) foi constituído de 11 atividades, consumindo oito tipos diferentes de recursos (R1; R2, R4; R5, R7; R8; R9 e R11) e as células hachuradas de vermelho nas atividades (A_{12} ; A_{52} ; A_{62} ; A_{72} ; A_{82} ; A_{92} ; $A_{10,2}$; $A_{11,2}$) representam o caminho crítico, com um tempo total de conclusão em 48 dias.

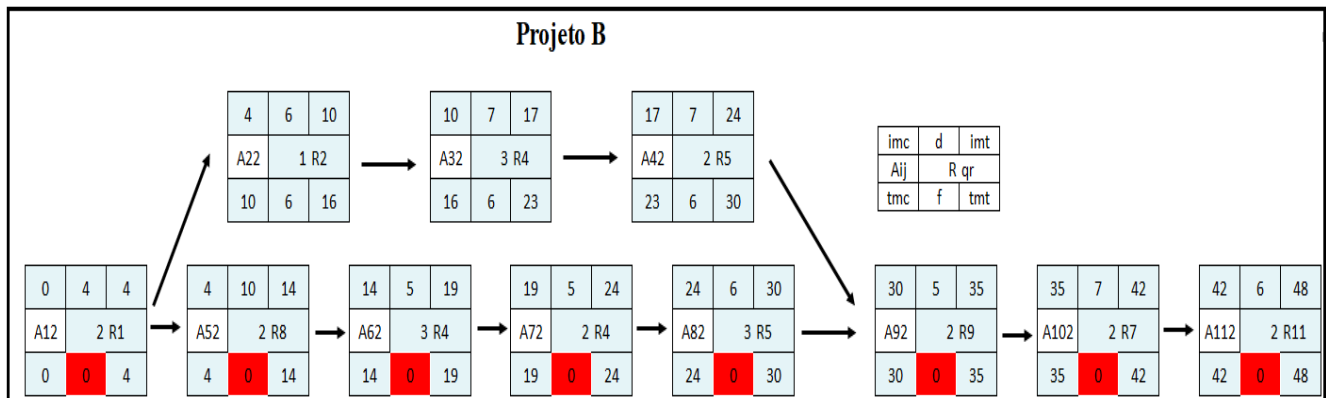


Figura 61. Rede PERT/CPM do Projeto B.

Fonte: Dados da pesquisa

O projeto C (Figura 62) contém 10 atividades, consumindo oito tipos de diferentes recursos (R2; R3; R4; R7; R9; R10; R11 e R12) e as células hachuradas de vermelho nas atividades (A_{13} ; A_{23} ; A_{33} ; A_{43} ; A_{83} ; A_{93} ; $A_{10,3}$) representam o caminho crítico com um tempo total de conclusão do projeto em 38 dias.

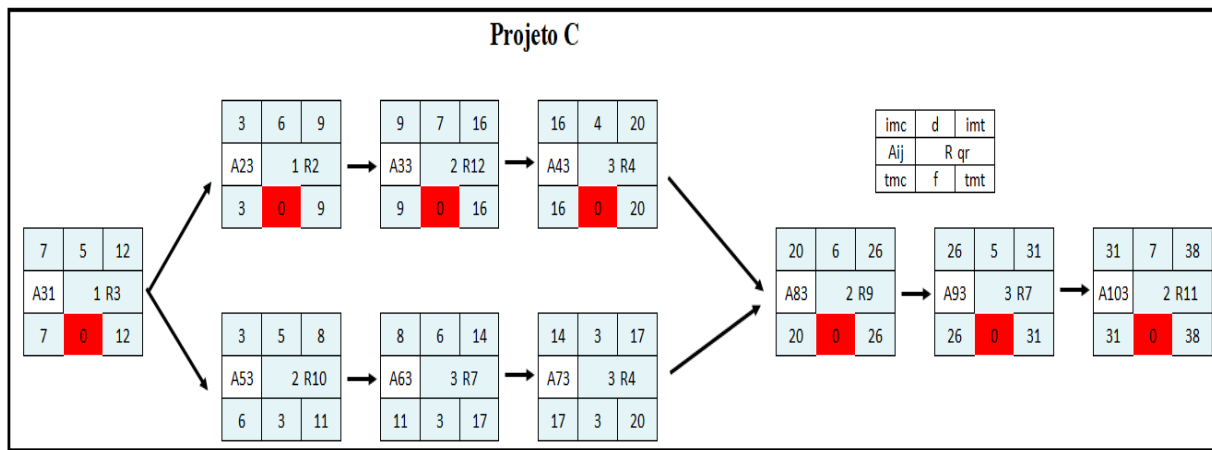


Figura 62. Rede PERT/CPM do Projeto C.

Fonte: Dados da pesquisa

Identificação dos conflitos nas redes PERT/CPM

Para identificação dos conflitos nas redes, inicialmente foi desenvolvido um cronograma de atividades da forma tradicional (PERT/CPM) para cada projeto, sem identificar ainda a corrente crítica de atividades entre projetos com o intuito de visualizar os recursos a serem disponibilizados e principalmente, definir o escalonamento que poderia ser feito e com a definição da carga de trabalho desses recursos.

A partir destes cronogramas, com a utilização da carga dos recursos na atividade, no período de tempo, foi possível identificar os possíveis conflitos de recursos.

A Figura 63 mostrou um cronograma estabelecido para o Projeto A, em que houve um conflito de consumo de recurso (R2) nas atividades A_{21} e A_{61} nos períodos de tempo 4, 5, 6 e 7 e a carga de sua utilização foram de duas unidades / dia do mesmo recurso (R2), de forma que supera a sua disponibilidade em uma unidade /dia.

Para o Projeto B, a Figura 64 mostra um conflito de consumo do recurso (R4) nas atividades A_{32} e A_{62} , nos períodos de tempo 15, 16, 17 onde a carga de utilização de recursos é de seis unidades /dia do mesmo recurso (R4) e que supera a sua disponibilidade de cinco unidades /dia.

Para o Projeto C, a Figura 65 apresenta um conflito de consumo de recurso (R4), nas atividades A_{43} e A_{73} , no período de tempo 17 da utilização da carga de recurso que são de seis unidades /dia do mesmo recurso (R4) onde supera a sua disponibilidade que são cinco unidades /dia.

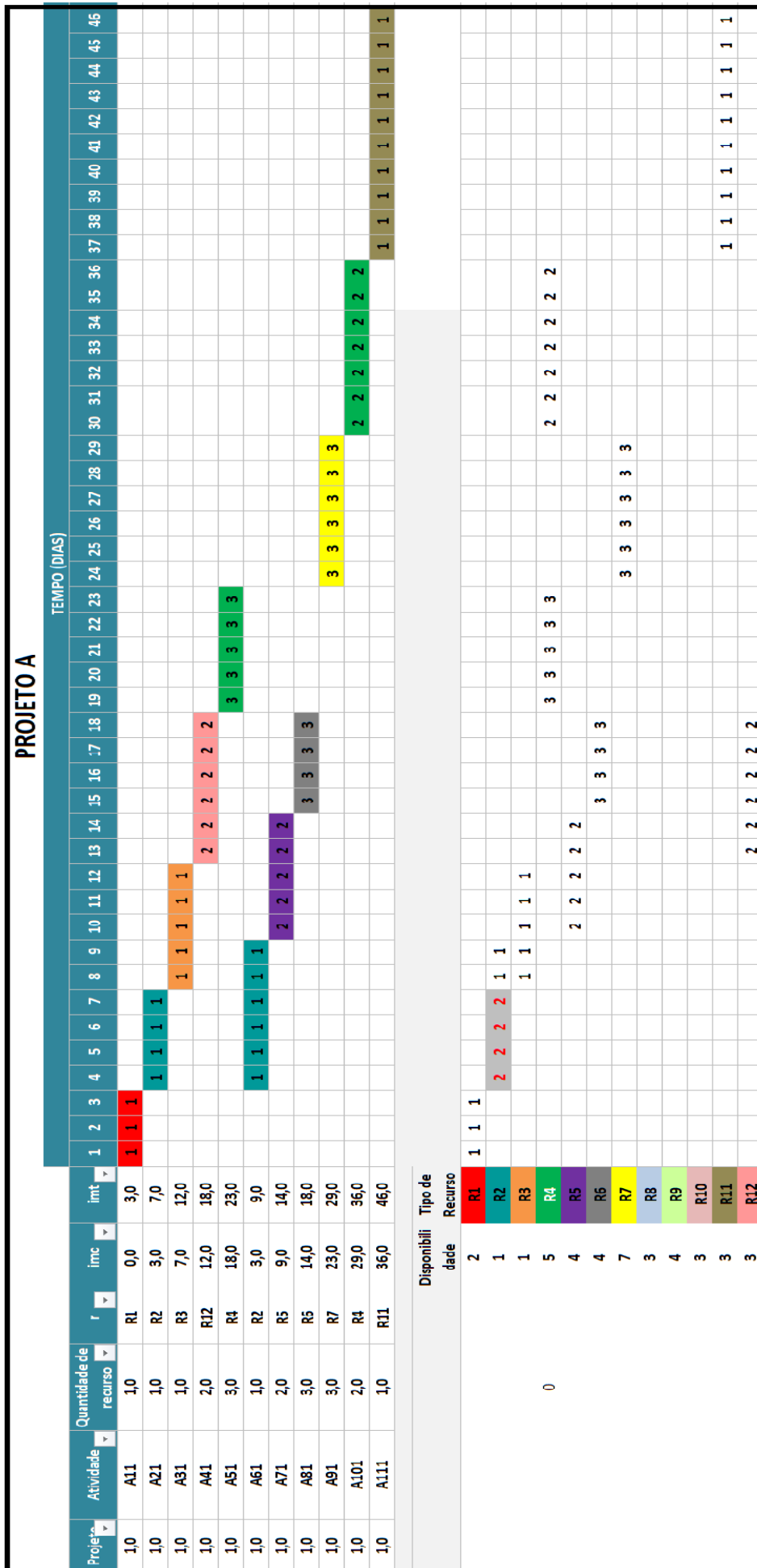


Figura 63. Identificação dos conflitos nas atividades do Projeto A.

Fonte: Dados da pesquisa

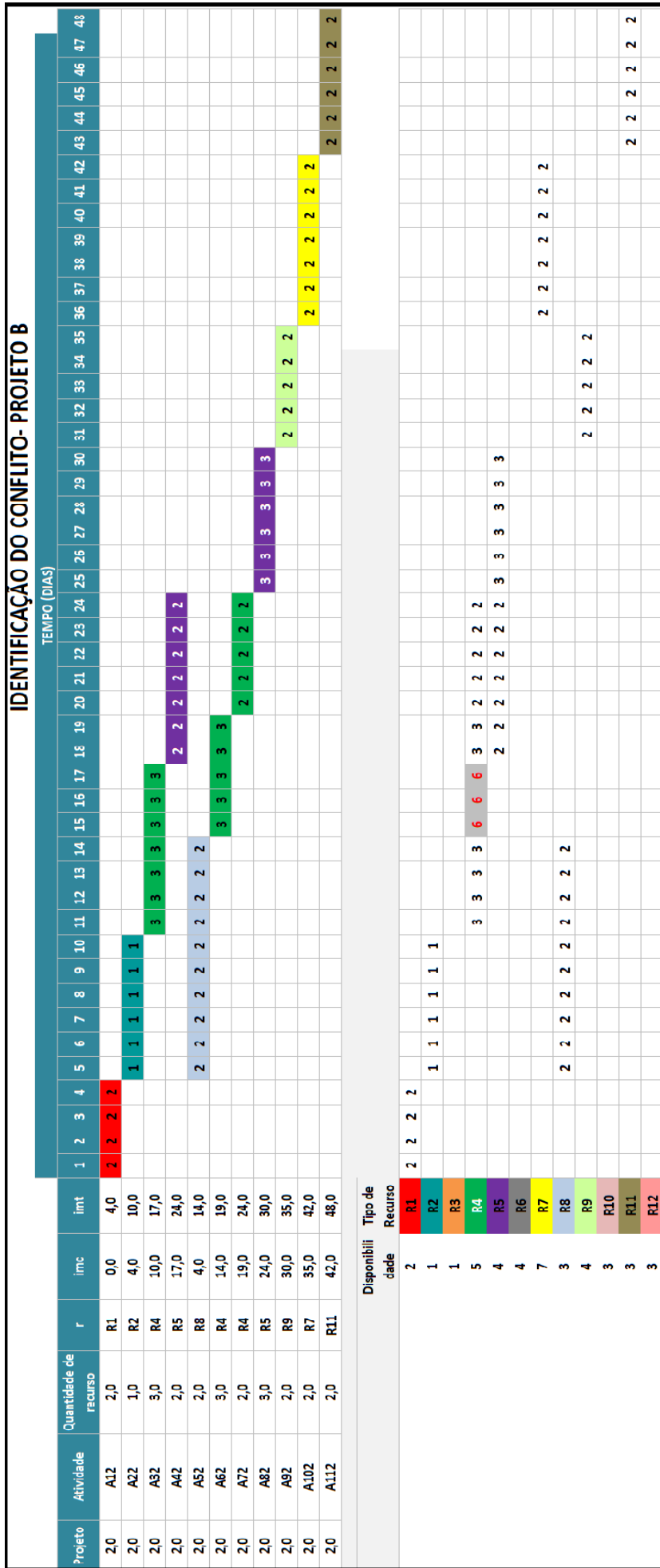


Figura 64. Identificação dos conflitos nas atividades do Projeto B.

Fonte: Dados da pesquisa

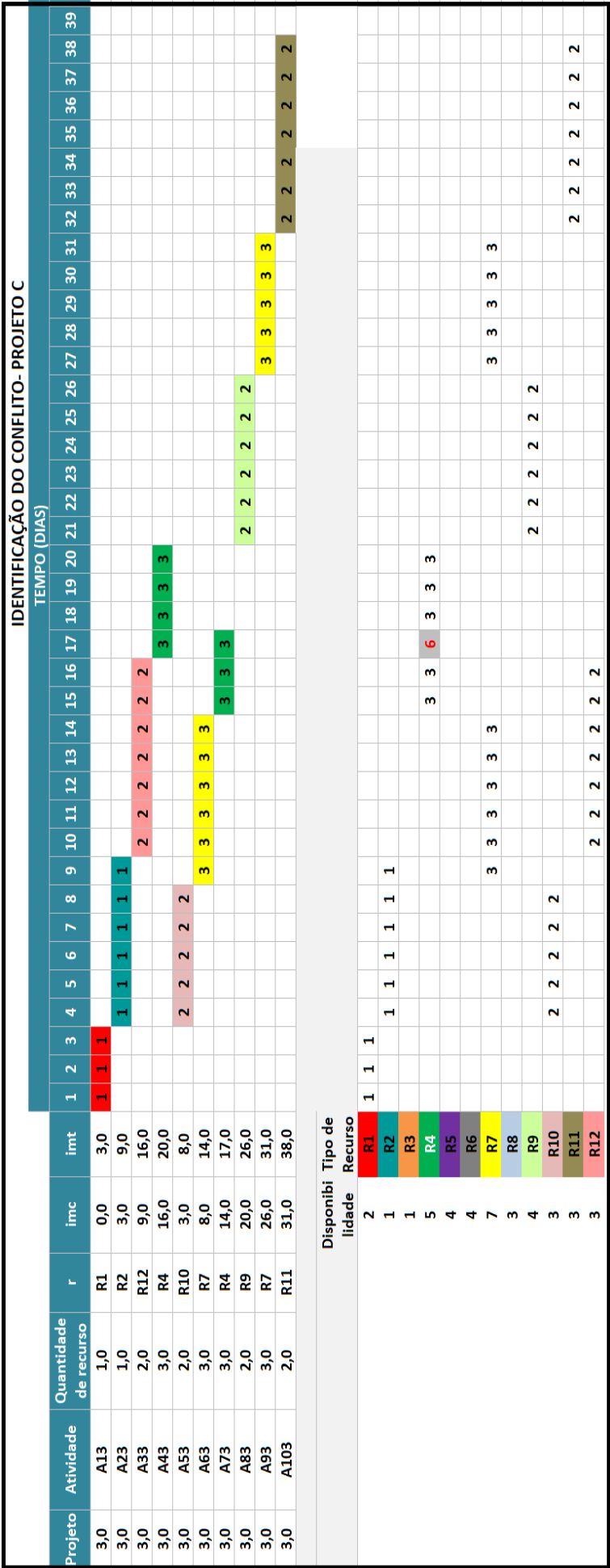


Figura 65. Identificação dos conflitos nas atividades do Projeto C.

 Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 66 apresenta o escalonamento dos três projetos sendo identificados os seus conflitos pelas setas vermelhas do Projeto A, Projeto B e Projeto C, visto que foram estruturados, conforme o método tradicional de gerenciamento PERT/CPM, sendo identificados os principais problemas de concorrência de recursos.

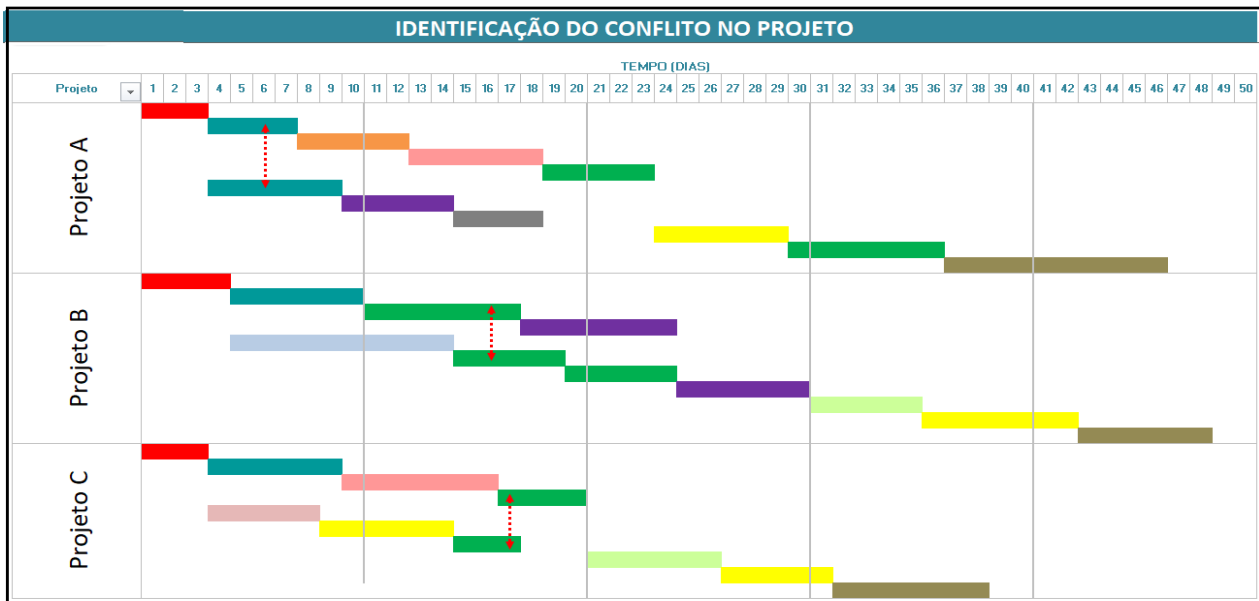


Figura 66. Identificação dos conflitos nos três projetos.

Fonte: Dados da pesquisa

Depois de identificado os conflitos existentes nos projetos, buscou-se executar o seu desconflitamento pela utilização heurística (MOF) proposta por Walker (2001) apud Cox e Schleier (2013) que resultou na corrente crítica do projeto, e em seguida foi feito o escalonamento do projeto, utilizando a regra de prioridade na decisão pela escolha da atividade que consome o maior recurso conflitado. Foi aplicado o algoritmo, segundo o esquema mostrado na Figura 44.

Para o projeto A, foi realizado o escalonamento das atividades A_{21} e A_{61} que têm os mesmos recursos conflitantes (R2). Usou-se a regra da prioridade (MOF) onde a atividade A_{61} que possui maior tempo de operação na programação permanece, enquanto a atividade A_{21} é deslocada para iniciar no período 10, ou seja, **TMT** de A_{61} = **IMC** de A_{21} como pode ser visto na Figura 67.

Para o projeto B, foi feito o escalonamento das atividades, atividades A_{32} e A_{62} têm os mesmos recursos conflitantes (R4) que se encontra em conflito, usou-se a regra da prioridade (MOF) onde a atividade A_{32} , que possui maior tempo de operação na programação, permanece enquanto atividade A_{62} é deslocada para iniciar no período 18, ou seja, **TMT** de A_{32} = **IMC** de A_{62} , como pode ser visto na Figura 68.

Para o projeto C, foi feito o escalonamento das atividades, pois as atividades A_{43} e A_{73} têm os mesmos recursos conflitantes (R4) que se encontrava em conflito. Usou-se a regra da prioridade (MOF) onde a atividade A_{43} , que possui maior tempo de operação na programação, permanece enquanto a atividade A_{73} é deslocada para iniciar no período 21, ou seja, **IMT** de A_{43} = **TMT** de A_{73} como pode ser visto na Figura 69.

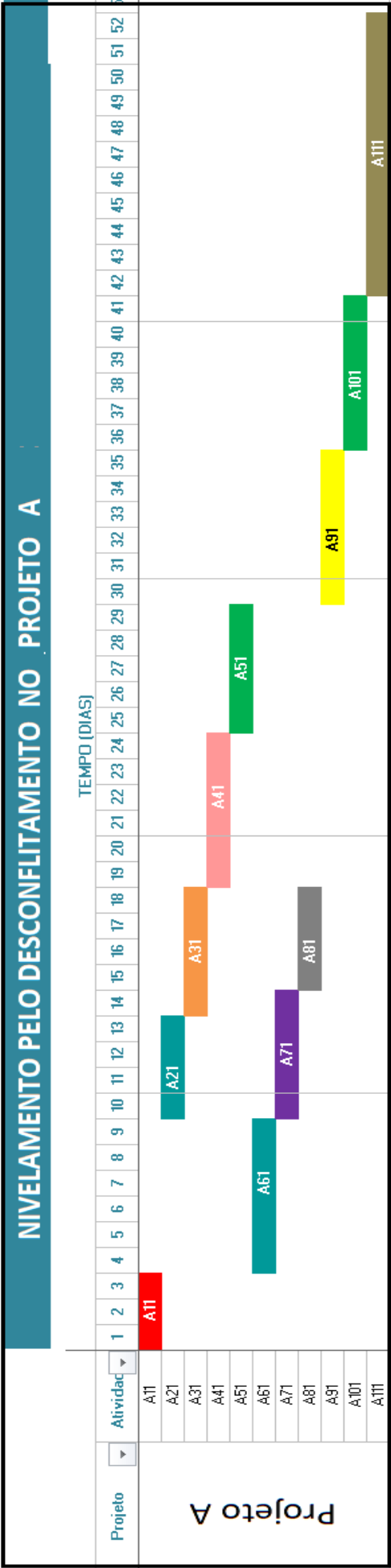


Figura 67. Desconflitamento do Projeto A pelo escalonamento.

Fonte: Dados da pesquisa

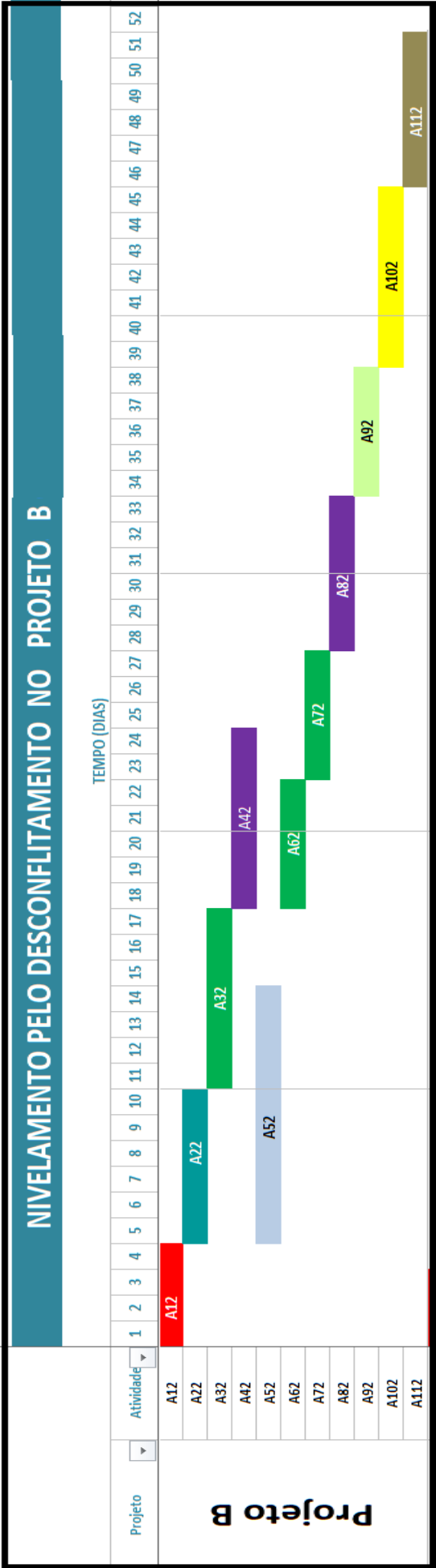


Figura 68. Desconflitamento do Projeto B pelo escalonamento.

Fonte: Dados da pesquisa

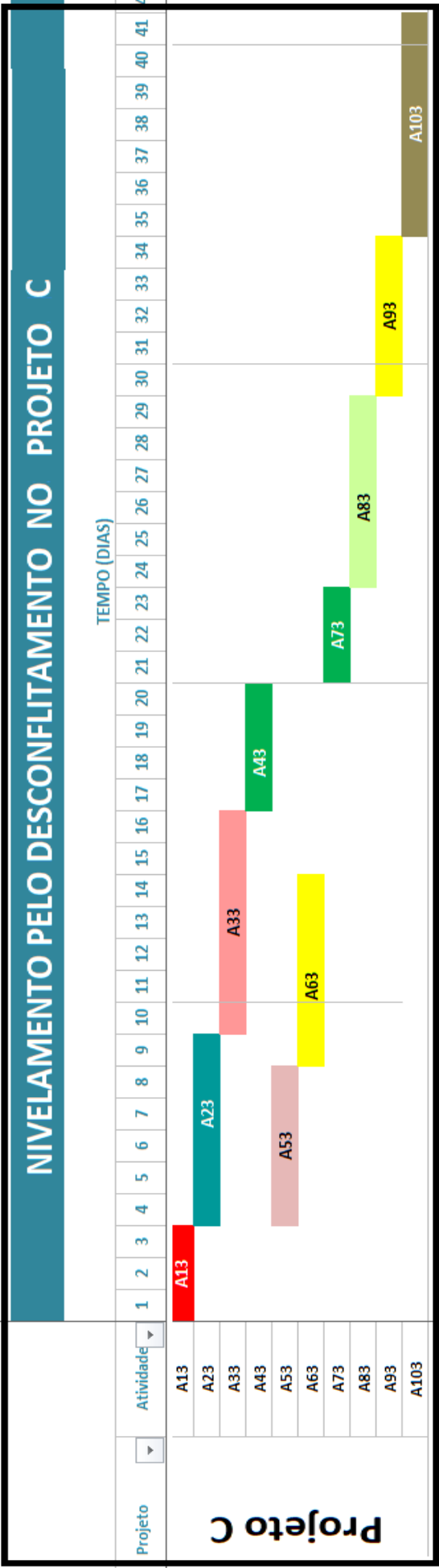


Figura 69. Desconflitamento do Projeto C pelo escalonamento.

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 70 apresenta os três projetos escalonados depois de serem desconflitados pelo nivelamento de recursos, atendendo as atividades pelo uso de recursos críticos ou compartilhados, e que estão disponíveis em determinados períodos ou em quantidade limitadas.

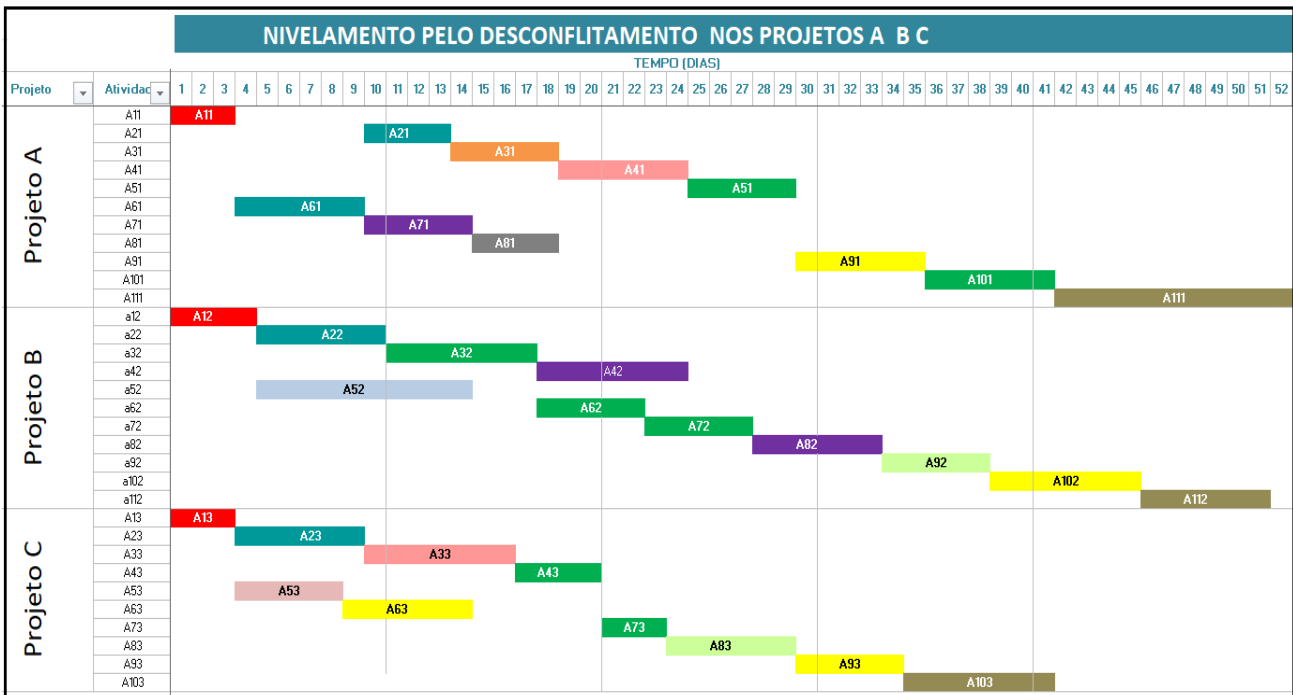


Figura 70. Desconflitamento dos três projetos (A, B e C).

Fonte: Dados da pesquisa

Identificação da Corrente Crítica

Após o desconflitamento o caminho mais longo será a corrente crítica, como é mostrado nas Figuras 71, 72 e 73 para os projetos A; B; C, onde a linha vermelha tracejada indica o caminho da corrente crítica.

No projeto A, visto na Figura 71, o conflito das atividades A_{21} e A_{61} foi feito pela heurística de desconflitamento na decisão da regra da prioridade (MOF), e o tempo no caminho crítico que era 46 dias passou a ser de 52 dias na corrente crítica.

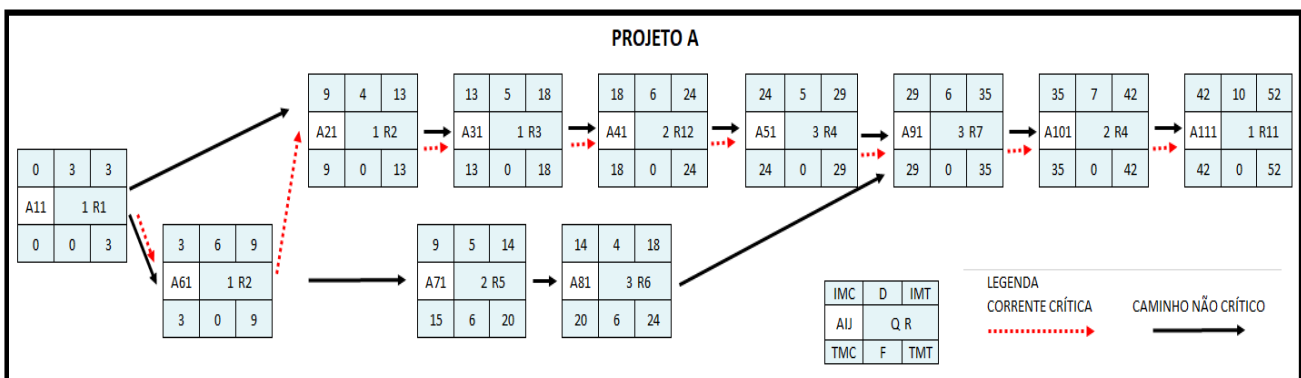


Figura 71. Identificação do caminho da corrente crítica no Projeto A.

Fonte: Dados da pesquisa

No projeto B, o caminho crítico que era 48 dias na corrente crítica passou a ser de 51 dias, como pode ser visto na Figura 72.

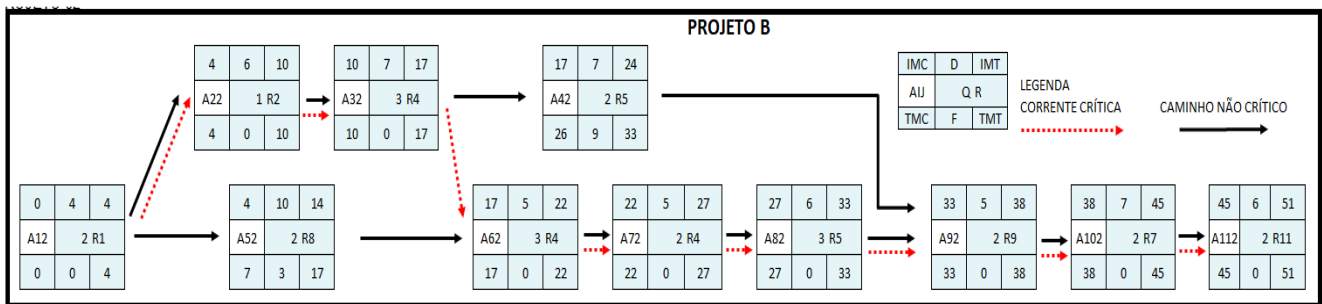


Figura 72. Identificação do caminho da corrente crítica no Projeto B.

Fonte: Dados da pesquisa

No projeto C, o conflito era nas atividades (A_{43} e A_{73}), a decisão se deu pela regra de prioridade em que atividade A_{43} , tem maior tempo de duração (MOF). O caminho crítico 38 dias e passou a ser 41 dias na corrente crítica conforme a Figura 73.

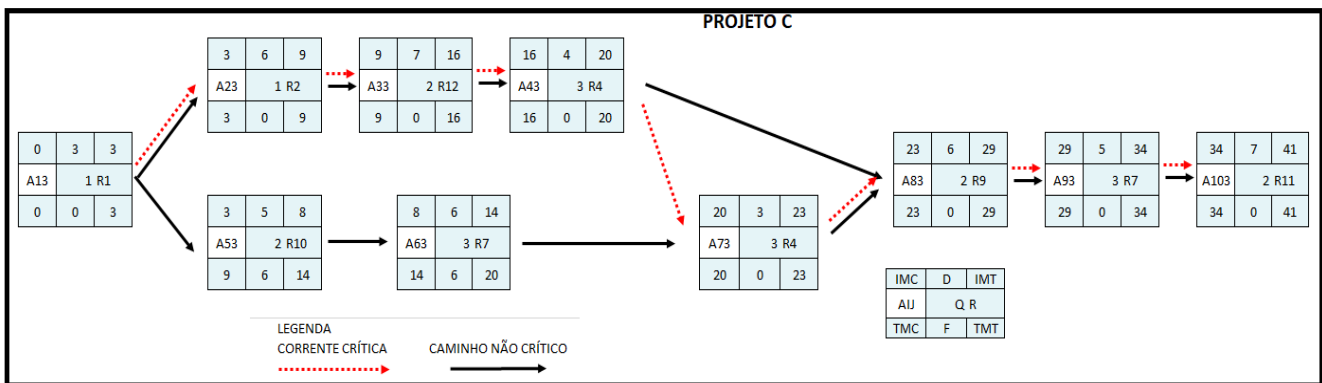


Figura 73. Identificação do caminho da corrente crítica no Projeto C.

Fonte: Dados da pesquisa

Redução da estimativa de duração das atividades por meio da FMEA

Após o desenvolvimento da corrente crítica de todos os projetos, seguiu-se a redução das margens de segurança que variaram de acordo com a percepção gerencial adotada para esta proposta, com a interpolação entre o valor $FR_{(atraso)}$ e variação percentual de corte entre 33% a 50%. Utilizou-se a técnica da FMEA nas atividades dos projetos que se encontra no Anexo A.

A Figura 74 apresenta o resumo dos resultados, em uma planilha que envolve os três projetos (A, B e C) com os valores de tempo nas atividades sem corte e desconflitados, e com corte depois da aplicação da ferramenta FMEA já desconflitados. Na célula amarela, encontram-se os valores da duração nas atividades antes do corte e já na célula vermelha o valor da duração final após o corte pela decisão da FMEA.

VALORES SEM CORTE E DESCONFLITADOS														VALORES COM CORTE E DESCONFLITADOS													
P	A(n)	Aij	tp	tm	To	d	imc	imt	tmc	tmt	F	DURAÇÃO APÓS CORTE	imc	imt	tmc	tmt	F										
1	1	A11	1	3	5	3,0	0	3	0	3	0	1,7	0,0	1,7	0,0	1,7	0,0										
1	2	A21	2	4	6	4,0	9	13	9	13	0	2,2	5,3	7,5	5,3	7,5	0,0										
1	3	A31	3	5	7	5,0	13	18	13	18	0	2,8	7,5	10,2	7,5	10,2	0,0										
1	4	A41	4	6	8	6,0	18	24	18	24	0	3,3	10,2	13,5	10,2	13,5	0,0										
1	5	A51	3	5	7	5,0	24	29	24	29	0	2,8	13,5	16,3	13,5	16,3	0,0										
1	6	A61	4	6	8	6,0	3	9	3	9	0	3,6	1,7	5,3	1,7	5,3	0,0										
1	7	A71	3	5	7	5,0	9	14	15	20	6	3,3	5,3	8,5	10,4	13,7	5,2										
1	8	A81	2	4	6	4,0	14	18	20	24	6	2,6	8,5	11,1	13,7	16,3	5,2										
1	9	A91	4	6	8	6,0	29	35	29	35	0	3,3	16,3	19,6	16,3	19,6	0,0										
1	10	A101	5	7	9	7,0	35	42	35	42	0	4,2	19,6	23,8	19,6	23,8	0,0										
1	11	A111	8	10	12	10,0	42	52	42	52	0	6,0	23,8	29,8	23,8	29,8	0,0										
2	1	A12	2	4	6	4,0	0	4	0	4	0	2,2	0,0	2,2	0,0	2,2	0,0										
2	2	A22	4	6	8	6,0	4	10	4	10	0	3,3	2,2	5,5	2,2	5,5	0,0										
2	3	A32	5	7	9	7,0	10	17	10	17	0	4,2	5,5	9,7	5,5	9,7	0,0										
2	4	A42	5	7	9	7,0	17	24	26	33	9	4,6	9,7	14,3	14,8	19,3	5,0										
2	5	A52	8	10	12	10,0	4	14	7	17	3	6,5	2,2	8,7	3,2	9,7	1,0										
2	6	A62	3	5	7	5,0	17	22	17	22	0	3,0	9,7	12,7	9,7	12,7	0,0										
2	7	A72	3	5	7	5,0	22	27	22	27	0	3,0	12,7	15,7	12,7	15,7	0,0										
2	8	A82	4	6	8	6,0	27	33	27	33	0	3,6	15,7	19,3	15,7	19,3	0,0										
2	9	A92	3	5	7	5,0	33	38	33	38	0	3,0	19,3	22,3	19,3	22,3	0,0										
2	10	A102	5	7	9	7,0	38	45	38	45	0	4,2	22,3	26,5	22,3	26,5	0,0										
2	11	A112	4	6	8	6,0	45	51	45	51	0	3,6	26,5	30,1	26,5	30,1	0,0										
3	1	A13	1	3	5	3,0	0	3	0	3	0	1,7	0,0	1,7	0,0	1,7	0,0										
3	2	A23	4	6	8	6,0	3	9	3	9	0	3,3	1,7	5,0	1,7	5,0	0,0										
3	3	A33	5	7	9	7,0	9	16	9	16	0	3,9	5,0	8,8	5,0	8,8	0,0										
3	4	A43	2	4	6	4,0	16	20	16	20	0	2,4	8,8	11,2	8,8	11,2	0,0										
3	5	A53	3	5	7	5,0	3	8	9	14	6	3,3	1,7	4,9	1,7	4,9	0,0										
3	6	A63	4	6	8	6,0	8	14	14	20	6	3,9	4,9	8,8	4,9	11,2	2,4										
3	7	A73	1	3	5	3,0	20	23	20	23	0	1,8	11,2	13,0	11,2	13,0	0,0										
3	8	A83	4	6	8	6,0	23	29	23	29	0	3,6	13,0	16,6	13,0	16,6	0,0										
3	9	A93	3	5	7	5,0	29	34	29	34	0	3,0	16,6	19,6	16,6	19,6	0,0										
3	10	A103	5	7	9	7,0	34	41	34	41	0	4,2	19,6	23,8	19,6	23,8	0,0										

Figura 74. Planilha de valores das atividades sem corte e com corte nos tempos pela FMEA.

Fonte: Dados da pesquisa

Dimensionamento do tamanho e adição dos Pulmões (PP) e (PA)

A partir da Equação (16), o valor do pulmão de projeto foi calculado baseado em uma planilha geral (Anexo F) que gerou os Quadros 29, 30 e 31, em que representam os valores das parcelas das variáveis de influências do pulmão de tempo (FAPT) baseado no Quadro 26 para todas as atividades da corrente crítica nos projetos A, B e C.

Para a parcela da equação (Cri) (fator de complexidade da rede na atividade) foram dadas para atividade que estão na corrente crítica um valor atribuído pela sua posição na rede com relação às predecessoras como é explicado na Equação (8), com resultado visto em Anexo C para os três projetos.

Para a parcela KIP (fator de ajuste para natureza do projeto) foi calculado pela Equação (11) e tem o resultado da multiplicação das duas Equações (9) e (10) (Anexo B).

Para a parcela (Rti) (fator de ponderações para incerteza associada à disponibilidade de recursos consumidos no tempo programado) calculada na Equação (7) com resultado no Anexo D.

No fator de flexibilidade (escala de mensuração atribuída pelo gestor de projeto), é atribuído um valor para atividade mediante critério por uma nota, conforme o resultado no Anexo E.

Para o cálculo do desvio padrão dos tempos foram gerados 100 números aleatório no *Software Excel*, que teve intervalo entre os tempos estimados pessimistas e otimistas em cada atividade seguindo uma distribuição triangular.

Os Quadros 29, 30 e 31 referem-se às atividades que estão na corrente crítica do projeto A, B e C e que contribuíram para cálculo do pulmão de projeto (Anexo F).

Quadro 29. Valores das parcelas variáveis do FAPT para cálculo do Pulmão Projeto (PP) do Projeto A

PROJETO A								
Atividade (Corrente crítica)	CRI	KIP	Fator Recurso (Rti)	Fator Flexibilidade (1+Fa)	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão de Projeto
A ₁₁	0,11	0,204	0,5	1	1,41	4,45	10,035	10,22
A ₂₁	0,33	0,204	1	1,3	1,31	11,56		
A ₃₁	0,44	0,204	1	1,3	1,48	14,86		
A ₄₁	0,56	0,204	0,67	1,6	1,44	14,66		
A ₅₁	0,67	0,204	0,43	1,6	1,44	10,76		
A ₆₁	0,22	0,204	1	1,3	1,34	16,13		
A ₉₁	0,78	0,204	0,43	1,6	1,31	8,94		
A ₁₀₁	0,89	0,204	0,29	1,6	1,46	9,07		
A ₁₁₁	1	0,204	0,33	2	1,41	14,2		

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 30. Valores das parcelas variáveis do FAPT para cálculo do Pulmão Projeto (PP) do Projeto B

PROJETO B								
Atividade (Corrente crítica)	CRI	KIP	Fator Recurso (Rti)	Fator Flexibilidade (1+Fa)	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão de Projeto
A ₁₂	0,11	0,188	1	1	1,42	8,04	10,143	9,53
A ₂₂	0,22	0,188	1	1,3	1,39	13,09		
A ₃₂	0,33	0,188	0,43	1,3	1,46	7,34		
A ₆₂	0,44	0,188	0,43	1,6	1,35	9,46		
A ₇₂	0,56	0,188	0,29	1,6	1,43	8,7		
A ₈₂	0,67	0,188	0,75	1,6	1,43	16,13		
A ₉₂	0,78	0,188	0,5	1,6	1,24	8,85		
A ₁₀₂	0,89	0,188	0,29	1,6	1,41	8,38		
A ₁₁₂	1	0,188	0,67	2	1,44	22,89		

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 31. Valores das parcelas variáveis do FAPT para cálculo do Pulmão Projeto (PP) do Projeto C.

PROJETO C								
Atividade (Corrente crítica)	CRI	KIP	Fator Recurso (Rti)	Fator Flexibilidade (1+Fa)	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão de Projeto
A ₁₃	0,13	0,178	0,5	1	1,37	4,19	9,686	7,74
A ₂₃	0,25	0,178	1	1,3	1,46	14,34		
A ₃₃	0,38	0,178	0,67	1,3	1,4	9,17		
A ₄₃	0,5	0,178	0,43	1,6	1,38	10,01		
A ₇₃	0,63	0,178	0,43	1,6	1,28	8,6		
A ₈₃	0,75	0,178	0,5	1,6	1,38	11,02		
A ₉₃	0,88	0,178	0,43	1,6	1,52	12,07		
A ₁₀₃	1	0,178	0,67	2	1,48	24,42		

Fonte: Dados da pesquisa

Para determinação do Pulmão de Alimentação dos projetos foi desenvolvido pelas atividades que estão no caminho da rede que protege a corrente crítica, ou seja, as atividades da corrente não crítica que estão representadas no Quadro 32 (Anexo G).

Quadro 32. Valores das parcelas das variáveis do FAPT para Pulmão de Alimentação (PA).

PROJETO A								
Atividade (Corrente não crítica)	CRI	KIP	Fator Re- curso (Rti)	Fator Fle- xibilidade (1+Fa)	Desvio Pa- drão	Soma	Raiz	Pulmão de Ali- menta- ção
A ₁₁	0,11	0,204	0,5	1	1,41	4,45	6,69	1,82
A ₆₁	0,22	0,204	1	1,3	1,34	12,21		
A ₇₁	0,43	0,204	0,5	1,6	1,48	12,58		
A ₈₁	0,57	0,204	0,75	1,6	1,41	15,52		
PROJETO B								
Atividade (Corrente não crítica)	CRI	KIP	Fator Re- curso (Rti)	Fator Fle- xibilidade (1+Fa)	Desvio Pa- drão	Soma	Raiz	Pulmão de Ali- menta- ção
A ₁₂	0,11	0,188	1	1	1,42	8,04	6,25	1,45
A ₂₂	0,22	0,188	1	1,3	1,39	13,09		
A ₃₂	0,33	0,188	0,43	1,3	1,46	7,34		
A ₄₂	0,57	0,188	0,5	1,6	1,36	10,63		
A12	0,11	0,188	1	1	1,42	8,04	4,06	0,28
A52	0,25	0,188	0,67	1,3	1,34	8,46		
PROJETO C								
Atividade (Corrente não crítica)	CRI	KIP	Fator Re- curso (Rti)	Fator Fle- xibilidade (1+Fa)	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão de Ali- menta- ção
A ₁₃	0,13	0,178	0,5	1	1,37	4,19	5,45	0,81
A ₅₃	0,29	0,178	0,67	1,6	1,4	13,86		
A ₆₃	0,43	0,178	0,43	1,6	1,5	11,7		

Fonte: Dados da pesquisa

A posição dos Pulmões de Projeto (PP) e Alimentação (PA) nas redes de projeto é apresentada pela Figura 75 e pode-se destacar que os projetos A e C tem cada um deles, apenas um pulmão de alimentação para proteção da corrente crítica, enquanto que o projeto B já possui dois pulmões de alimentação, um que protege a corrente crítica do possível atraso pela atividade (A₄₂) e o outro do atraso pela atividade (A₅₂).

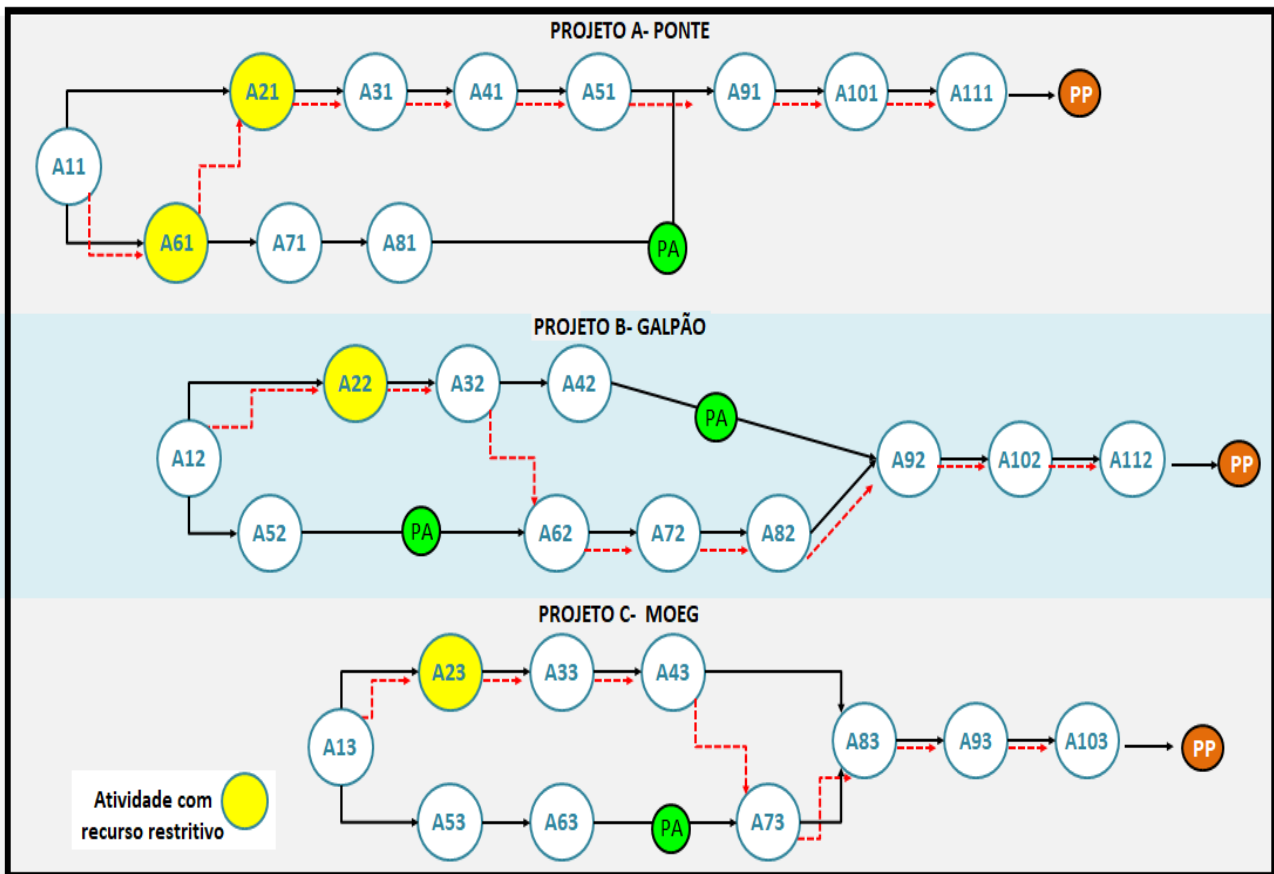


Figura 75. Posição dos pulmões (PP) e (PA) nas redes dos Projetos A, B e C.

Fonte: Dados da pesquisa

Após o cálculo da redução dos tempos nas atividades e o dimensionamento dos pulmões de tempo, houve o escalonamento dos projetos (A, B e C) com adição do Pulmão de Projeto (PP) e o Pulmão de Alimentação (PA), em que pode ser visto na Figura 76.

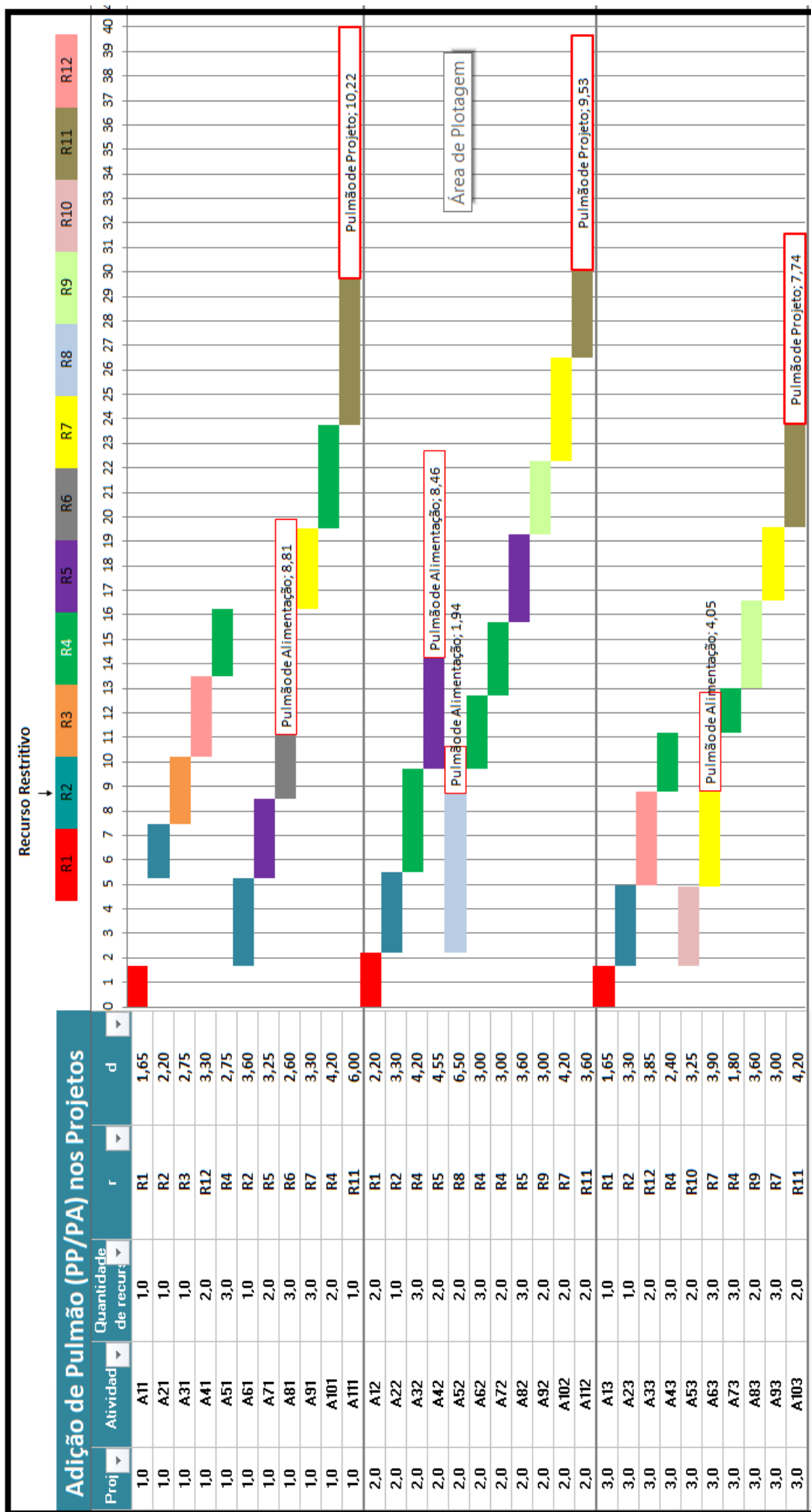


Figura 76 Adição dos Pulmões de Projeto (PP) e Alimentação (PA) nos Projetos.

Fonte: Dados da pesquisa

Ambiente de Múltiplos Projetos (AMP)

Esta fase é dada pela aplicação do algoritmo de gerenciamento dos projetos em ambiente de múltiplos projetos da Figura 47, que tem o objetivo de identificação do recurso crítico, adicionar o pulmão de capacidade (PC) entre os projetos e consolidar as interferências entre os projetos através da resolução do conflito entre os projetos.

Identificação do recurso restritivo entre os projetos

Nesta etapa como foi descrito do item (4.4.1), foi feita a identificação do recurso restritivo pela maior soma da duração das atividades na corrente crítica, no cronograma gerado para cada projeto com utilização da Equação (18).

O Quadro 33 apresenta o somatório de todos os recursos consumidos nas atividades dos projetos em que foi constatado que o recurso (R2) tem o maior valor na sua taxa de consumo dentre outros, ou seja, é um tipo de recurso que limita a quantidade de execução das atividades no sistema.

Quadro 33. Descrição do consumo dos recursos nas atividades dos projetos.

Recursos Usados da Corrente Crítica dos Projetos													
Projeto	Atividades (CC)	R1	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10	R11	R12
A	A ₁₁	1											
A	A ₆₁		1										
A	A ₂₁		1										
A	A ₃₁			1									
A	A ₄₁												2
A	A ₅₁				3								
A	A ₉₁							3					
A	A _{10,1}				2								
A	A _{11,1}											1	
B	A ₁₂	2											
B	A ₂₂		1										
B	A ₃₂				3								
B	A ₆₂				3								
B	A ₇₂				2								
B	A ₈₂					3							
B	A ₉₂									2			
B	A _{10,2}							2					
B	A _{11,2}											2	
C	A ₁₃	1											
C	A ₂₃		1										
C	A ₃₃												2
C	A ₄₃				3								
C	A ₇₃				3								

C	A ₈₃									2			
C	A ₉₃							3					
C	A _{10,3}											2	
Total usado		4	4	1	19	3	0	8	0	4	0	5	4
Disponibilidade		2	1	1	5	4	4	7	3	4	3	3	3
Taxa de consumo de recurso		2,0	4,0	1,0	3,8	0,8	0,0	1,1	0,0	1,0	0,0	1,7	1,3

Fonte: Dados da pesquisa

Priorização do projeto para início da programação

Os recursos passam a desempenhar um papel de maior destaque na metodologia CCPM. A proposta é trabalhar com os recursos compartilhados e que tem maior demanda aos diversos projetos de uma forma sincronizada. Estes recursos sincronizados são escalonados entre os vários projetos empreendidos, através da reprogramação da rede e do cuidado para evitar possíveis restrições. Dessa forma, é possível precaver conflitos por recursos comuns para mais de um projeto, reduzindo significativamente a multitarefa.

O cronograma, montado através do sincronismo de recursos permite que a organização tome a decisão de iniciar ou não novos projetos de maneira muito mais consciente. A ideia é permitir, que os projetos sejam completados em muito menos tempo em relação à capacidade da empresa e, ainda, revelar novas capacidades adicionais não identificadas anteriormente.

A prioridade, quando se utiliza a CCPM, é dada pelo recurso restritivo determinado pela soma total do seu consumo nas atividades que se encontram na corrente crítica

Dentre os projetos selecionados, o projeto “A” recebeu a prioridade por tratar-se do projeto com a maior quantidade de recurso restritivo consumido na corrente crítica (2 unidades), e os projeto “B” e “C” tem mesmo valor do recurso restritivo (1 unidade), mas no entanto, a decisão pelo segundo lugar tem como critério a maior quantidade de atividade na corrente crítica e que neste caso, é Projeto “B” com (9) atividades na corrente crítica e Projeto C com 8 atividades, conforme seguinte a relação

$$(RC \text{ Projeto A}) > (RC \text{ Projeto B}) > (RC \text{ Projeto C})$$

Escalonamento dos projetos baseado pelo recurso restritivo

A Figura 77 mostra o escalonamento entre os projetos pelo recurso (R2) (restritivo), como sendo “elo” entre os projetos levando em consideração toda trajetória de uso do recurso crítico entre as atividades. Esta etapa corresponde à sincronização sequencial dos projetos por meio da ligação do recurso crítico de um projeto a outro.

A escolha do início do escalonamento entre projetos, foi baseada pelo maior consumo do recurso restritivo entre os projetos. A prioridade de projetos em ambiente de múltiplos projetos é adotada pelo aspecto de consumo do recurso gar-

galo (R2) do sistema.

O escalonamento dos projetos pelo recurso crítico (*Drum Scheduling*) deve ser realizado, levando em consideração toda trajetória de uso do recurso restritivo entre as atividades, formando assim a Corrente Crítica em um ambiente de múltiplos projetos como pode ser visto na Figura 77, que é identificada pelo caminho das setas “vermelhas”.

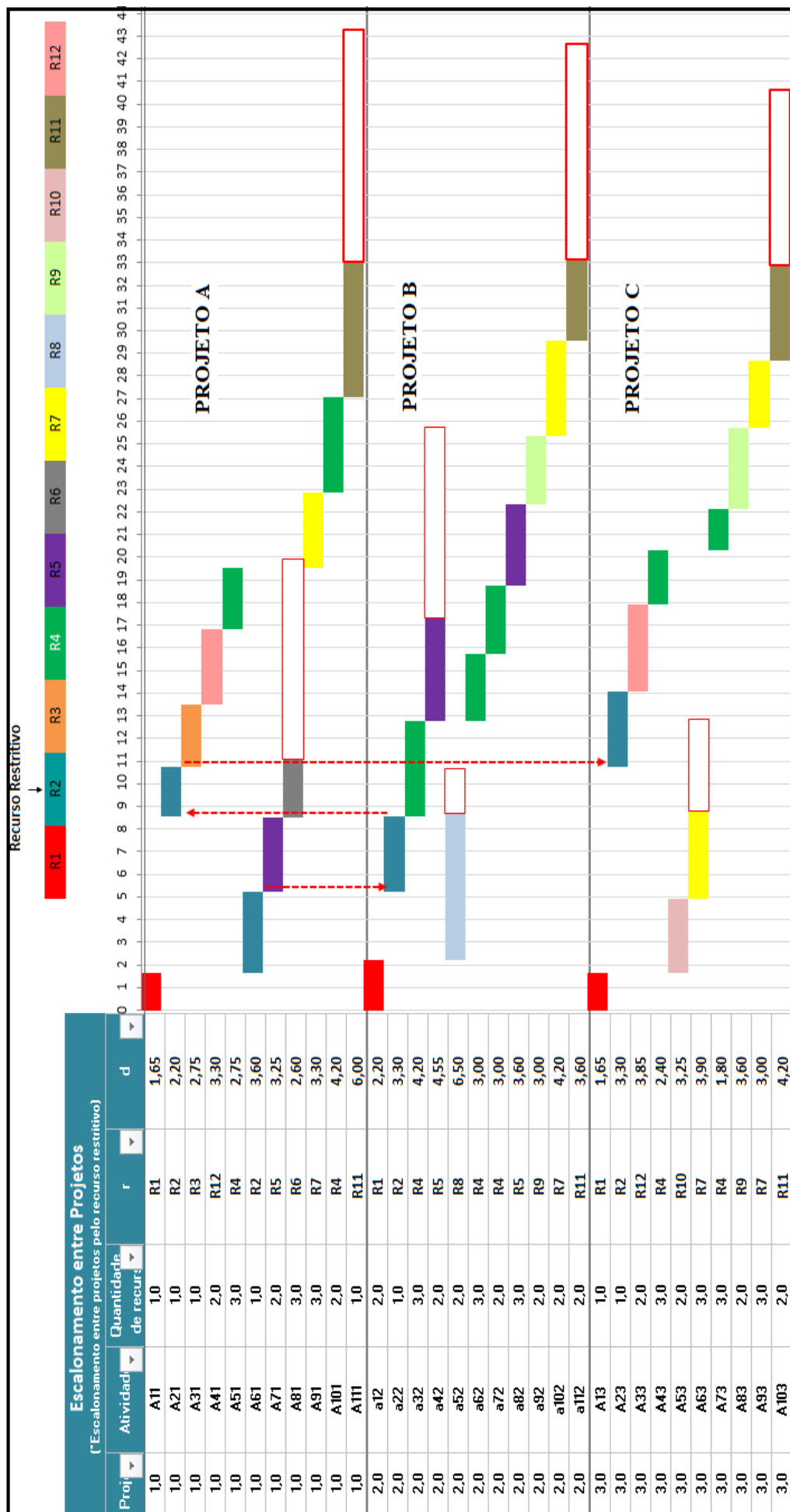


Figura 77. Escalonamento entre projetos pelo recurso restritivo (R2).

Fonte: Dados da pesquisa

Adição dos Pulmões (PP) (PA) e (PC)

Após o escalonamento entre projetos, devem-se adicionar os Pulmões de Projeto (PP), Pulmão de Alimentação e Pulmão de Capacidade (PC). A Figura 78 apresenta a posição dos pulmões (PP) e (PA), mas neste ambiente de múltiplos projetos também é trabalhado o pulmão capacidade (ou recurso) que é um valor de 50 % do recurso crítico das atividades do caminho crítico e devem trabalhar em uma única tarefa de cada vez. Estes recursos não devem ser utilizados em várias tarefas em paralelo, e nem suspender o trabalho nas atividades da corrente crítica para realizar outro tipo de trabalho.

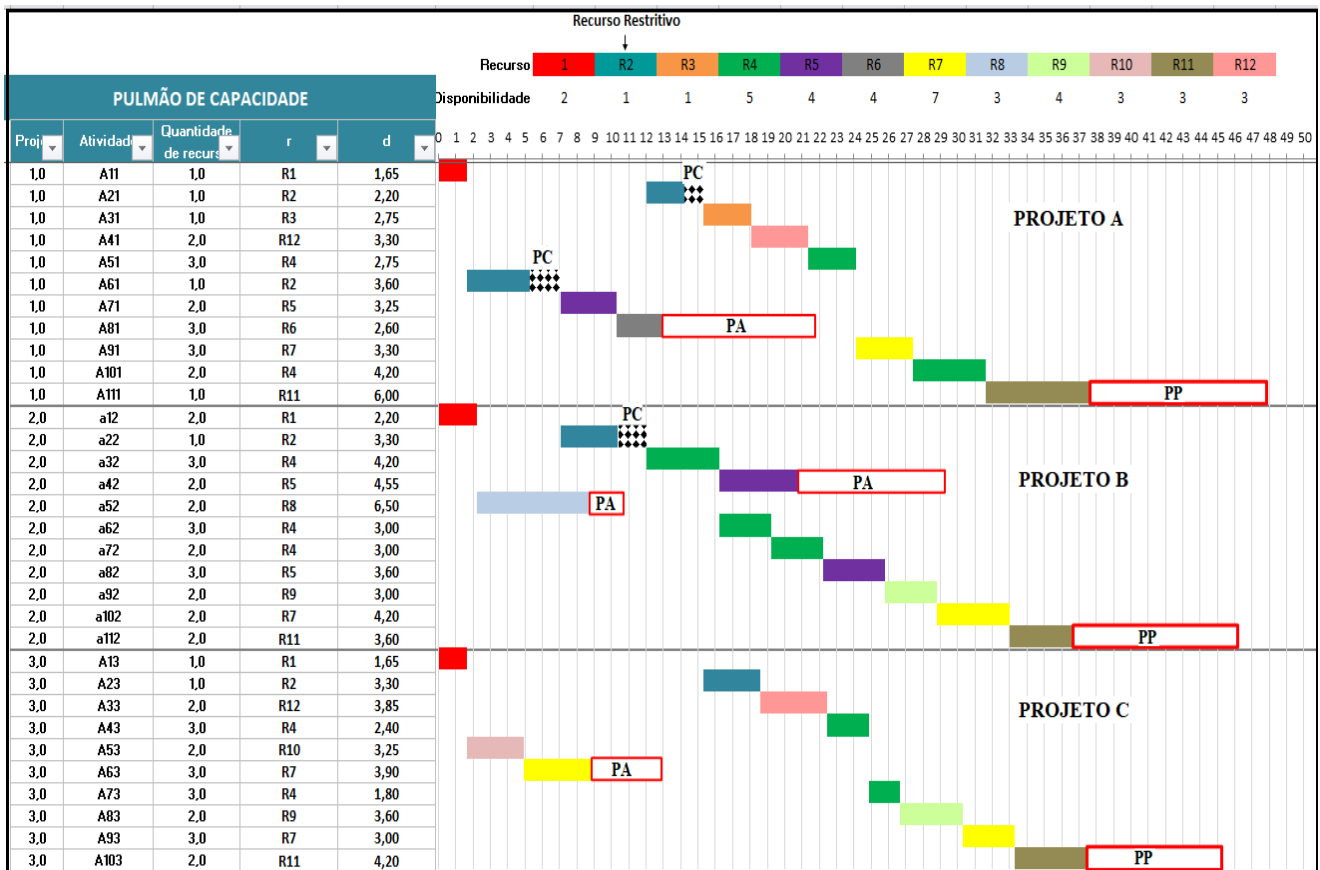


Figura 78. Escalonamentos entre projetos com adição dos Pulmões (Projeto; Alimentação e Recurso).

Fonte: Dados da pesquisa

Identificação dos conflitos entre os projetos após escalonamento

Após o escalonamento entre os projetos da etapa anterior verificaram-se os conflitos na Figura 79 entre as atividades (A_{11} , A_{12} , A_{13}), (A_{41} , A_{33}); (A_{51} e A_{43}) e (A_{111} , A_{112} , A_{103}) em um ambiente de múltiplos projetos.

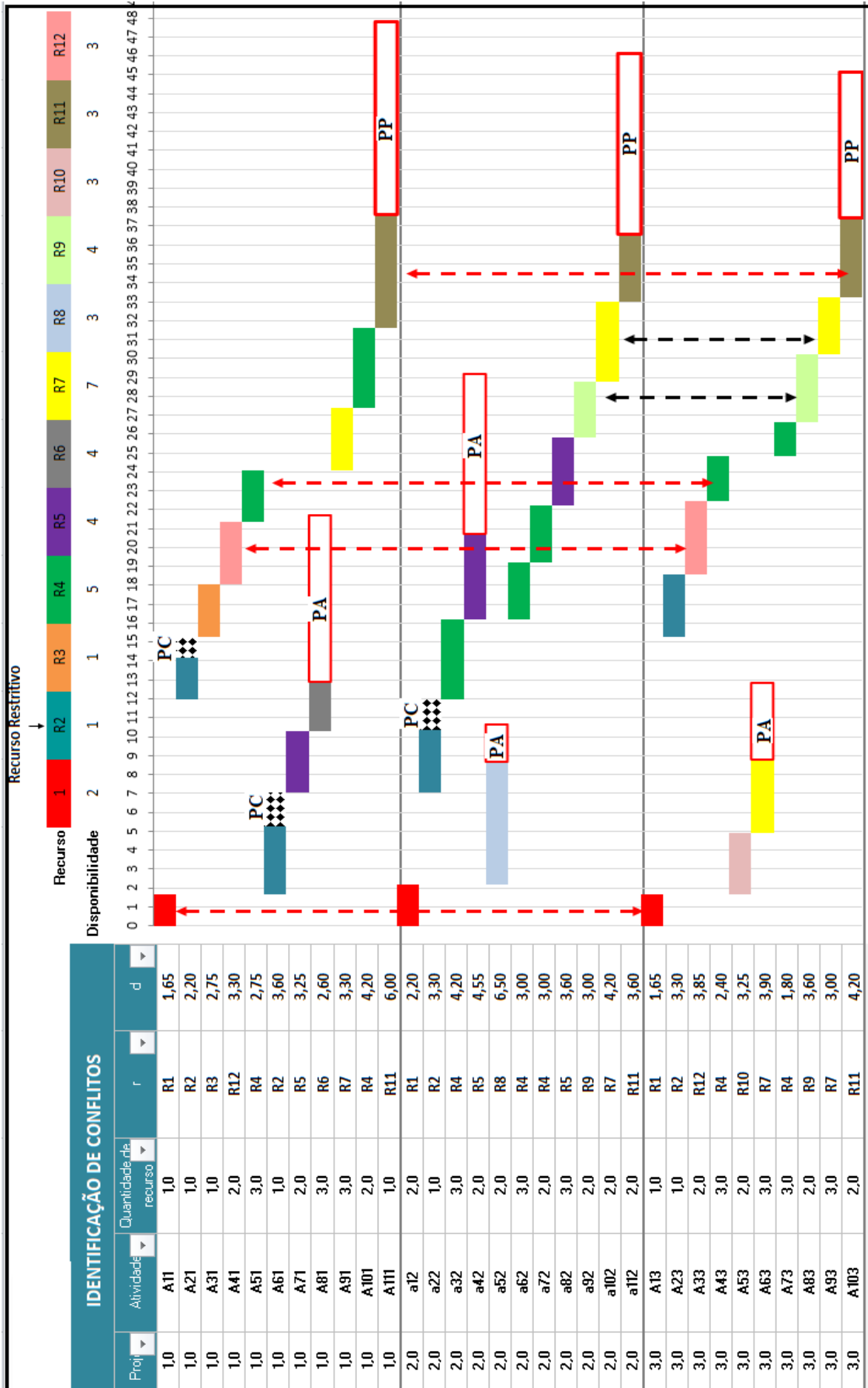


Figura 79. Identificação de conflitos entre Projetos no AMP.

Fonte: Dados da pesquisa

Desconflitamento entre projetos

O processo de desconflitamento entre atividades dos quatro grupos: (A_{11} , A_{12} , A_{13}), (A_{41} , A_{33}); (A_{51} e A_{43}) e (A_{111} , A_{112} , A_{103}) obedeceu a heurística pelo processo da decisão da atividade que consome maior conteúdo de trabalho na rede. O Quadro 34 apresenta um demonstrativo resumido do critério de decisão pela heurística (MAXTWK) para as atividades em conflitos nos três projetos.

Quadro 34. Critério de decisão entre atividades em conflitos.

Regra da prioridade para decisão de desconflitamento			
Atividades	Recurso	Maior conteúdo de trabalho (MAXTWK)	Prioridade
$A_{11} - A_{12} - A_{13}$	R1	A_{12}	A_{12}
$A_{41} - A_{33}$	R12	A_{41}^*	A_{41}
$A_{51} - A_{43}$	R4	-**	-
$A_{111} - A_{112} - A_{103}$	R11	A_{112}^{***}	A_{112}
* A_{41} tem maior conteúdo de trabalho na rede predecessora em relação a A_{33} , conforme a regra de prioridade (MAXTWK)			
**Desconflitados pelos desconflitamentos das atividades anteriores			
*** A_{112} tem maior conteúdo de trabalho na rede predecessora da corrente crítica em relação a A_{103}			
A_{112} – Recurso 11 teve maior prioridade, A_{111} teve 2ª maior prioridade e A_{103} teve menor prioridade.			
A_{112} não se movimenta e entre atividade A_{111} e A_{103} , A_{103} se movimenta por ter menor prioridade.			

Fonte: Dados da pesquisa

Após o processo de decisão para os desconflitamentos dos quatro grupos de conflitos, foi construído um escalonamento envolvendo os três projetos com os pulmões adicionados, visto na Figura 80.

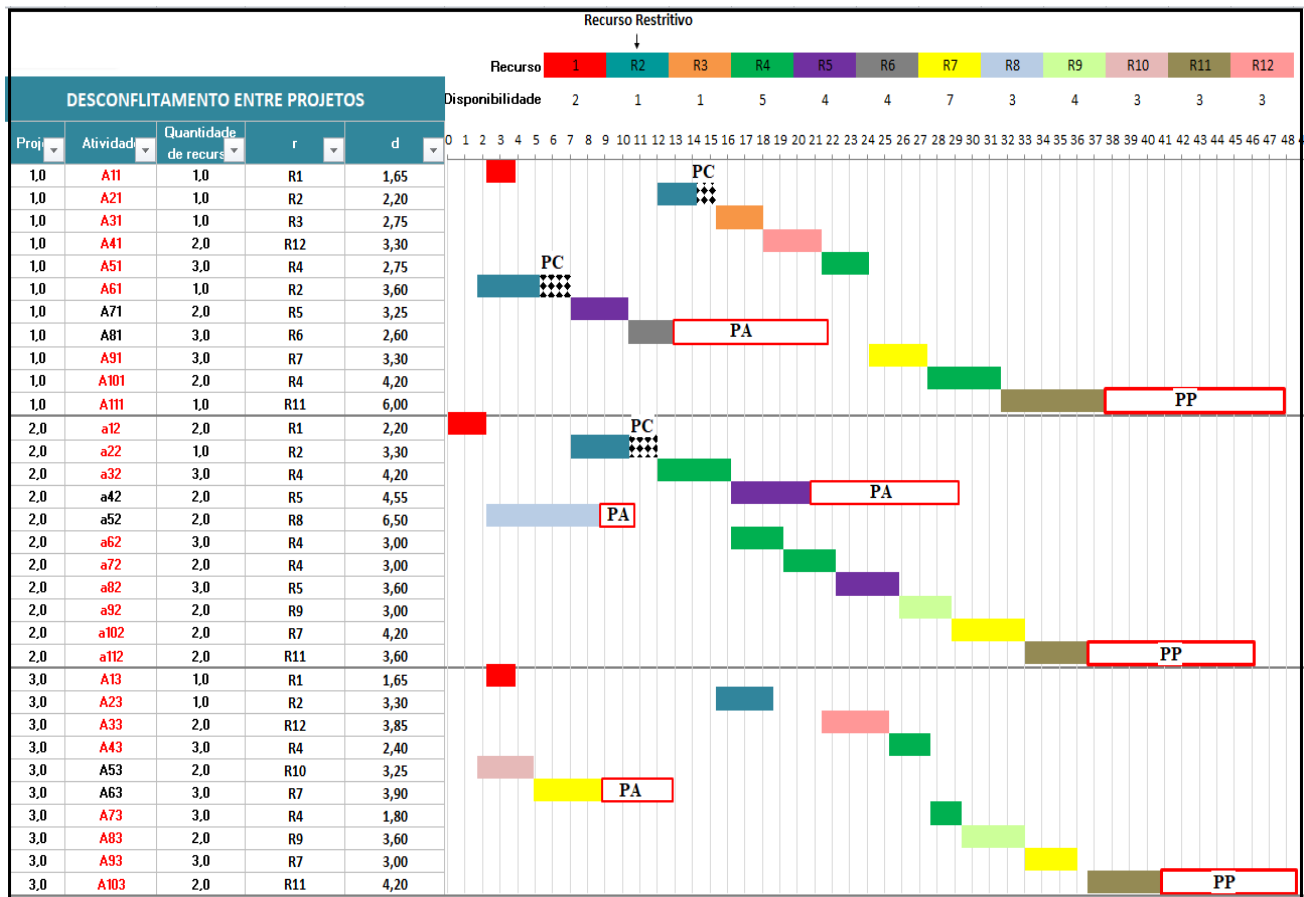


Figura 80. Escalonamento entre projetos depois do desconflitamento.

Fonte: Dados da pesquisa

Gerenciamento dos projetos pelo monitoramento de Pulmões de Projeto (PP)

Esta etapa do processo de monitoramento e controle do trabalho consistiu em coletar, avaliar o cronograma de atividades de cada projeto pela carga de trabalho planejada e realizada (real). Com isto foram elaborados os gráficos de monitoramento dos pulmões de tempo, analisados a cada 10 dias, por meio de reuniões entre a equipe de projeto e a coordenação do EPCP. Tal monitoramento incluiu a emissão dos relatórios de andamento, medição do progresso e previsão para conclusão de atividades.

Desta forma as atividades foram indicadas nos cronogramas por meio do tempo de execução, estabelecido pela quantidade de tempo da corrente crítica (CCPM) e acrescido do tamanho do pulmão de tempo.

No Quadro 35 podem ser observados os tempos totais de cada um dos três projetos, assim como suas datas de início e término apresentadas pelas propostas iniciais e que foram consideradas cinco dias úteis por semana, com jornada normal de oito horas diárias.

Quadro 35. Duração inicial dos projetos.

Projeto	Duração	Início	Término
Projeto A	40 dias	Terça 09/01	Sexta 23/03
Projeto B	41 dias	Segunda 08/01	Segunda 26/02
Projeto c	31 dias	Segunda 08/01	Quinta 22/02

Fonte: Dados da pesquisa

Dessa forma, depois de aplicar os conceitos do método CCPM ao planejamento das atividades, um novo tempo para realização dos projetos foi obtido. Os resultados podem ser analisados no Quadro 36 em que aparece com destaque o valor do pulmão de projeto (PP) adicionado no tempo total para os três projetos.

Quadro 36. Duração dos projetos aplicados CCPM.

Planejado	Tempo CC	Pulmão	Total
Projeto A	29,8	10,22	40,02 dias
Projeto B	30,1	9,53	39,63 dias
Projeto C	23,8	7,74	31,54 dias
TOTAL			890,96h

Fonte: Dados da pesquisa

A partir dos cronogramas individuais dos projetos teve-se a etapa seguinte de acompanhamento do uso de pulmão de projeto com auxílio de planilhas eletrônicas, conforme o Apêndice B.

O Quadro 37 é o resultado do acompanhamento e monitoramento dos três projetos em cinco períodos de tempos diferentes. O dia 13/01 de janeiro foi o primeiro período levantado e 27 de fevereiro o último período. No final do período (27/02) o projeto A consumiu 89,5%, o B 72,4% e o C 97,6% do pulmão de projeto (PP).

Quadro 37. Quadro demonstrativo de execução dos projetos com pulmão consumido (PP).

Período	13/1		25/1		3/2		15/2		27/2	
Projeto	Executado	Pulmão consumido	Executado	Pulmão consumido	Executado	Pulmão consumido	Executado	Pulmão consumido	Executado	Pulmão consumido
A	21%	43,5%	41%	49,9%	58%	51,4%	75%	48,4%	100%	89,5%
B	20%	36,7%	48%	68,2%	72%	56,7%	87%	47,2%	100%	72,4%
C	28%	64,6%	37%	51,7%	57%	84,7%	75%	71,7%	97%	97,6%

Fonte: Dados da pesquisa

Conforme o Quadro 37, resultou-se que: o projeto A teve 1 dia de atraso (planejado no dia 23/02 e entregue 27/02); o projeto B teve 1 dia de atraso (planejado 26/02/ e entregue dia 27/02) e projeto C não tinha encerrado (5 dias de atraso e utilizado 97,6% de pulmão).

A Figura 80 mostra um gráfico que o eixo horizontal representa os dias úteis de trabalho, atribuído como período de tempo (dividido em seis intervalos de 10 dias) e o eixo vertical representa a carga de trabalho acumulada em dias. A linha

laranja representa a carga de trabalho planejada e na cor lilás a executada.

Ainda na Figura 81, mostra que entre 5/01 e 15/01 houve uma de carga de trabalho maior executada (real) em relação ao que foi planejada. Neste intervalo consumiu mais pulmão de tempo e se estendeu até o início do segundo período; logo em seguida ocorreu uma recuperação do pulmão devido à redução da carga de trabalho de aproximadamente 2 para 1,5 dias.

Do segundo e terceiro período até a metade do quarto houve uma pequena variação de ganho e perda de tempo. Mas o projeto teve um pico de consumo de tempo entre o realizado pelo planejado na metade do quinto até a sua finalização, e que continuou superando o planejado até sua finalização dia 27 de fevereiro.

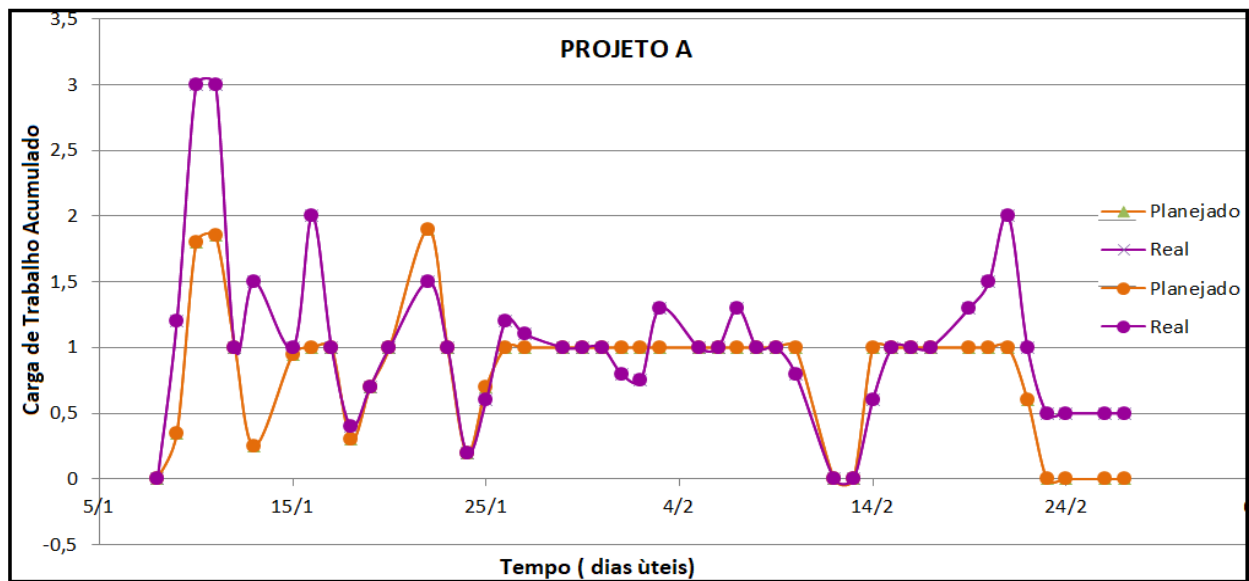


Figura 81. Nível de comparação entre o tempo (planejado x real) do Projeto A.

Fonte: Dados da pesquisa

No Projeto B, o comportamento do consumo do pulmão pode ser visto na Figura 82 que apresentou um alto consumo do pulmão no primeiro período de tempo. No início do segundo teve uma boa recuperação do pulmão de tempo e que em seguida começou a ser consumido até próximo do seu final. Já no terceiro, mostra uma variação positiva de recuperação do pulmão e que se estendeu até final do quarto período. No início do quinto ocorreu uma recuperação do pulmão, e a partir da metade passou a ser consumido até a sua finalização.

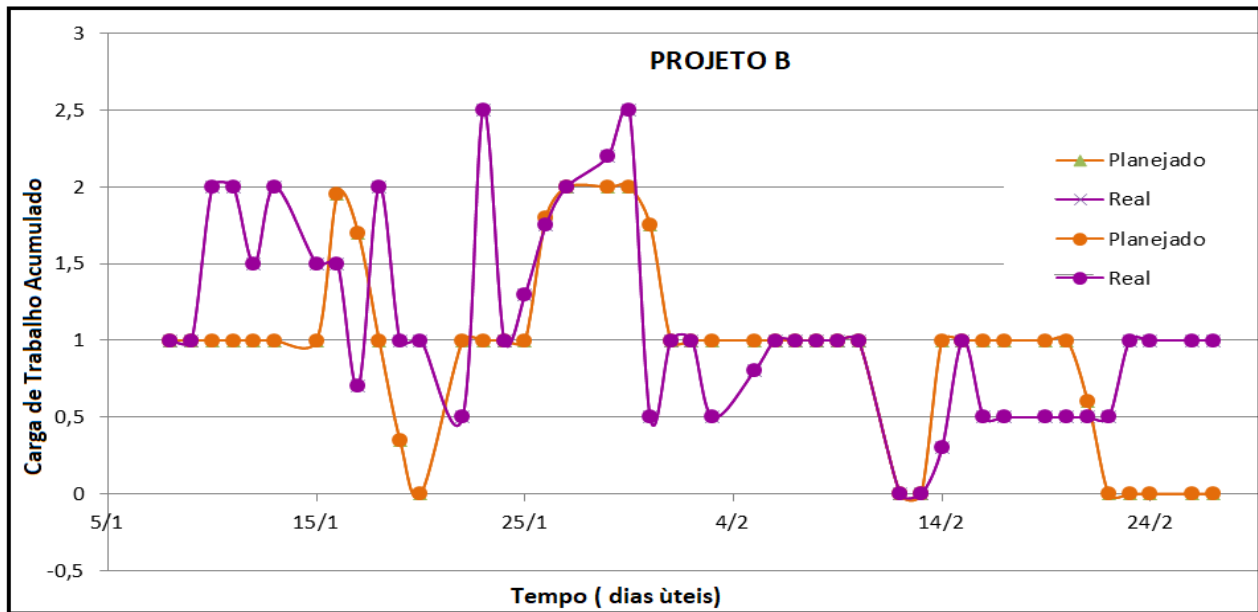


Figura 82. Nível de comparação entre o tempo (planejado x real) do Projeto B.

Fonte: Dados da pesquisa

Ao Analisar o gráfico do projeto C (Figura 83) pode ser observado que no primeiro período de tempo aconteceu um alto consumo de pulmão de tempo. No início do segundo apresentou uma recuperação; na metade teve um pico de consumo alto e chegando ao seu final uma recuperação significativa. Já no terceiro, houve uma boa recuperação, mas chegando ao seu final houve um aumento do consumo do pulmão. No quarto período ocorreu com uma boa recuperação do pulmão pela carga de trabalho executado por ser menor do que planejado; na sua metade teve um pequeno consumo do pulmão e chegando ao seu final com valor aproximado entre o planejado e realizado. No quinto iniciou com valores bem próximos do realizado com o planejado da carga; na sua metade teve um consumo maior do pulmão até o final do projeto.

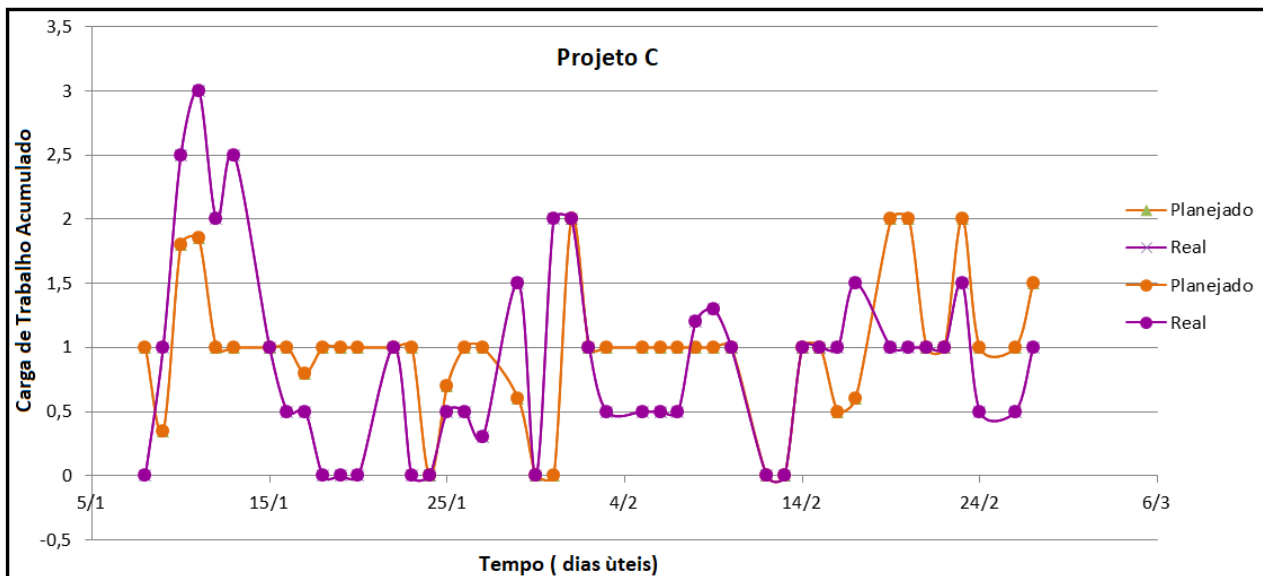


Figura 83. Nível de comparação entre o tempo (planejado x real) do projeto C.

Fonte: Dados da pesquisa

Análise da carga de trabalho dos Projetos no AMP

A Figura 84 apresenta a carga de trabalho do planejado e realizado dos três projetos juntos, em que no primeiro período de tempo ocorreu uma variação maior negativa para carga de trabalho planejado, e no segundo período ocorreu pequena variação no consumo do pulmão. No terceiro período, teve um comportamento bem próximo do segundo; ao final teve uma recuperação positiva da carga de trabalho. Já no quarto período iniciou uma pequena recuperação da carga de trabalho, seguindo juntos até o seu final. No quinto apresentou uma aproximação da carga de trabalho planejada com a realizada no início, mas que na sua metade até a sua finalização o real superou planejada.

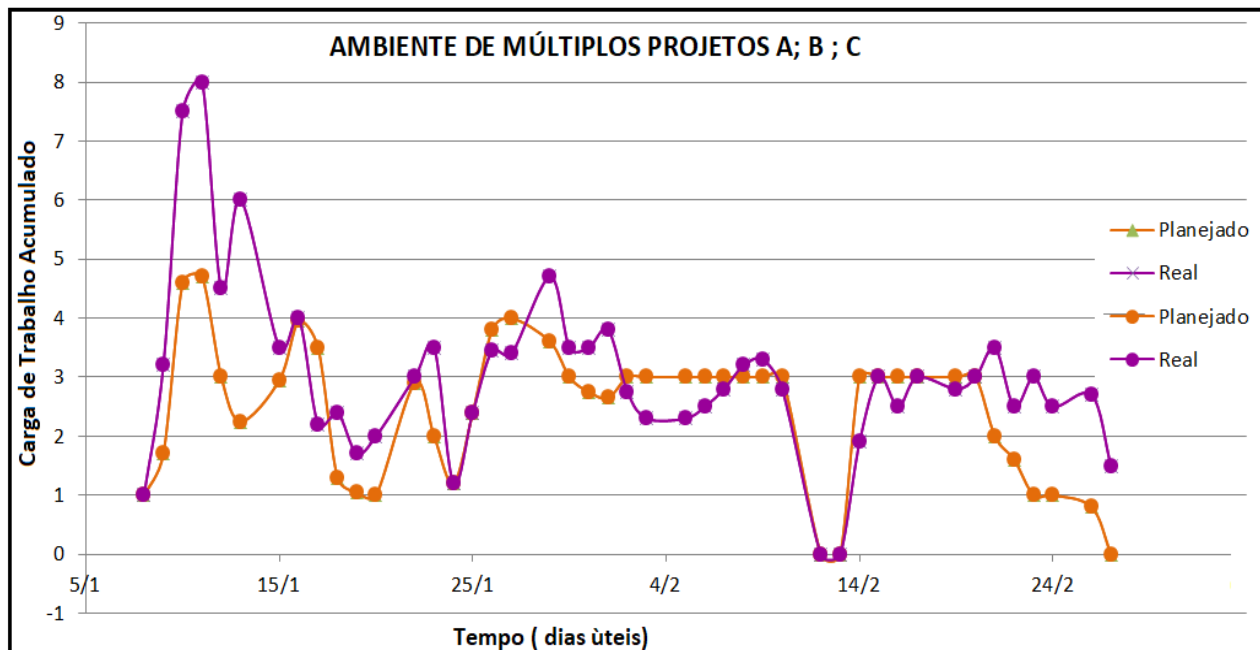


Figura 84. Nível de comparação entre o tempo (planejado x real) dos três projetos.

Fonte: Dados da pesquisa

Monitoramento dos Pulmões dos Projetos

Nesta seção estão apresentados os resultados do pulmão de tempo consumido em função do percentual da corrente crítica dos três projetos (Figuras 85, 86 e 87).

Os gráficos de monitoramento do pulmão são divididos em três áreas: uma verde indica uma situação de tranquilidade para o projeto; a amarela indica uma situação de alerta, onde ações corretivas devem ser planejadas. Já a área vermelha indica que devem ser tomadas medidas imediatas para corrigir os problemas que estão impedindo o bom andamento do projeto.

a) Resultado do Monitoramento do Pulmão de tempo do Projeto A

A Figura 85 mostra o resultado do monitoramento do Projeto A que foi ao longo da execução das atividades da corrente crítica (A_{11} , A_{21} , A_{31} , A_{41} , A_{51} , A_{61} , A_{91} , A_{101} e A_{111}). Dessa forma, foram levantados 21 pontos, destes, 5 pontos encontram-se na

zona vermelha e 4 estão próximos da linha vermelha. No início do projeto houve um aumento crescente do consumo do pulmão de projeto pela falta do ritmo de execução, que na empresa, é dado como sendo comum. Outra constatação foi a sua recuperação na faixa entre 35% a 85% na execução do projeto; neste período tiveram algumas horas extras para tentar recuperar o atraso. Mas em seguida, houve um aumento do consumo do pulmão até a finalização do projeto.

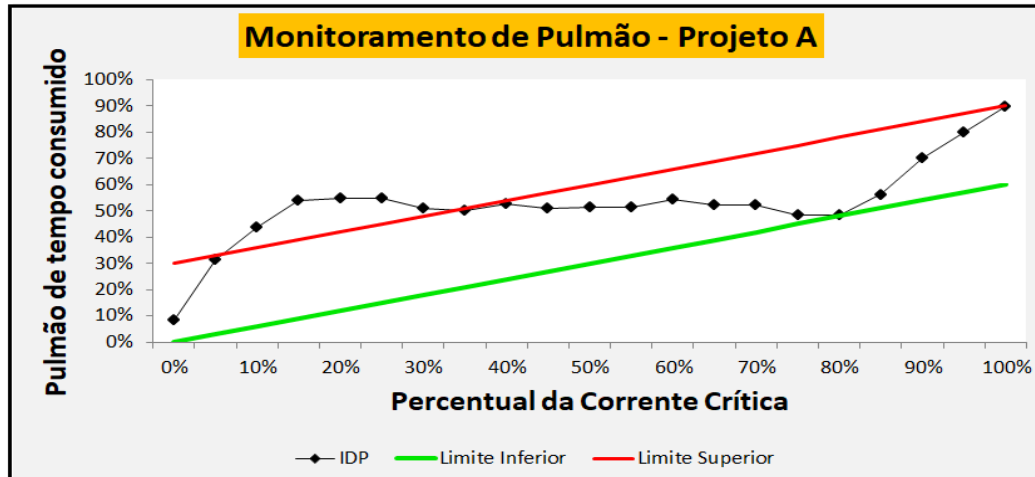


Figura 85. Gráfico de monitoramento do Consumo do Pulmão de Projeto (Projeto A).

Fonte: Dados da pesquisa

b) Resultado do Monitoramento do Projeto B

A Figura 86 apresenta o monitoramento do Projeto B ao longo da execução das atividades da corrente crítica (A_{12} , A_{22} , A_{32} , A_{62} , A_{72} , A_{82} , A_{92} , A_{102} e A_{112}). Dessa forma foram levantadas também 21 pontos, destes, 7 pontos em situação crítica que ficaram zona vermelha. Outra constatação foi que no início do projeto houve um aumento crescente do consumo do pulmão de projeto de 15% da corrente crítica e seguida de uma recuperação próximo na faixa entre 50 a 85% da corrente crítica decorrente do uso de algumas horas extras e que após teve um aumento do consumo, dentro da zona amarela até sua finalização.

A partir do avanço de 50% até 85% da corrente crítica, o projeto B teve a necessidade de utilizar horas extras para reduzir atrasos, que partir dos 85% houve o consumo do pulmão mas dentro da zona de normalizada até a sua finalização.

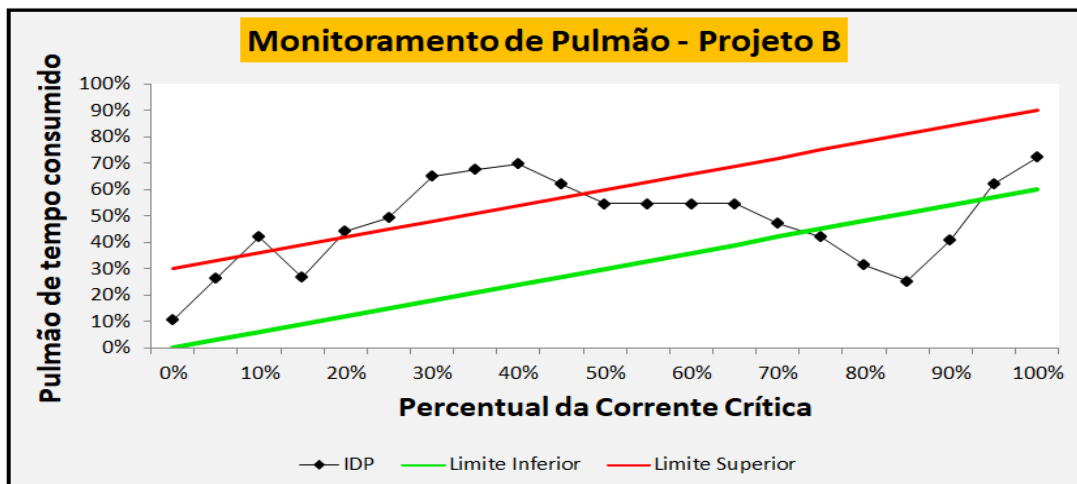


Figura 86. Gráfico de monitoramento do Consumo do Pulmão de Projeto (Projeto B).

Fonte: Dados da pesquisa

c) Resultado do Monitoramento do Projeto C

Para o monitoramento do Pulmão de tempo no Projeto C, a Figura 87 retrata o seu consumo ao longo da execução, onde oito atividades da corrente crítica (A_{13} , A_{23} , A_{33} , A_{43} , A_{73} , A_{83} , A_{93} , A_{103}) tiveram 11 pontos do consumo de pulmão e 3 pontos, no seu limite da zona vermelha, e ainda se pode destacar que teve um aumento crescente de consumo próximo de 25 % da corrente crítica e que em seguida ocorreu uma recuperação.

Este projeto consumiu toda a reserva de tempo do pulmão de projeto (PP). A partir da faixa de 50% foi tomada providência na utilização de horas extras para tentar manter dentro da faixa amarela do pulmão, pois caso contrário, o projeto seria entregue muito fora do prazo de entrega e receberia uma multa contratual. A ação tomada foi por meio de utilização de horas extras nas atividades seguintes.

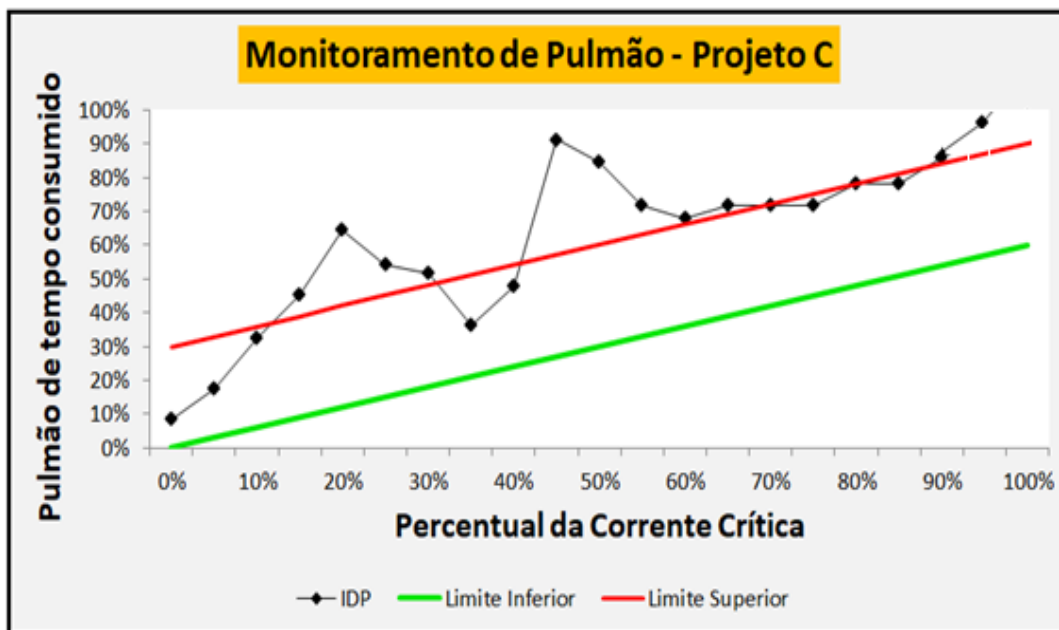


Figura 87. Gráfico de monitoramento do Consumo do Pulmão de Projeto (Projeto C).

Fonte: Dados da pesquisa

Controle de Pulmão de Tempo (PP) em AMP

No cenário de consumo do pulmão de projetos no ambiente de múltiplos projetos, a Figura 88 representa um gráfico do monitoramento no dia 13/01/2018 em que o comportamento do projeto B teve 37% da corrente crítica com um consumo de 22% do pulmão de tempo consumido; o projeto A atingiu 27% da corrente crítica com uso de 44% do pulmão de tempo consumido e que neste ponto já deve implantar um plano de ação para voltar à normalidade (horas extras); o projeto C chegou bem próximo de 32 % da corrente crítica e apresentou uma situação mais preocupante, pois consumiu 65% do pulmão de tempo de projeto, de forma que precisou com urgência ser uma implementação de um plano de ação.

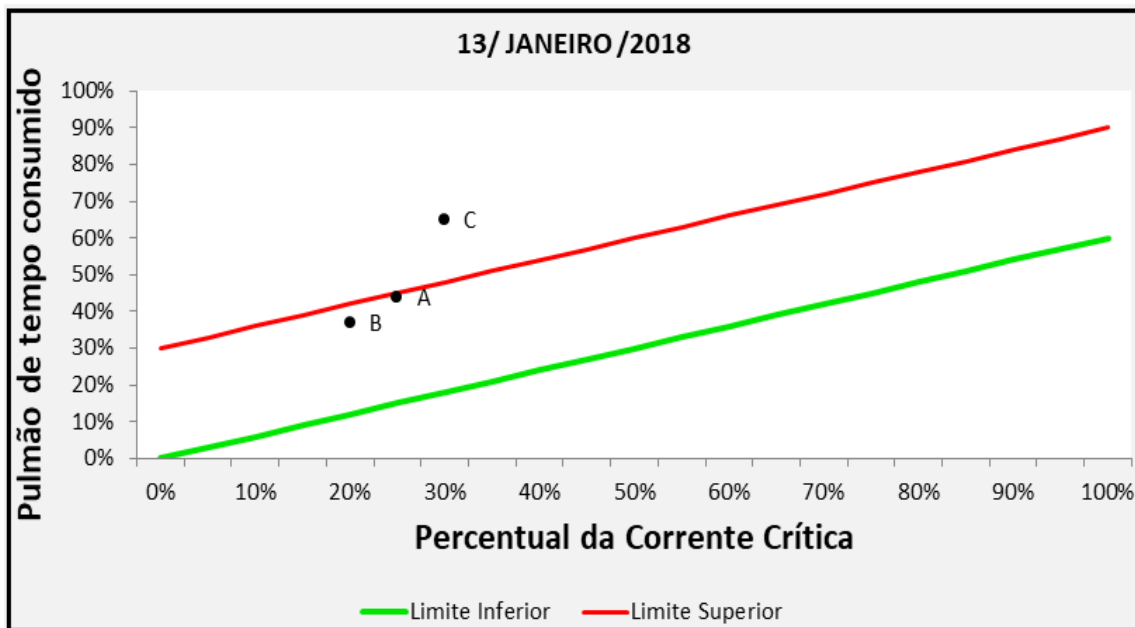


Figura 88. Monitoramento do consumo do Pulmão no AMP.

Fonte: Dados da pesquisa

No status do monitoramento no período 25/01/2018, a Figura 89 revela uma pequena recuperação do projeto C em relação ao dia 13/01; o projeto B saiu de uma situação razoável para uma crítica pois neste período teve um consumo de 68,2% do pulmão de tempo disponível e apenas 52% no avanço da corrente crítica, enquanto ao projeto A teve uma pequena recuperação de 5,9% do pulmão com um avanço de 20% na corrente crítica em relação à leitura anterior.

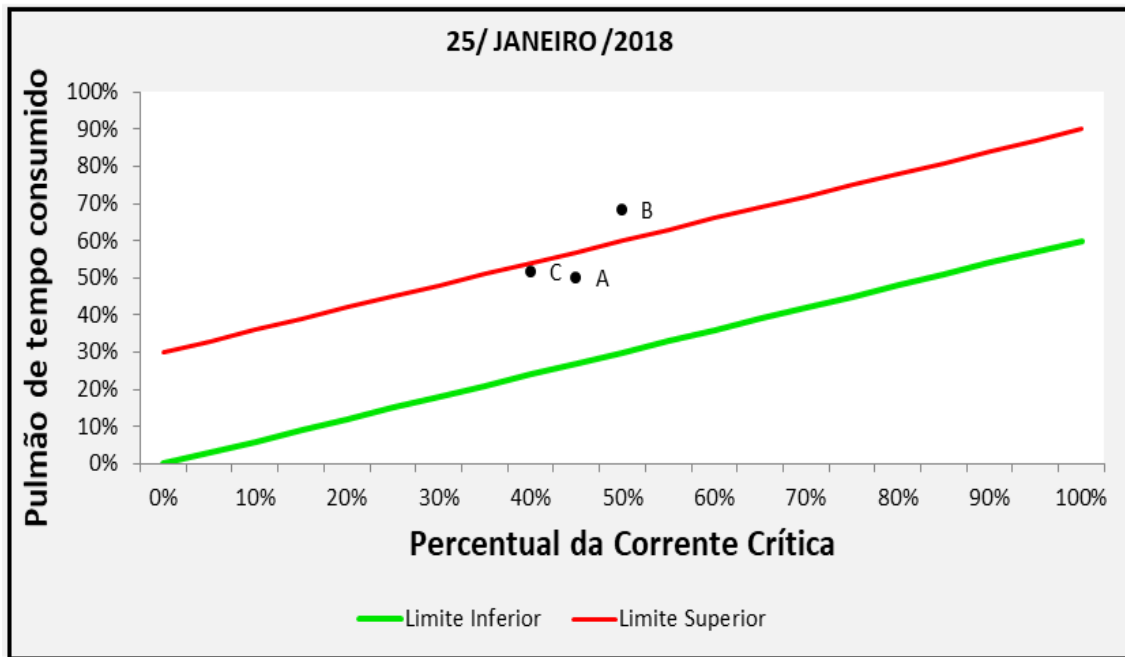


Figura 89. Monitoramento do consumo do Pulmão no AMP.

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 90 apresenta uma movimentação do projeto C em relação ao seu monitoramento no dia 03/02, que saiu de um patamar do limite do consumo da zona crítica de consumo para um nível ainda mais crítico pois consumiu 84,6% do pulmão de projeto e com um avanço para 57,3% da corrente crítica. Enquanto isso, os outros dois projetos A e B se encontram na zona amarela onde o primeiro consumiu 50% do pulmão com 62,2% da corrente crítica e o segundo com 72,3% de avanço com um consumo de 55,6% do pulmão de projeto.

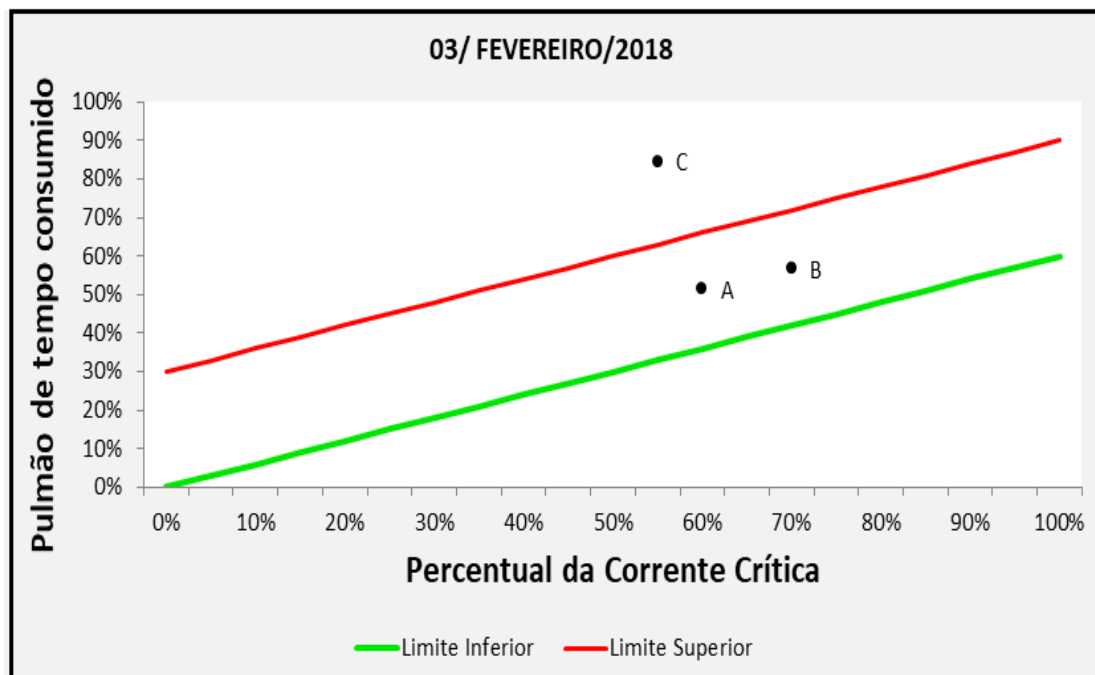


Figura 90. Monitoramento do consumo do Pulmão no AMP no período 03/02/2018.

Fonte: Dados da pesquisa

Para dia 15/02, a Figura 91 mostra o ponto de destaque na recuperação para os três projetos, onde o C teve um avanço de 57,3% para 77,5% na corrente crítica e uma redução no consumo de pulmão de 84,6% para 71,7%; o projeto A teve um avanço de 62,2% para 82,9% na corrente crítica e uma redução no consumo do pulmão de 51,3% para 48,4%; o projeto B teve um avanço de 72,3% para 87,5% e com consumo de 47,2% do pulmão de projeto.

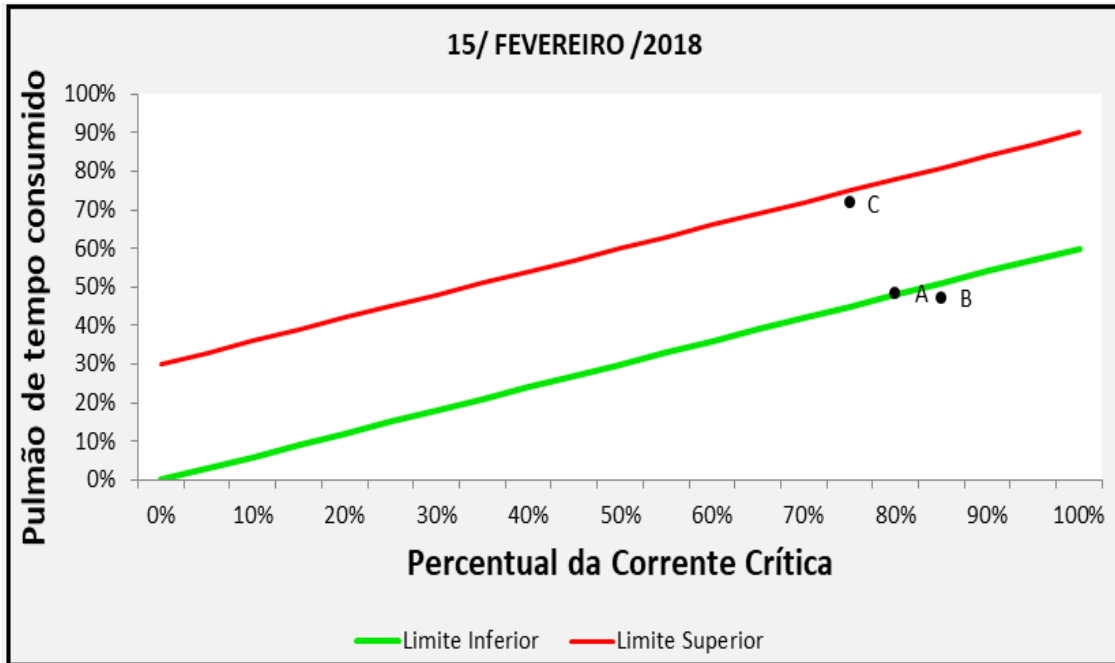


Figura 91. Monitoramento do consumo do Pulmão no AMP no período 15/02/2018.

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 92 mostra o desempenho dos projetos no dia 27 de fevereiro, onde pode-se avaliar que os projetos A e B já tinham finalizados com 100% de execução suas atividades na corrente crítica e consumido pulmões respectivamente de 89,5% e 72,5 % enquanto o projeto C tinha executado 97% com um consumo de pulmão de tempo em 97,6%.

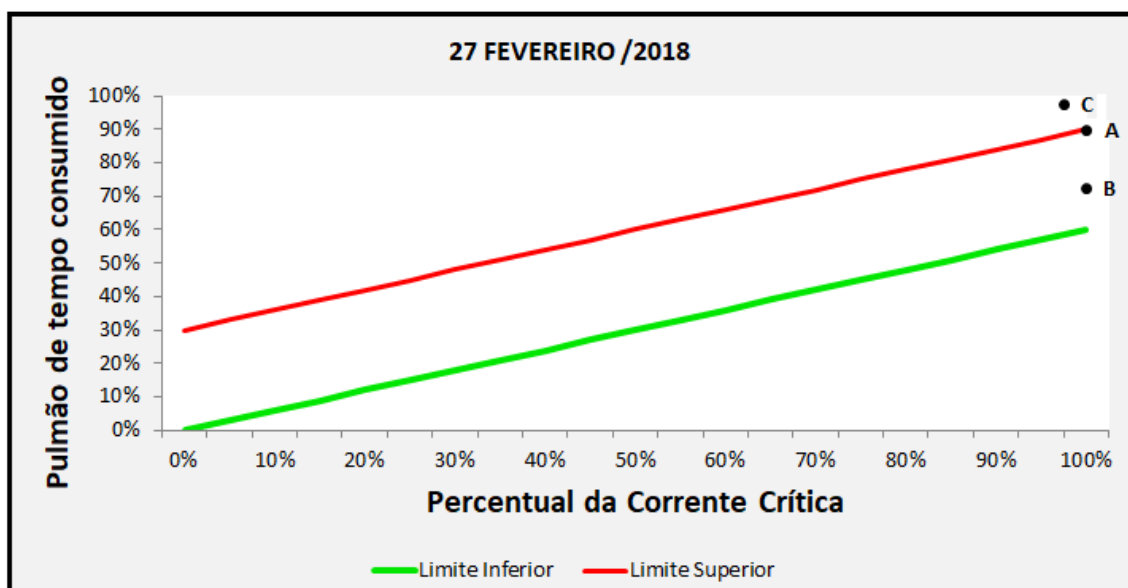


Figura 92. Monitoramento do consumo do Pulmão no AMP.

Fonte: Dados da pesquisa

A análise conjunta dos três projetos (Quadro 38) representa uma síntese dos valores do consumo do pulmão de tempo pelo andamento dos projetos na corrente crítica em que foram feitas cinco medições em tempos diferentes, cujos resultados mostram:

- No projeto A no primeiro momento (13/janeiro) o seu desempenho foi 0,61 ficando dentro da zona amarelo e em seguida (25/janeiro) o seu desempenho (ID) aumentou para 0,94 entrando na área confortável (verde) até nas próximas duas leituras seguintes 03/fevereiro com (ID) de 1,21 e 15 fevereiro com (ID) de 1,71; na última leitura dia 27/fevereiro, no final da corrente crítica, o consumo do pulmão tinha consumido 89,54% e o seu desempenho (ID) caiu de 1,71 para 1,12, em que encerrou na zona vermelha.
- Para projeto B, na primeira leitura o seu (ID) foi 1,68 ficando na zona amarela, mas em seguida o consumo do pulmão de tempo foi elevado de 22,2 % para 68,2% alcançando uma taxa reduzida de desempenho (ID) de 0,76 que entrou na faixa vermelha crítica. Mas neste período foi observado, que houve uma implantação de uma ação e a recuperação do pulmão foi observada pelo índice de desempenho no dia 03 fevereiro que atingiu o índice (ID) 1,3, ou seja, obteve uma redução de 12,54% do pulmão. E no período seguinte, dia 15/fevereiro, recuperou o seu índice de desempenho (ID) para 1,85, mas na última medição dia 27 fevereiro apesar de ter caído o seu desempenho (ID) para 1,38 o seu consumo ficou dentro da faixa verde até a finalização do projeto.
- No projeto C o seu comportamento na primeira leitura foi diferente em relação aos demais, pois o seu começo foi um consumo do pulmão muito elevado de 65%, começando logo na faixa vermelha com desempenho (ID) de 0,49, mas na sua segunda leitura devido ao emprego de horas extras na empresa o projeto teve um aumento no seu índice (ID) passando para 0,81; na terceira medição teve uma queda (ID) para 0,68. Na quarta leitura o valor do índice de desempenho (ID) aumentou para 1,08 entrando na zona de conforto que na última medição da finalização do projeto o seu desempenho caiu para 0,99 consumindo 97,58 % do pulmão de tempo estimado.

Como ainda pode ser observado no Quadro 38, o maior percentual de consumo do Pulmão de tempo nos três projetos foi o C em que consumiu na primeira leitura 65 %. Enquanto os projetos A e B, ambos estiveram dentro da faixa aceitável de consumo pelo gráfico de monitoramento. Na segunda leitura, o projeto C teve uma recuperação do pulmão pela ação de uso de horas extras, mas o projeto B por falta de ajuste em uma das máquinas teve, um atraso de 2 dias. Na terceira medição, o projeto C voltou para zona vermelha em função da espera de um recurso (R4) utilizado do projeto A que teve de esperar por um dia de trabalho. Na quarta leitura, os três projetos já estavam dentro da zona verde devido uso de dois dias de horas extras nas atividades pendentes pelo atraso do recurso (R7), (R9) e (R7) nos projetos A, B e C respectivamente.

Quadro 38. Resumo dos Índices de Desempenho dos projetos pelo consumo de pulmão de projeto.

PROJETOS		13/Jan	25/Jan	03/Fev	15/Fev	27/Fev	Média	Desvio padrão
Projeto A	% Cadeia Crítica Completa	27	47	62,2	82,9	100	1,12	0,36
	% Consumo do Pulmão de Tempo	44	49,9	51,38	48,44	89,54		
	Índice de Desempenho ID _(PA)	0,61	0,94	1,21	1,71	1,12		
Projeto B	% Cadeia Crítica Completa	37	52	72,3	87,5	100	1,40	0,37
	% Consumo do Pulmão de Tempo	22	68,20	55,66	47,22	72,5		
	Índice de Desempenho ID _(PB)	1,68	0,76	1,30	1,85	1,38		
Projeto C	% Cadeia Crítica Completa	32	42	57,3	77,5	97	1,13	0,48
	% Consumo do Pulmão de Tempo	65	51,7	84,66	71,73	97,58		
	Índice de Desempenho ID _(PC)	0,49	0,81	0,68	1,08	0,99		

Fonte: Dados da pesquisa

Comparação do Cálculo de pulmão de projetos por outros métodos diferentes

Nesta seção, os três projetos considerados nesta pesquisa tiveram pulmões de tempo diferentes para os três métodos, os Quadros 39; 40 e 41 mostramos valores do pulmão de projeto (PP) pelo “Método Corta e Cola” - C&PM (*Cut & Paste Method*) e os Quadros 42, 43 e 44 para o “Método da Raiz Quadrada do Erro” (*Root Square Error Method* – RSEM) (RSEM).

a) Determinação do Pulmão de Projeto pelo Método do C&PM “Corta e Cola”

Nos Quadros 39, 40 e 41 mostraram respectivamente os resultados do Pulmão de tempo pelo método “Corta e Cola” dos projetos A, B e C onde cada um teve um valor de estimativa de: 13; 12,75 e 10,25 dias respectivamente.

Quadro 39. Resultado do Método Corta e Cola do Projeto A.

Atividade na CC	A ₁₁	A ₆₁	A ₂₁	A ₃₁	A ₄₁	A ₅₁	A ₉₁	A ₁₀₁	A ₁₁₁	TOTAL
Tempo	3,0	6,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0	7,0	10,0	
Corte de 50%	1,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,5	3,0	3,5	5,0	
50% do corte	0,75	1,5	1,0	1,25	1,50	1,25	1,5	1,75	2,5	13,00

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 40. Resultado do Método Corta e Cola do Projeto B.

Atividade na CC	A ₁₂	A ₂₂	A ₃₂	A ₆₂	A ₇₂	A ₈₂	A ₉₂	A ₁₀₂	A ₁₁₂	TOTAL
Tempo	4	6	7	5	5	6	5	7	6	
Corte de 50%	2	3	3,5	2,5	2,5	3,0	2,5	3,5	3,0	
50% do corte	1	1,5	1,75	1,25	1,25	1,5	1,25	1,75	1,5	12,75

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 41. Resultado do Método Corta e Cola do Projeto C.

Atividade na CC	A ₁₃	A ₂₃	A ₃₃	A ₄₃	A ₇₃	A ₈₃	A ₉₃	A ₁₀₃	TOTAL
Tempo	3	6	7	4	3	6	5	7	
Corte de 50%	1,5	3,0	3,5	2,0	1,5	3,0	2,5	3,5	
50% do corte	0,75	1,5	1,75	1,0	0,75	1,5	1,25	1,75	10,25

Fonte: Dados da pesquisa

b) Determinação do Pulmão de Tempo pelo Método “RSEM”

Para este método, foi calculado o tamanho do pulmão de tempo com as variáveis de entrada os desvios padrões das atividades que foram extraídas de 100 números de tempos gerados aleatoriamente nas atividades da corrente crítica, a partir do intervalo entre os tempos pessimistas e otimistas (Anexo A). E que seguida, foi aplicado ao quadrado de cada desvio padrão na sua respectiva atividade e com seu somatório total obteve-se o resultado do pulmão de tempo para três projetos respectivamente A, B e C (Quadro 42, 43 e 44), conforme foi desenvolvido pela Equação (6).

Quadro 42. Resultado do Pulmão de Tempo pelo Método RSEM do Projeto A.

Atividade na CC	A ₁₁	A ₆₁	A ₂₁	A ₃₁	A ₄₁	A ₅₁	A ₉₁	A ₁₀₁	A ₁₁₁	TOTAL
Tempo	3,0	6,0	4,0	5,0	6,0	5,0	6,0	7,0	10,0	
Desvios padrões	1,5	3,0	2,0	2,5	3,0	2,5	3,0	3,5	5,0	
Desvio ao quadrado	4,5	9,0	4	6,25	9,0	6,25	9,0	12,25	25	85,25
Valor do Pulmão pelo Método RSEM calculado pela raiz do somatório do desvio ao quadrado										9,23 dias

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 43. Resultado do Pulmão de Tempo pelo Método RSEM do Projeto B.

Atividade na CC	A ₁₂	A ₂₂	A ₃₂	A ₆₂	A ₇₂	A ₈₂	A ₉₂	A ₁₀₂	A ₁₁₂	TOTAL
Tempo	4	6	7	5	5	6	5	7	6	74,25
Desvios padrões	2	3	3,5	2,5	2,5	3	2,5	3,5	3	
Desvio ao quadrado	4	9	12,25	6,25	6,25	9	6,25	12,25	9	
Valor do Pulmão pelo Método RSEM calculado pela raiz do somatório do desvio ao quadrado										8,61dias

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 44. Resultado do Pulmão de Tempo pelo Método RSEM do Projeto C.

Atividade na CC	A ₁₃	A ₂₃	A ₃₃	A ₄₃	A ₇₃	A ₈₃	A ₉₃	A ₁₀₃	TOTAL
Tempo	3	6	7	4	3	6	5	7	57,25
Desvios padrões	1,5	3	3,5	2	1,5	3	2,5	3,5	
Desvio ao quadrado	2,25	9	12,25	4	2,25	9	6,25	12,25	
Valor do Pulmão pelo Método RSEM calculado pela raiz do somatório do desvio ao quadrado									7,56 dias

Fonte: Dados da pesquisa

Como pode ser observado no Quadro 45, o Projeto A apresenta o indicador “Corrente Crítica” (CC) + Pulmão de Projeto (PP) igual ao (T) como Tempo Total em dias, calculado para cada um dos métodos e apresentando pulmões de tempo variados, onde maior valor foi pelo método “corta e cola” (C&PM) com 42,75 dias, o “Método proposto” 39,97 dias e terceiro pelo método da “Raiz Quadrada do Erro” com 38,98 dias.

Outras observações importantes que ainda podem ser vistas no Quadro 45 foram as informações para maior tempo do consumo do pulmão, em que na Figura 5.31 foram levantado 5,6 dias consumidos dentro pulmão, tendo como tempo médio de consumo do pulmão ao longo da corrente crítica foi de 8,9 dias e também o pulmão de tempo apresentou 5 períodos diferentes em que o projeto consumiu Pulmão de Projeto (PP).

Quadro 45. Indicadores de desempenho de Pulmão de tempo do Projeto A.

INDICADORES DE DESEMPENHO- PROJETO A						
MÉTODO	CC	PP	T	Maior valor do Consumo do pulmão (dias)	Tempo médio de consumo no Pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi consumido
Método Cortar e Colar (C&PM)	29,75	13	42,75	5,6	8,9	5
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)		9,23	38,98			
Método Proposto		10,22	39,97			

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 46 apresenta informações do Projeto B, onde o indicador “Corrente Crítica” (CC) + Pulmão de Projeto (PP) igual ao (T) como Tempo Total em

dias, em que foi calculado para cada um dos métodos e apresentando pulmões de tempo variados, onde maior valor foi pelo método “corta e cola” (C&PM) com 42,85 dias, já o “Método proposto” 39,63 dias e terceiro pelo método da “Raiz Quadrada do Erro” com 38,71 dias.

Outro ponto importante, a ser considerado é o maior tempo do consumo do pulmão (Quadro 46), onde a informação do maior tempo do consumo do pulmão levantado foi de 6,67 dias de consumo dentro do pulmão, e o tempo médio de consumo do pulmão em execução foi de 8,9 dias e apresentou 7 vezes o consumo de pulmão.

Quadro 46. Indicadores de desempenho de Pulmão de tempo do Projeto B.

INDICADORES DE DESEMPENHO - PROJETO B						
MÉTODO	CC	PP	T	Maior valor do Consumo do pulmão (dias)	Tempo médio de consumo no Pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi consumido
Método Cortar e Colar (C&PM)	30,1	12,75	42,85	6,67	9,0	7
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)		8,61	38,71			
Método Proposto		9,53	39,63			

Fonte: Dados da Pesquisa

Para o último Projeto C, o Quadro 47 apresenta o valor do tempo total pelo somatório da “Corrente Crítica” (CC) + Pulmão de Projeto (PP) em que foi calculado para cada um dos métodos e apresentando pulmões de tempo variados, onde maior valor foi pelo método “corta e cola” (C&PM) com 34,05 dias. No “Método proposto” é 31,54 dias e terceiro pelo método da “Raiz Quadrada do Erro” com 31,36 dias.

Outro ponto importante, a ser considerado é o maior tempo do consumo do pulmão (Quadro 47) onde as informações do maior tempo do consumo do pulmão levantado foram 7,04 dias de consumo dentro do pulmão, e o tempo médio de consumo do pulmão em execução foi de 10,71 dias e apresentou 11 vezes o uso do pulmão.

Quadro 47. Indicadores de desempenho de Pulmão de tempo do Projeto C.

INDICADORES DE DESEMPENHO - PROJETO C						
MÉTODO	CC	PP	T	Maior valor do Consumo do pulmão (dias)	Tempo médio de consumo no Pulmão (dias)	Número de vezes que o pulmão foi consumido
Método Cortar e Colar (C&PM)	23,8	10,25	34,05	7,04	10,71	11
Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM)		7,56	31,36			
Método Proposto		7,74	31,54			

Fonte: Dados da pesquisa

Com base nas informações apresentadas nos Quadros 45, 46 e 47 podem ser feitas as seguintes anotações:

- Os três projetos A, B e C tiveram inicialmente a construção do cronograma baseado na rede PERT\CPM com programação respectivamente de 46, 48 e 38 dias e que após aplicação da FMEA como ferramenta na redução das margens de segurança passaram a ser 29,8; 30,1 e 23,8 dias;
- Depois de calculados os pulmões de projeto (PP) pelo fluxo proposto para cada projeto A, B e C com valores respectivamente 10,22; 9,53 e 7,74 dias, obtem-se o tempo total de 39,97; 39,63 e 31,54 dias respectivamente. Enquanto com os métodos “Corta e Cola” foram 42,75, 42,85 e 31,54 dias respectivamente; para a “Raiz Quadrada do Erro” foram 38,98; 38,71 e 31,36 dias.
- O projeto C apresentou maior tempo do consumo do pulmão 7,04 dias e resultou em maior tempo médio de consumo. O projeto se encerrou em três dias depois do planejado. O projeto B com 6,67 dias e A com 5,6 dias de tempo de consumo resultaram entre os projetos que mais precisaram de horas extras para sua recuperação.
- Outro indicador importante a ser considerado nesta análise é o “número de vezes que o pulmão foi consumido” onde o projeto C consumiu 11 vezes; o projeto A consumiu 5 vezes. Isto se justifica pelo fato do projeto A ter tido maior número de atividades consumindo o recurso crítico, e, por esta razão, era monitorado com mais frequência. Usou de horas extras para recuperar o pulmão projetado.

Fase de Encerramento

Nesta fase, utilizou-se a escala de mensuração dos Fatores Crítico de Sucesso (FCS) elaborado por Besteiro (2012).

Fatores Críticos de Sucesso (FCS)

Conforme apresentado no modelo de Besteiro (2012), o Quadro 48 apresenta uma faixa de classificação para o resultado de sucesso no gerenciamento de projetos. No Anexo H, encontram-se resultados detalhados da aplicação da escala.

Quadro 48. Faixa de Classificação do tipo de sucesso do gerenciamento de projeto.

Tipo de sucesso	Projeto de Sucesso Total	Projeto de Sucesso Parcial	Projeto de Insucesso
Faixa de classificação	de 70 a 100%	de 40 a 69%	de 0 a 39%
Pontuação na escala	500	345	195

Fonte: Besteiro (2012)

O resultado da avaliação do método FCS (Fatores Críticos de Sucesso) teve como mensuração as variáveis distribuídas dentro de quatro grupos direcionadores: habilidades gerenciais, sucesso, monitoramento e controle e lições aprendidas, conforme o resultado do questionário no Anexo H e que a partir desta análise pode-se classificar o projeto como projeto de **sucesso total, parcial ou**

insucesso.

Os resultados dos FCS aplicados aos Projetos A, B e C, encontram-se respectivamente nos Quadros 49, 50 e 51.

Quadro 49. Fatores Críticos de Sucesso do Projeto A.

Projeto A			
Grupo de Direcionador	Faixa de Classificação	Pontuação do Projeto	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de projeto por variável (%)
Habilidades Gerenciais	125	101	80,8%
Fatores Críticos de Sucesso	195	162	83,1%
Monitoramento e Controle	95	74	77,9%
Lições Aprendidas	85	71	83,5%
Pontuação do Projeto	500	408	81,6%

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 50. Fatores Críticos de Sucesso do Projeto B.

Projeto B			
Grupo de Direcionador	Faixa de Classificação	Pontuação do Projeto	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de projeto por variável (%)
Habilidades Gerenciais	125	98	78,4%
Fatores Críticos de Sucesso	195	157	80,5%
Monitoramento e Controle	95	73	76,8%
Lições Aprendidas	85	68	80,0%
Pontuação do Projeto	500	396	79,2%

Fonte: Dados da pesquisa

Quadro 51. Fatores Críticos de Sucesso do Projeto C.

Projeto C			
Grupo de Direcionador	Faixa de Classificação	Pontuação do Projeto	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de projeto por variável (%)
Habilidades Gerenciais	125	84	67,2%
Fatores Críticos de Sucesso	195	120	61,5%
Monitoramento e Controle	95	63	66,3%
Lições Aprendidas	85	68	80,0%
Pontuação do Projeto	500	335	67,0%

Fonte: Dados da pesquisa

No Quadro 52 apresenta o resumo da classificação geral dos três projetos pela escala de mensuração FCS, onde o projeto A e B pela faixa de classificação de Besteiro (2012) obtiveram o **sucesso total** e projeto C um resultado de **sucesso parcial** de projeto.

Quadro 52. Resultado dos projetos pela escala FCS.

Tipos de Projeto	Classificação da Escala FCS
Projeto A	Projeto sucesso total
Projeto B	Projeto sucesso total
Projeto C	Projeto sucesso parcial

Fonte: Dados da pesquisa

A Figura 93 mostra uma síntese dos três projetos pelos quatro grupos de direcionadores de fatores crítico de sucesso, em que há uma liderança do Projeto A para os quatro tipos de variáveis voltadas para FCS; já projeto B como sendo o segundo na classificação, teve um resultado próximo do projeto A, e por último, o projeto C apresenta para os três direcionadores (Habilidade Gerenciais, Fatores Crítico de Sucesso e Monitoramento) a menor pontuação obtida.

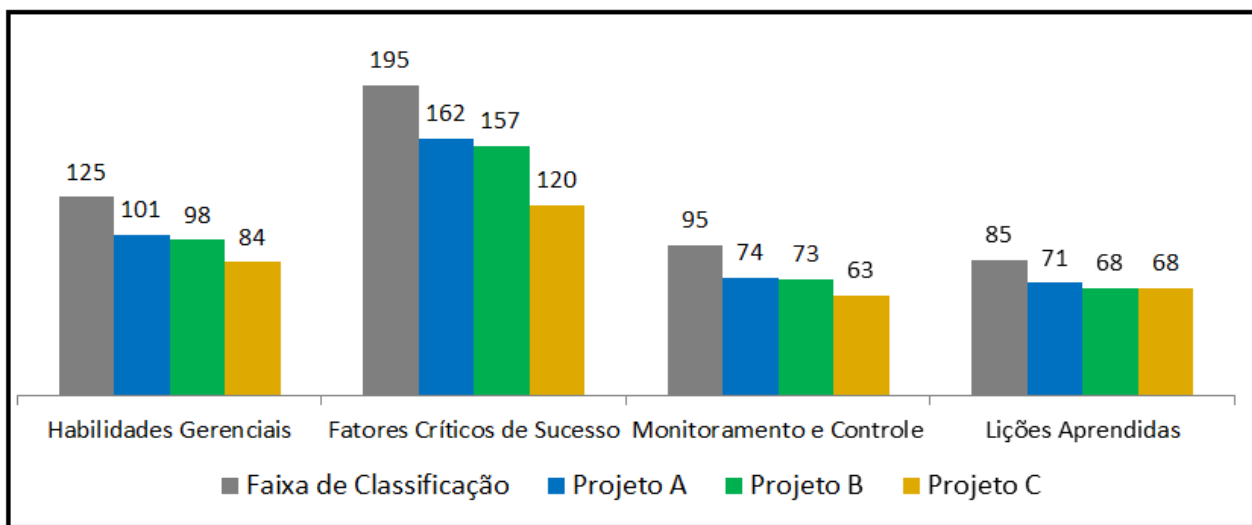


Figura 93. Síntese do resultado dos grupos de direcionadores dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS) dos Projetos (A; B e C).

Fonte: Dados da pesquisa

Lições Aprendidas

Nesta fase de encerramento, as lições aprendidas durante a execução dos projetos tem uma importância tão valiosa quanto à finalização deles, pois auxiliam nas anotações que foram planejadas e quais os imprevistos que ocorreram durante a execução e as soluções encontradas nos problemas apresentados. Dessa forma, pode-se dizer que é uma forma de registrar e manter uma base de conhecimento onde as informações servirão para resolver problemas futuros, e agilizando a resolução de ocorrências imprevistas.

Nesta pesquisa, esta fase acontece a partir dos resultados obtidos pela avaliação da escala de mensuração dos projetos para os FCS. Os direcionadores que alcançaram um valor abaixo de 80%, que segundo Besteiro (2012), devem ser mais bem analisados.

O Quadro 53 mostra os direcionadores dos projetos B e C, que precisam de melhor acompanhamento, que são: Habilidades Gerenciais e Monitoramento e Controle.

Quadro 53. Identificação dos grupos direcionadores com menor valor.

Grupos de Direcionadores com Menos Valor				
Projeto	Habilidades Gerenciais	Fatores Críticos de Sucesso	Monitoramento e Controle	Lições Aprendidas
Projeto A	80,8%	83,1%	77,9%	83,5%
Projeto B	78,4%	80,5%	76,8%	80,0%
Projeto C	67,2%	61,5%	66,3%	80,0%

Fonte: Dados da pesquisa

O Quadro 54 apresenta as deficiências no direcionador de “monitoramento e controle” nas variáveis 2; 3; 5 e 6 para os três projetos (menores que 80%) e na variável 4 para o projeto C.

Quadro 54. Variáveis do grupo direcionador de Monitoramento e Controle.

DIRECIONADOR - MONITORAMENTO E CONTROLE				
Variáveis	Projeto A	Projeto B	Projeto C	MÉDIA
1-Reuniões de monitoramento do projeto	91,3%	100,0%	91,3%	94,2%
2-Determinação dos pontos de controle	78,9%	73,7%	63,2%	71,9%
3-Varição dos benefícios do projeto	72,2%	66,7%	55,6%	64,8%
4-Varição de Orçamento e Custo	92,3%	84,6%	76,9%	84,6%
5- Varição de prazo	69,2%	61,5%	46,2%	59,0%
6- Identificação de desvios de metas	44,4%	55,6%	44,4%	48,1%

Fonte: Dados da pesquisa

No Quadro 55, o detalhamento do direcionador “Habilidades Gerenciais” mostrou deficiências nas variáveis 1 (Projeto C); 2 (Projeto C); 3 (Projetos A, B, C); 4 (Projetos A, B, C); 6 (Projetos B e C).

Quadro 55. Variáveis do grupo direcionador de Habilidades Gerenciais.

DIRECIONADOR - HABILIDADES GERENCIAIS				
Variáveis	Projeto A	Projeto B	Projeto C	MÉDIA
1-Habilidade de comunicação	80,0%	80,0%	76,7%	78,9%
2-Definição do cronograma	100,0%	91,7%	62,5%	84,7%
3-Aceitação da proposta do projeto	62,5%	62,5%	58,3%	61,1%
4-Indicação de papéis e responsabilidades	70,6%	76,5%	58,8%	68,6%
5- Qualificação da equipe	88,2%	88,2%	88,2%	88,2%
6 - Informação da Evolução do Projeto	84,6%	69,2%	53,8%	69,2%

Fonte: Dados da pesquisa

Com a obtenção das variáveis que mais impactaram negativamente nos direcionadores, pode-se dar maior atenção a elas, em múltiplos projetos futuros.

O Quadro 56 apresenta as características observadas antes e depois da implementação da CCPM, na empresa.

Quadro 56. Resultado antes e depois da aplicação da CCPM na empresa.

Antes da implantação do CCPM	Após a implantação do CCPM
A elaboração do cronograma era desenvolvida para cada projeto, de forma que o gestor não levantava o acompanhamento sincronizado de outros projetos com cada área que era demandada.	Os cronogramas passaram a ser o principal objetivo para decidir o uso do CCPM como intuito de evitar atrasos e ter um acompanhamento mais efetivo.
Dentro do cronograma era estipulado a margem de segurança de tempo maior, no propósito de reduzir o risco dos projetos de não serem concluídos no prazo foi acordado pela equipe de projeto.	Essa margem de segurança na aplicação da CCPM foi retirada e convertida em pulmões de tempo, onde suas durações passaram a serem mais realistas e desafiadoras para a equipe de projeto.
As negociações estabelecidas pelo setor de vendas com os clientes apresentavam, em algum momento da execução, dificuldades para o cumprimento dos compromissos pré-estabelecidos.	Para ter um bom relacionamento com os clientes, a empresa buscou dar mais visibilidade ao “status” do projeto, de forma a informar às condições em que o projeto.
O prazo de entrega do projeto tinha uma margem de segurança que eram estimados intuitivamente pelo planejamento de projeto sem levantar informações junto à equipe de execução do projeto ou de algum histórico de um projeto similar.	A partir da filosofia da CCPM, a empresa passou a desenvolver maior previsibilidade e confiabilidade do cronograma utilizar as “lições aprendidas”.
A empresa não tinha uma ferramenta eficaz para gerenciar os programas (portfólios) de projetos. A gestão era feita a cada projeto, o que dificultava muito o gerenciamento das entregas individuais em relação a outros projetos, em um ambiente de múltiplos projetos.	Passou a usar pulmão de tempo de proteção e monitoramento no gerenciamento de tempo, de forma a operar proativamente e também preparar ações de recuperação para lidar com possíveis atrasos nas entregas dos projetos, pelo acompanhamento do “status” de cada um, realizando análise constante sobre a sua evolução e tomando as devidas providências caso esteja fora da zona de controle.
O monitoramento e controle eram realizados basicamente quanto aos marcos de entregas de cada projeto.	A partir do uso do monitoramento pelo pulmão de tempo, aumentou o fluxo de projetos possibilitando completar mais projetos na organização com os mesmos recursos e dando datas previsíveis mais realistas de entregas.
A empresa não tinha foco sobre o recurso crítico, ou sobre possíveis “gargalos” no processo de execução do conjunto de projetos, ficando às vezes com acúmulo de pendência de execução de atividades críticas.	Passou a focar os projetos pelo monitoramento das atividades críticas, identificando e gerenciando o consumo dos recursos críticos nas atividades entre projetos, o que possibilitou mais dinâmica em ambiente de múltiplos projetos.

Fonte: Elaboração do autor

Avaliação do desempenho da proposta

O desempenho da proposta pode ser avaliado, baseando-se: nos resultados da comparação do tamanho dos pulmões de projeto pelos métodos “Corta e cola” (C&PM) e “Raiz quadrado do erro” (RSEM); pela integração das ferramentas utilizadas na programação dos projetos no comportamento do sistema em am-

biente de múltiplos projetos (AMP); pela avaliação do fluxo proposto com resultados qualitativos, apresentados na forma de indicadores de desempenho nos Quadros 45, 46 e 47.

Dos resultados obtidos, é possível afirmar que, o fluxo proposto, tanto na integração das ferramentas de gerenciamento, como no cálculo do dimensionamento de um valor do pulmão de tempo, em ambiente de múltiplos projetos, trouxe ganhos relevantes para a empresa no gerenciamento do cronograma.

Os Quadros 57 e 58 mostram os pontos fortes e fracos observados com a aplicação do fluxo, em um ambiente de múltiplos projetos.

Quadro 57. Pontos Fortes dos aspectos da metodologia CCPM observados na aplicação da Proposta.

Pontos Fortes	
Aspectos	Observações
Transparência e previsibilidade	Observou-se que a implantação do CCPM trouxe visibilidade e transparência para o acompanhamento do “status” do projeto. As ferramentas utilizadas tiveram aspectos positivo para monitorar a tendência de consumo de pulmão. Isto possibilitou um melhor acompanhamento e previsibilidade mais realista.
Foco no essencial	A equipe de projeto concordou com a afirmação de que o tratamento da corrente crítica em múltiplos projetos concentra-se no essencial (tarefas / recursos críticos) e tem um impacto direto na data de entrega do projeto por meio do gerenciamento de pulmão de tempo.
Mecanismo de alerta precoce ao atraso	O gerenciamento do pulmão de projeto, em ambiente de múltiplos projetos, atuou como um mecanismo de alerta antecipado e é um sistema admissível de rastreamento do andamento entre os projetos. Por meio do monitoramento da taxa de consumo de pulmão de projeto, é possível ver o “status” atual do projeto e se o projeto pode ser concluído na data de entrega prometida, ou se a quantidade de consumo de pulmão é elevada. Isso indica que a data do prazo do projeto com essa tendência de consumo de pulmão não é atingível, e, se é momento de preparar e empreender ações de recuperação, para compensar a taxa de consumo de pulmão, e trazê-la para a situação normal.
Lidar com o comportamento negativo dos recursos que desperdiçam o tempo de segurança	A consciência sobre a natureza negativa do recurso devido ao comportamento dos colaboradores, pode ajudar a aumentar o estado de alerta para economizar tempo. Os executores da tarefa que trabalham de acordo com as regras da corrente crítica são mais conscientes da presença de fatores de comportamento obstrutivos, por exemplo, multitarefas ou síndrome do estudante, e tentam evitá-los tanto quanto possível.

Fonte: Elaboração do autor

Quadro 58. Pontos Fracos dos aspectos da metodologia CCPM observados na aplicação da Proposta.

Pontos Fracos	
Reprogramação do cronograma no AMP pela CCPM é inevitável	Em projetos no AMP não é possível prever as tarefas futuras com detalhes consistentes durante todo o período do projeto. Para abordar esta questão, os projetos são na sua maioria programados por um plano de estimativas de curto prazo desde o início e tenta economizar esforços extras para (as incertezas) em longo prazo. O foco se localiza principalmente em tarefas de curto prazo e as tarefas futuras são divididas em detalhes quando o tempo de execução está se aproximando.
Colocação de tarefas restritas de recursos	São nivelados ou posicionados aleatoriamente no cronograma com recursos suficientes do mesmo tipo que estão disponíveis. Isto pode não ser apropriado na prática, porque durante a execução do projeto, algumas tarefas não são apenas tecnicamente dependentes, mas podem ser preferidas para executar pelo mesmo recurso, ou seja, a saída das tarefas de precedência é a entrada para o mesmo recurso.
O fator tempo como foco principal	A CCPM enfoca o cronograma do projeto como uma dimensão ou aspecto principal do gerenciamento de projetos e não fornecem diretrizes para o orçamento e a qualidade. Portanto, na abordagem da Cadeia Crítica, o tempo é o foco principal.
Evitar comportamentos negativos como a multitarefas	Durante a execução do projeto com recursos simultâneos em tarefas diferentes, leva os executores ao uso da multitarefa na proposta, possibilitando no aumento do lead time dos projetos, em que dever ser evitado ou restringi-lo.
Incertezas tecnológicas	Este método prepara o plano do projeto com maior nível de detalhe e menor nível de incerteza associada ao curto prazo e menos detalhes e mais incerteza para as fases posteriores do projeto. Além disso, apesar do uso desta abordagem, as incertezas tecnológicas ainda são incorporadas nas tarefas futuras do cronograma do projeto, porque nas fases iniciais da construção do projeto estimativas precisas não são possíveis. Portanto, é difícil definir o tamanho necessário do pulmão para proteger o cronograma contra incertezas técnicas, riscos e causas comuns de variação. Isso exige a reprogramação periódica do cronograma e o redimensionamento do pulmão, quando as mudanças significativas no escopo ocorrem para obter um número de atualização de tarefas.
Substituição de recursos	Em projetos de desenvolvimento de produtos, o CCPM atribui dinamicamente os recursos de prioridades de tarefa que são definidas pela proporção de consumo de pulmão de tempo, pela porcentagem completa corrente crítica, conhecido como índice de desempenho em projetos individuais. Em um ambiente de múltiplos projetos, em caso de igual índice de desempenho entre os projetos, o projeto com maior prioridade é elegível para atribuição do recurso crítico. Mas na prática nem sempre é viável que os recursos depois de completar o trabalho em suas tarefas, sejam intercambiados entre os projetos ou mesmo entre as tarefas de um projeto. Uma vez iniciado o projeto, essa flexibilidade (intercambialidade de recursos) começa a diminuir, lentamente no início e cada vez mais conforme o projeto avança.
Procedimentos de CCPM são intensivos e demorados	Neste aspecto, do ponto de vista do executante da tarefa, o rastreamento e a atualização dos procedimentos CCPM são intensivos e demorados, com reuniões diárias com um gerente de tarefas. Dentro desta reunião, questões como a revisão do tempo restante necessário, a revisão da lista de verificação, discussões sobre possíveis interrupções e resolução de problemas são abordadas.

Fonte: Elaboração do autor

No aspecto geral, as observações da aplicação do CCPM nos pontos fortes estão relacionadas às vantagens que a empresa tem em relação aos pontos fracos, de forma a reduzir o tempo de ciclo dos projetos com a mesma quantidade de recursos sem alterar as suas características tanto na qualidade como no orçamento, e mantendo as realizações de atividades importantes sem perder de vista as suas metas.

Potencialidade contribuição da pesquisa

O Quadro 59 apresenta os resumos das estratégias de aderência da pesquisa, em relação ao dimensionamento do pulmão de tempo enquanto o Quadro 60 apresenta as estratégias de aderências das ferramentas de apoio ao gerenciamento dos projetos em ambiente de múltiplos projetos, na qual o fluxo proposto se mostrou adequado na aplicação em um sistema de múltiplos projetos.

Quadro 59. Estratégia da aderência da pesquisa para dimensionamento do pulmão de projeto.

Variáveis de influência no Pulmão de Tempo		
Variável	Como foram avaliadas?	Observações (evidência)
Duração dos tempos estimados nas atividades (t_i)	Por falta de dados históricos foi utilizado um conjunto de números aleatórios entre os tempos pessimistas e otimistas estimados nas atividades.	Teve comportamento de dados coletados seguindo uma distribuição triangular de tempos de projeto.
Disponibilidade/ variação de Recursos R_t (i)	Foi medido pela quantidade do nível de consumo pelo tipo de recurso (i) na janela de tempo (t) pelo total de recurso disponível (i) na atividade adotada pela Equação (1).	Fez-se uma associação da disponibilidade de recursos com o nível de incerteza do consumo de um tipo de recurso de uma determinada demanda concorrente, observando na mesma janela de tempo.
Flexibilidade na Atividade (f_a)	Questionário usado na atribuição de pesos ponderados de dados atribuídos pelo especialista de projeto (adotado o modelo adaptado Zang <i>et al.</i> , 2014).	Foram detectadas atividades que podiam começar antes do tempo programado (evitando a síndrome de estudante). A antecipação contribuiria para recuperação do pulmão de tempo.
Complexidade da rede (CRI)	Levantamento da atividade na posição da rede é dado pela relação de precedências entre as atividades.	Atividades que apresentavam maior número de atividades precedentes para serem executadas foram as que mais impactaram no aumento do pulmão de projeto, em função do valor da incerteza da sua conclusão na rede.
Variável do atributo da incerteza da natureza do projeto (Kip)	Uso de questionários com valores ponderados nos atributos de complexidade e incerteza nivelando os níveis de importância e impacto na natureza do projeto.	Os projetos tinham independência na sua programação, mas na execução esses atributos (incerteza e complexidade) tinham grau de dependência para sua conclusão, em função dos recursos serem compartilhados.

Fonte: Elaboração do autor

Quadro 60. Estratégia da aderência da pesquisa para integração das ferramentas de gerenciamento de projeto em ambiente de múltiplos projetos

Ferramentas de apoio ao Modelo Proposto		
Resultado	Como foram avaliados?	Observações (evidência)
Construção das redes de projeto PERT/CPM	Foi desenvolvido um levantamento das atividades pela técnica da EAP e construídas as redes PERT/CPM pelo uso de tempos estimados: pessimistas e otimistas e mais prováveis, e calculados os tempos IMC, IMT, TMC e TMT.	Após a construção das redes foram identificadas as restrições das atividades pela alocação dos recursos compartilhados nas atividades.
Nivelamento de recurso nas atividades em projeto, e entre projetos.	Após a construção das redes PERT/CPM foram usadas às heurísticas de decisão, com segue: - No projeto individual foi tomada a decisão pelo maior consumo de tempo (recurso) na atividade. (MOF) - Em múltiplos projetos, a decisão se deu pelo maior consumo do valor de tempo consumido das atividades que se encontram na rede (MAXTWK).	Foram dadas as heurísticas de regra de prioridade para projeto individual (MOF) e Múltiplos projetos (MAXTWK) como ferramentas para nivelamento de recursos na tomada de decisão. Foram resolvidos, assim, os problemas de restrições (desconflitamento) de recursos.
Fator de corte nas estimativas de duração de tempo pelo uso da FMEA	Utilização de questionários para avaliar a severidade e a ocorrência do modo de falha.	Foram ponderadas por uma variação de corte de tempo nas atividades entre 33% a 50 %, conforme um intervalo de valor do NPR (Número de Prioridade de Risco).
Escolha do recurso crítico	Pelo somatório da maior quantidade consumida de um tipo de recurso entre projetos.	- Levantamento de informações de projetos nas planilhas. Identificação da criticidade, determinada pelo valor consumido de um tipo de recurso.
Avaliação do projeto pela escala de mensuração dos Fatores Críticos de Sucesso (FCS).	Uso de questionários da escala de mensuração pelos direcionadores da escala Fatores Críticos de Sucesso (FCS)	- Teve dois projetos classificados como sucesso total e um classificado como sucesso parcial - Aumento na porcentagem no cumprimento das atividades.
Monitoramento do pulmão de projeto	Por meio do consumo pulmão de tempo das atividades na execução da corrente crítica.	- Acompanhamento da execução das atividades relacionado pela diferença carga de trabalho planejado pela executada (real)

Fonte: Elaboração do autor

O Quadro 61 mostra algumas recomendações genéricas que podem influenciar o aumento do sucesso da aplicação do método CCPM, em função dos pontos fracos observados.

Quadro 61. Sugestões da aplicação do modelo proposto para aumento do sucesso do projeto.

Sugestões	Descrição
Ajustar as estimativas de tempo das tarefas e tamanho dos pulmões de tempo em relação aos possíveis riscos de cada projeto	- Para lidar com causas comuns e especiais dos riscos, e estabelecer estimativas de tarefas realistas com o pulmão de tempo, sugere-se a implantação de técnicas de gestão de riscos pelas incertezas tecnológicas (uso de novos equipamentos). Nos projetos estudados, estas incertezas tiveram forte influência devido às mudanças significativas no escopo e aparecimento de novas tarefas. Estas incertezas não puderam ser levantadas inicialmente, na determinação dos pulmões.
Reprogramar o cronograma do projeto CCPM em caso de mudanças significativas no escopo e a ajustar o tamanho total do pulmão de tempo.	- Baseada na literatura, o reescalonamento frequente do cronograma do projeto deve ser evitado, pois se tira o foco da equipe. No entanto, a reprogramação não é completamente inevitável porque a alocação do pulmão de tempo não pode absorver todo o tipo de incertezas existentes nos projetos. - Nos três projetos analisados pelo método da CCPM, os pulmões alocados não foram capazes de absorver totalmente as possíveis causas especiais de variação no projeto, por ex. interrupções tecnológicas e presença de riscos, mudanças de escopo imprevistas e adição de novas tarefas sem serem estabelecidas. Portanto recomenda-se, em caso de finalização do pulmão total, que seja feita uma avaliação das razões para e tentar evitar nas máximas programações.
Definir e designar explicitamente as funções, responsabilidades e procedimentos do método CCPM à equipe de execução de projeto.	- Os conceitos da CCPM são gerais e não são desenvolvidos para uma organização ou tipo de projeto específico. Dependendo da estrutura da organização e a natureza dos projetos, devem-se fazer diretrizes claras sobre as regras do CCPM e as mudanças necessárias para aplicá-las, deverão ficar claras a determinação de responsabilidades e atribuição às pessoas apropriadas. Por exemplo, a CCPM sugere a atualização frequente (diária) dos dados concluídos, em andamento e futuras tarefas. A coleta e atualização de dados devem ocorrer dentro de cada organização em procedimentos já definidos. - A coleta de atualizações de informações e resolução de problemas devem ser processos contínuos durante a execução do projeto e feitos de maneira eficiente e sustentável para alcançar e manter a cooperação dos participantes.
Utilizar os recursos de apoio em espera e atualizar o uso de intercambiabilidade dos recursos	- Para lidar com a substituição de recursos e dificuldades de intercâmbio e apoiar na recuperação do pulmão de tempo, deve-se tomar ações rápidas para lidar com a provável adição de novas tarefas imprevistas e interrupções. Os executores podem operar com recursos de suporte para facilitar e remover possíveis interrupções de tarefas em execução, ou quando estão em o "status" do pulmão vermelho.

Fonte: Elaboração do autor.

A partir das três hipóteses levantadas no capítulo 1, observa-se:

- Primeira hipótese: o conjunto de ferramentas de apoio ao gerenciamento de projetos foi necessário ser aplicado, no sentido que, no conceito de projetos a aplicação das heurísticas tanto para projeto individual como para múltiplos projetos foram com o propósito de viabilizar uma programação viável de projetos dentro da filosofia do CCPM. A integração se deu por meio de algoritmos, que se mostraram eficientes e com a ado-

ção de um tamanho dimensionado de pulmão de tempo calculado pelas variáveis de influencias (FAPT).

- Segunda hipótese: o uso de heurísticas específicas aplicadas nesta pesquisa (MOF e MAXTWK) foi importante para a decisão de compartilhamento de recursos.
- Terceira e última hipótese: no gerenciamento de projetos, em um ambiente de múltiplos projetos, as soluções de problemas devem ser antecipadas tanto na programação como na execução, daí a importância de que se teve desenvolver uma integração de ferramentas de gestão de projetos e também a determinar um valor do pulmão, levando em considerações as características específicas da natureza de cada projeto, pelos atributos das variáveis de complexidade e incerteza.

Limitações da Pesquisa

Os resultados deste estudo devem ser interpretados com cautela, pois este estudo implica algumas limitações. Primeiro este estudo diz respeito à pesquisa qualitativa que engloba entrevistas aprofundadas que são seguidas de uma avaliação, interpretação e explicação dos pensamentos e opiniões das partes interessadas.

Este estudo ocorre em circunstâncias específicas aplicados em três projetos, portanto, não sendo possível ser projetado para fins de inferência estatística. Além disso, este estudo fornece alguns pensamentos sobre tópicos peculiares adotados na proposta, como exemplo, abordagem do método do CCPM em um ambiente de múltiplos projetos, ferramentas de apoio à implantação do gerenciamento de projetos, utilização de heurísticas para nivelamentos de recursos (projeto individual e múltiplos projetos), com levantamento de variáveis de influencias para dimensionamento do pulmão de tempo e adoção de um escala (FSC) como mensuração de resultados do sucesso dos projetos.

Outra limitação observada foi o desenvolvimento da integração das ferramentas de GP pela uma sequência de execução por meio de um algoritmo (heurística ou procedimentos) pré-estabelecido, como os projetos já são adotados de incerteza na sua natureza e que pode acontecer situações inesperadas durante a sua execução, e sendo assim impossível o sucesso sem a utilização de uma equipe treinada e preparada nos conhecimentos da metodologia de CCPM.

Assim é importante conhecer o funcionamento do CCPM e o modo de execução em cada etapa do projeto. De forma que na aplicação do modelo proposto é preciso que a sua implementação seja consistente e devidamente planejada.

Por fim, ressalta-se que não foi objetivo deste trabalho a verificação do comportamento dos custos relacionados com as atividades dos projetos e nem propor ações para as organizações em mudar o seu conhecimento, e práticas já utilizados ao longo do tempo, mas dá oportunidade de conhecer outra forma de acompanhar e monitorar o andamento dos projetos pelo consumo de pulmão de tempo na corrente crítica, possibilitando estabelecimento de data de previsão mais exequível conforme a realidade de cada projeto.

Resumo do Capítulo

Neste capítulo foram apresentadas as análises e discussões dos dados referentes ao estudo da integração de ferramentas de gerenciamento de projeto pelo método CCPM tais como: construção da rede de projetos PERT/CPM; uso da FMEA como tomada de decisão no corte da estimativa de tempo nas atividades; Heurísticas pela regra de prioridade em projeto individual (MOF) e ambiente de múltiplos projetos (MAXTKW) para nivelamento de recursos na solução de conflitos de recursos; e também as variáveis de influência já abordadas na literatura, que resultaram em um fator denominado de FAPT para o desenvolvimento do dimensionamento do pulmão de projeto, com a adoção da incerteza e da complexidade dos projetos.

No entanto, foi desenvolvida a aplicação da proposta em três projetos denominados de A, B e C, realizado um dimensionamento do pulmão de tempo e que foram mensurados o seu desempenho por meio da comparação por outros métodos convencionais “Corta e Cola” e “Raiz do Erro ao Quadrado” pelo estabelecimento de indicadores de forma a permitir uma avaliação pelos seus resultados e que foram confirmados por uma escala de mensuração de Fatores Crítico de Sucesso (FCS).

Já pela integração das ferramentas de GP, a aplicação da proposta pode levar em consideração alguns aspectos tanto positivos como negativos, que podem ser útil para empresas na qual trabalham com projetos que tenham certas especificidades e que precisam ser consideradas estas influências em seu dimensionamento de pulmões de tempo.

Por último, depreende-se de uma análise global entre os três projetos, empregando-se o método da CCPM, com as datas de término planejadas a serem mais curtas em relação às datas planejadas no modelo convencional (PERT/CPM), em contrapartida, após aplicação da proposta, os dois projetos A e B terminaram em datas dentro da programação da proposta com 100% de execução, mas o projeto C mesmo não chegando a 100% mas teve uma tendência em chegar dentro do prazo de entrega. Neste caso, vale destacar que o Projeto A e B na fase de encerramento tiveram uma avaliação na escala FCS como projeto de sucesso total e já o projeto C teve fator de sucesso parcial com foi avaliado no Quadro 52.

Concluindo, pode-se resumir que apesar dos prazos planejados serem mais curtos, e “desafiadores” pelo método da corrente crítica, mas podendo gerenciar os projetos pelo consumo do pulmão de tempo, como visto pelos indicadores de desempenho nos Quadros 41, 42 e 43, mostra que estes resultados se devem, em boa parte, pela “proteção” das atividades que consome o recurso crítico e que por meio das inserções de pulmões de tempo que puderam garantir uma melhor programação e execução de projetos, em um ambiente de múltiplos projetos.

Enfim, o propósito deste trabalho consistiu em demonstrar a eficácia do método CCPM em relação ao gerenciamento de um programa (portfólio) de projetos, onde as premissas estabelecidas pela proposta foram executadas à realidade de um ambiente de múltiplos projetos.

Em suma, dentre as possíveis vantagens esperadas da concepção da proposta pode-se elencar que:

- Desenvolveu uma previsão de novos projetos no programa (portfólio) de projetos correntes e simultâneos (múltiplos projetos);

- Apresentou melhoria na visibilidade e da transparência, prevendo os possíveis atrasos com antecedência, por meio de consumo do pulmão de tempo, e que no gerenciamento dos projetos pode focalizar e centralizar ações apenas aonde alguma intervenção foram necessárias para garantir melhor resultado na finalização do projeto ou entre projetos;
- Teve benefício em reduzir o *lead time* pelo aproveitamento melhor da capacidade disponível, permitindo planejar e executar mais projetos no mesmo período de tempo, comparado com os sistemas convencionais de gerenciamento de projetos (PERT/CPM);
- Minimizou as etapas do replanejamento dos projetos devido à redução da reprogramação das atividades, em função da dependência das flutuações de serem absorvidas pelos pulmões de tempo;
- Teve melhor visualização dos possíveis recursos (ou atividades) restritivos (vas) “gargalos” no sistema e evitando, assim, dispor de pessoas que não venham contribuir com os resultados, tais como paradas e/ou trabalho desnecessários, intensificando o trabalho em equipe.

Enfim, o objetivo deste capítulo compreende em demonstrar a eficácia da proposta em relação à integração das ferramentas de gerenciamento de projetos, em um ambiente de múltiplos projetos e o dimensionamento de um valor adequado de um pulmão de tempo conforme a sua realidade, em que permite, assim, o sucesso no seu planejamento e execução mesmo em um ambiente de incertezas.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Considera-se que o objetivo do trabalho foi alcançado, uma vez que uma vez que se desenvolveu uma proposta de um fluxo para integrar as ferramentas de GP e dimensionar um tamanho de pulmão de tempo usando os princípios do método CCPM em gerenciamento de múltiplos projetos com o apoio de ferramentas de gestão de projetos, tais como: PERT/CPM, EAP, FMEA, Heurísticas de Nivelamento de Recursos e fazendo o encerramento com uma escala de mensuração de projetos pela avaliação dos fatores críticos de sucesso.

Com relação aos objetivos específicos, também foram alcançados, uma vez que por meio desse trabalho buscou-se oferecer uma solução ao problema formulado, pode-se concluir, nestes aspectos que:

No referencial teórico de gestão de projetos, apoiado em bibliografia nacional e internacional, foram detectadas quais as heurísticas (procedimentos) que podem solucionar os problemas de restrições de recursos, aplicados em um ambiente de múltiplos projetos, com estabelecimento de uma programação de projetos viáveis baseado no método do CCPM;

Com relação ao dimensionamento de pulmão de tempo, foi definido um conjunto de cinco variáveis de influência: flexibilidade na atividade, disponibilidade / variação de recursos, duração dos tempos estimados, complexidade da rede, variável do atributo da incerteza da natureza do projeto. Estas foram posteriormente avaliadas associando-se os resultados por meio de um fator de ajuste de pulmão (FAPT) pelo uso de uma equação de ponderação que determina um tamanho de um pulmão de projeto (PP) e de alimentação (PA).

A partir da proposta do fluxo desenvolvida em quatro etapas, destacada na Figura 36, foi estabelecido um valor para um tamanho de pulmão de projeto, que comparado com o método “Corta e Cola” e “Raiz do Erro ao Quadrado” nos Quadros nos Quadros 45, 46 e 47 com o método proposto, que se mostrou viável pelo uso no monitoramento e controle de projetos;

Ainda nos Quadros 45, 46 e 47, por meio de indicadores de desempenho de pulmão de tempo (maior tempo de consumo do pulmão (dias); tempo médio de consumo do pulmão (dias) e número de vezes que o pulmão foi consumido) os projetos foram gerenciados positivamente em função do comportamento dos resultados do monitoramento e acompanhamento dos projetos pelo seu consumo do pulmão de tempo;

Nesse trabalho, buscou-se sempre enfatizar a importância da implantação do método de CCPM na organização para alcançar resultados positivos, caso não o tenha, fica inviável aplicação deste modelo proposto. As etapas já apresentadas na Figura 37 revelam a importância efetiva de se ter um mecanismo de controle de projetos por meio da mensuração do pulmão de tempo.

Concluiu-se, portanto, a eficácia da proposta, que se destaca pela possibilidade de maior assertividade dos cronogramas dos projetos e pela capacidade de analisar o uso da integração de ferramentas de gerenciamento de projeto com o dimensionamento do pulmão de tempo, onde o seu monitoramento se deu pela execução do cronograma de projeto, sendo assim, um benefício estratégico a ser alcançado dentro de um sistema dinâmico de projetos com a implementação do método CCPM.

Elementos de inovação da pesquisa

Na proposta foram agregados os elementos inovadores em nova maneira de dimensionar o pulmão de tempo e a integração de ferramentas de gerenciamento de projetos, em um ambiente de múltiplos projetos. Os itens abaixo ressaltam alguns pontos de inovação nesta pesquisa:

- a) Foi levantado na literatura um conjunto de variáveis que podem influenciar o pulmão de tempo de projeto, utilizando o método CCPM, e nesta pesquisa estas variáveis foram denominadas como FAPT: (fa), (Rti), (Ti), (Cri) e (Kip) e por meio de um ajuste da equação de Newbold (1998) desenvolveu-se as ponderações necessárias para se determinar um valor de pulmão de projeto com ajuste de tempo;
- b) Para a redução do tempo das atividades, para compor o pulmão, foi feito um tratamento individual das atividades, utilizando o FMEA;
- c) Em trabalhos acadêmicos, são identificados modelos de cálculos dos Pulmões de tempo com uso de simulações computacionais que a sua validação fica na solução dos problemas de hipóteses, enquanto que esta pesquisa teve a sua aplicação em um estudo de caso e apresentando resultados positivos com seus objetivos específicos;
- d) A proposta permitiu uma visão sistêmica do método CCPM e se mostrou aderente ao se aplicar em estudo de caso;
- e) Uso de heurísticas, tanto em projeto individual como em múltiplos projetos, para se resolver conflitos de recursos, facilitou a implementação da corrente crítica (CCPM);
- f) Para avaliar o resultado da proposta, utilizou-se uma medida das variáveis dos Fatores Críticos de Sucesso que trouxe bons resultados no desempenho do cronograma de projeto. As variáveis de influencia (FAPT) utilizadas geraram indicadores de desempenho satisfatório nos três projetos estudados apresentados nos Quadros 45, 46 e 47.

Em suma, a aplicação do fluxo da proposta pelo método CCPM pode ser aplicado em qualquer organização.

A pesquisa mostrou, portanto, o uso de elementos inovadores na integração do conjunto de ferramentas, em um ambiente de múltiplos projetos, como no dimensionamento de um tamanho de pulmão. Isto resultou em uma programação viável com a utilização de algoritmos de gerenciamento para o consumo do pulmão de tempo. Possibilitou-se, assim, um monitoramento mais seguro, focado e eficaz assegurando que a evolução do projeto estivesse alinhada com o cronograma proposto.

O trabalho foi desenvolvido pela concepção de um fluxo apresentado na Figura 36 e onde teve o seu desdobramento de trabalho mostrado na Figura 37. Apresentou três etapas, que a primeira possibilitou tratar o gerenciamento do projeto de forma individual; a segunda em ambiente de múltiplos projetos, a terceira e última etapa proporcionou mostrar que fluxo proposto foi adequado, pelos indicadores de desempenho na avaliação, e pela comparação com os métodos.

Sugestões para trabalhos futuros

Baseados nas delimitações deste trabalho e nos resultados e conclusões apresentadas, ainda existem questões que precisam ser respondidas, no que se refere à implantação do método CCPM, e ao tamanho do pulmão de tempo de projeto em ambiente de múltiplos projetos. Dessa forma, sugere-se investigação dos seguintes temas de pesquisa para trabalhos futuros:

- a) Desenvolver uma estrutura de um banco de dados para coletar e organizar informações históricas de maneira sistemática, estratificada para investigar os resultados variáveis do comportamento de pulmão de projetos, utilizando a Simulação de Monte Carlo no fluxo proposto;
- b) Avaliar a correlação entre cronogramas de projeto pelos desempenhos simulado e o real, utilizando a simulação de Monte Carlo pelas abordagens de monitoramento e controle, com questões específicas do CCPM, para aperfeiçoar as estratégias de gerenciamento de projeto;
- c) Explorar outros tipos de heurísticas que possam viabilizar o nivelamento, levando em consideração as restrições impostas pela disponibilidade, incluindo trabalho e materiais;
- d) Desenvolver um modelo para testar a capacidade de pulmão de tempo de projeto na proteção contra restrições de recursos que surgem durante a execução, em ambiente de múltiplos projetos.

REFERÊNCIAS

- ABDOLSHAH, Mohammad. A Review of Resource-Constrained Project Scheduling Problems (RCPSP) Approaches and Solutions. **International Transaction Journal of Engineering, Management, & Applied Sciences & Technologies**, p. 50-84, 2014.
- ABNT NBR ISO 21500:2012. **Orientações Sobre Gerenciamento de Projeto**. ABNT
- AGARWAL, Atul; BORCHERS, Andy. Managing multiple projects and departmental performance using buffer burn index. **International Journal of Global Management Studies**, v. 1, n. 3, 2009.
- AHMAD, Soheli; MALLICK, Debasish N.; SCHROEDER, Roger G. New product development: impact of project characteristics and development practices on performance. **Journal of Product Innovation Management**, v. 30, n. 2, p. 331-348, 2013.
- AHLEMANN, Frederik et al. A process framework for theoretically grounded prescriptive research in the project management field. **International Journal of Project Management**, v. 31, n. 1, p. 43-56, 2013.
- AL NASSERI, Hammad; AULIN, Radhlinah. Enablers and Barriers to Project Planning and Scheduling Based on Construction Projects in Oman. **Journal of Construction in Developing Countries**, v. 21, n. 2, p. 1, 2016.
- ALMEIDA, Ilton Marchi de. Proposta de uso integrado dos métodos Scrum e CCPM na gestão de múltiplos projetos. **Dissertação (Mestrado)**–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2017.
- ALMEIDA, Bernardo F.; CORREIA, Isabel; SALDANHA-DA-GAMA, Francisco. Priority-based heuristics for the multi-skill resource constrained project scheduling problem. **Expert Systems with Applications**, v. 57, p. 91-103, 2016.
- APPOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia da Ciência: filosofia e prática da pesquisa**. 2. ed. rev. e atual. São Paulo: Cengage Learning, 2012. 226p.
- ARASZKIEWICZ, Krystyna. Application of critical chain management in construction projects schedules in a multi-project environment: a case study. **Procedia Engineering**, v. 182, p. 33-41, 2017.
- ASH, Robert C.; PITTMAN, Paul H. Towards holistic project scheduling using critical chain methodology enhanced with PERT buffering. **International Journal of Project Organization and Management**, v. 1, n. 2, p. 185-203, 2008.
- BALAKRISHNAN, Jaydeep. **Critical chain analysis using project management software**. 2009.
- BARCAUI, A. B.; QUELHAS, O. **Corrente Crítica: uma alternativa à gerência de projetos tradicional**. Revista Pesquisa e Desenvolvimento Engenharia de Produção. n.2, p.1-21. Julho 2004.
- BARENDT, D. M. et al. Risk analysis of analytical validations by probabilistic modification of FMEA. **Journal of pharmaceutical and biomedical analysis**, v. 64, p. 82-86, 2012.
- BELOUT, A.; GAUVREAU, C. Factors influencing project success: the impact of human resource management. **International Journal of Project Management**, v. 22, n. 1, p. 1-11, jan. 2004.
- BENDER, Michael A.; CLIFFORD, Raphaël; TSICHLAS, Kostas. Scheduling algorithms for procrastinators. **Journal of Scheduling**, v. 11, n. 2, p. 95-104, 2008.
- BESTEIRO, E. N. C. Escala de Mensuração dos Fatores Críticos de Sucesso no Gerenciamento de Projetos. Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, **Tese de Douto-**

rado, 178 p, 2012.

BEVILACQUA, M.; CIARAPICA, F. E.; GIACCHETTA, G. Critical chain and risk analysis applied to high-risk industry maintenance: A case study. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 4, p. 419-432, 2009.

BHUSHAN, R. S. and RAGHAVAN, V. S. A Relative Study on CCPM And LOB Scheduling Technique. **Indian Journal of Applied Research**. 3 (5). 242-245. (2013).

BIE, Li; CUI, Nanfang; ZHANG, Xiaoming. Buffer sizing approach with dependence assumption between activities in critical chain scheduling. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 24, p. 7343-7356, 2012.

BLACKSTONE JR, John H.; COX III, James F.; SCHLEIER JR, John G. A tutorial on project management from a theory of constraints perspective. **International Journal of Production Research**, v. 47, n. 24, p. 7029-7046, 2009.

BOCTOR, Fayed F. A new and efficient heuristic for scheduling projects with resource restrictions and multiple execution modes. **European Journal of Operational Research**, v. 90, n. 2, p. 349-361, 1996.

BROWNING, Tyson R.; YASSINE, Ali A. Resource-constrained multi-project scheduling: Priority rule performance revisited. **International Journal of Production Economics**, v. 126, n. 2, p. 212-228, 2010.

BUDD, C. S., & CERVENY, J. (2010). **A critical chain project management primer**. In J. F. Cox & J. G. Schleier (Eds.), *Theory of constraints handbook* (pp. 45-76). New York: McGraw-Hill.

CABANIS-BREWIN, Jeannette. "So... So What??" Debate Over CCPM Gets a Verbal Shrug from TOC Guru Goldratt. **PM NETWORK**, v. 13, p. 49-54, 1999.

CAMPANINI, Luciano. Gerenciamento de projetos em uma empresa de bens de capital: uma comparação entre os procedimentos utilizados e o método da corrente crítica. **Dissertação de Mestrado**.-Universidade Federal de São Carlos, São Carlos.2008.

CAMPANINI, Luciano. Gestão de múltiplos projetos em uma empresa de bens de capital: uso do método da corrente crítica aplicando lógica fuzzy para cálculo de pulmão de tempo. **Tese de Doutorado**- Universidade Federal de São Carlos, São Carlos. 2013.

CAVALCANTI, Nathalie da Silva. Utilização da corrente crítica no gerenciamento de uma obra no setor da construção civil. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2011.

CAXIAS, Cristiano Florentino et al. GERENCIAMENTO DE MÚLTIPLOS PROJETOS: PROPOSTA DE UM SISTEMA DE PRIORIZAÇÃO DE PROJETOS EM INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL. **FACEF Pesquisa-Desenvolvimento e Gestão**, v. 16, n. 1, 2013.

CERVENY, Janice F.; GALUP, Stuart D. Critical chain project management holistic solution aligning quantitative and qualitative project management methods. **Production and Inventory Management Journal**, v. 43, n. 3/4, p. 55, 2002.

CERVO, Amado, L.; BERVIAN, Pedro A; SILVA, Roberto. Metodologia Científica. 6. ed. São Paulo: Pearson / Prentice Hall (Brasil), 2007. 176 p.

CHAND, Shelvin; SINGH, Hemant Kumar; RAY, Tapabrata. A heuristic algorithm for solving resource constrained project scheduling problems. In: **Evolutionary Computation (CEC), IEEE Congress on**. IEEE, 2017. p. 225-232.

CHEN, Jun-jie; ZHU, Jiang-li; ZHANG, Ding-ning. Multi-project scheduling problem with human resources based on dynamic programming and staff time coefficient. In: **Management Science & Engineering (ICMSE), 2014 International Conference on**. IEEE, 2014. p. 1012-1018.

CHEN, Qi-Wei; LI, Guo-Yin; ZHUANG, Qing-Hui. The Analysis of Project Schedule Uncer-

- tainty: Based on Monte Carlo Simulation. In: **Management and Service Science, 2009. MASS'09. International Conference on**. IEEE, 2009. p. 1-4.
- CHENG, Chi-Bin; LO, Chiao-Yu. Multi-Project Scheduling by Fuzzy Combinatorial Auction. In: **Cybernetics (CYBCON), 2017 3rd IEEE International Conference on**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- COHEN, Izack; MANDELBAUM, Avishai; SHTUB, Avraham. Multi-project scheduling and control: A process-based comparative study of the critical chain methodology and some alternatives. **Project Management Journal**, v. 35, n. 2, p. 39-50, 2004.
- COOPER ORDONEZ, Robert Eduardo. Proposta para uso da corrente crítica no gerenciamento de múltiplos projetos. 2013. **Tese de Doutorado** - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica.
- COOPER, Donald R.; SCHINDLER, Pamela S. **Métodos de Pesquisa em Administração**. 11. ed. Porto Alegre: Bookman, 2016. 784p.
- COX III, James F.; SCHLEIER, John G. **Handbook da teoria das restrições**. Bookman Editora, 2013.
- DALFARD, Vahid Majazi; RANJBAR, Vahid. Multi-projects scheduling with resource constraints and priority rules by the use of simulated annealing algorithm. **Technical Gazette**, v. 19, n. 3, p. 493-499, 2012.
- DASS, S.; STEYN, H. An exploratory assessment of project duration in multiple-project schedules where resources are allocated by the Theory of Constraints method. **South African Journal of Industrial Engineering**, v. 17, n. 1, p. 39-54, 2006.
- DAVIS, Kate. Different stakeholder groups and their perceptions of project success. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 2, p. 189-201, 2014.
- DE MIRANDA MOTA, Caroline Maria; DE ALMEIDA, Adiel Teixeira; ALENCAR, Luciana Hazin. A multiple criteria decision model for assigning priorities to activities in project management. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 2, p. 175-181, 2009.
- DILMAGHANI, Farhad. **Critical chain project management (CCPM) at Bosch Security Systems (CCTV) Eindhoven: a survey to explore improvement opportunities in the scheduling and monitoring of product development projects**. Dissertação de Mestrado. University of Twente. 2008.
- DONG, Lei et al. Application of Critical Chain Project Scheduling Theory in Power Plant Electrical Equipment Maintenance. In: **Advanced Materials Research**. Trans Tech Publications, p. 1985-1989. 2013.
- EBRAHIMPOUR, Vahid; REZAIE, Kamran; SHOKRAVI, Sameneh. An ontology approach to support FMEA studies. **Expert Systems with Applications**, v. 37, n. 1, p. 671-677, 2010.
- FALLAH, Mohammad; ASHTIANI, Behzad; ARYANEZHAD, Mir B. Critical chain project scheduling: Utilizing uncertainty for buffer sizing. **International Journal of Research and Reviews in Applied Sciences**, v. 3, n. 3, p. 280-289, 2010.
- FENBERT, J. A. and FLEENER, N. K. Implementing TOC Multiproject Management in a Research Organization. In: **Project Management Institute**, PMI Research Conference, July 14-17, Seattle, Washington, USA. (2002).
- FINOCCHIO, J. J. Programação de Parada de Plataforma Marítima Utilizando o Método da Corrente Crítica. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, **Dissertação de Mestrado**, 130 p, 2009.
- FÜNDELING, C.-U.; TRAUTMANN, Norbert. A priority-rule method for project scheduling with work-content constraints. **European Journal of Operational Research**, v. 203, n. 3, p. 568-574, 2010.
- GHAFFARI, Mahdi; EMSLEY, Margaret W. Current status and future potential of the research on Critical Chain Project Management. **Surveys in Operations Research and**

Management Science, v. 20, n. 2, p. 43-54, 2015.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: **Atlas**, 2010.

GÖKSU, Ali; ĆATOVIĆ, Selma. Implementation Of Critical Path Method And Project Evaluation And Review Technique. **International Burch University, Faculty of economics Management and information Technologies Sarajevo**, Bosnia and Herzegovina (2014).

GOLDRATT, E.M. **Critical Chain**. North River Press Publishing Corporation, Great Barrington, MA. (1997).

GOLDRATT, Eliyahu M.; COX, Jeff. **The goal: a process of ongoing improvement**. Routledge, 2016.

GONÇALVES, Elisa Pereira. Escolhendo o percurso metodológico. In: _____. **Conversas sobre iniciação à pesquisa**. São Paulo: Alínea, 2001. p. 63-73.

GONG, Chen; QING, Sun. The Study on Setting Method of Project Buffers in a Critical Chain. In: **2010 International Conference on E-Business and E-Government**. IEEE, 2010. p. 2851-2854.

GOTO, Hiroyuki; TRUC, Nguyen Thi Ngoc; TAKAHASHI, Hirotaka. Simple representation of the critical chain project management framework in a max-plus linear form. **SICE journal of control, measurement, and system integration**, v. 6, n. 5, p. 341-344, 2013.

GRAY, C. F., LARSON, E. W., Project Management, The Managerial Process. **McGrawHill, Singapore**. 2000.

GRAY, D. E. Pesquisa no Mundo Real. 3 ed. Artmed Editora S.A., Porto Alegre, 2012. 488p.

GUPTA, M.; ANDERSEN, S. Revisiting local TOC measures in an internal supply chain: A note. **International Journal of Production Research**, v. 50, n. 19, p. 5363-5371, 2012.<http://dx.doi.org/10.1080/00207543.2011.627389>.

GUO, Qi; TIAN, Zhi-chao; ZENG, Lu. Notice of Retraction Analysis on Risk Management Based on the Method of FMEA of EPC General Contractor Projects. In: **Management and Service Science (MASS), 2010 International Conference on**. IEEE, 2010. p. 1-4.

GUO, Yan; DONG, Chao. Resource conflict resolution method for software projects using fuzzy critical chain. In: **Control and Decision Conference (2014 CCDC), The 26th Chinese**. IEEE, 2014. p. 2554-2559.(2014)

HAGEMANN, Andrew G. Use of the critical chain project management technique at NASA, Langley Research Center. In: **Digital Avionics Systems, 2001. DASC. 20th Conference**. IEEE, 2001. p. 4B1/1-4B1/10 vol. 1.

HALL, Nicholas G. Project management: Recent developments and research opportunities. **Journal of Systems Science and Systems Engineering**, p. 1-15, 2012.

HAMM, Matthias; BEIBERT, Ulrike; KÖNIG, Markus. Simulation-based optimization of construction schedules by using pareto simulated annealing. 2010.

HARTMANN, Sönke; BRISKORN, Dirk. A survey of variants and extensions of the resource-constrained project scheduling problem. **European Journal of operational research**, v. 207, n. 1, p. 1-14, (2010).

HASGÜL, Servet et al. Project-oriented task scheduling for mobile robot team. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 20, n. 2, p. 151-158, 2009.

HAVERILA, Matti J. ; FEHR, Kacy. The impact of product superiority on customer satisfaction in project management. **International Journal of Project Management**, v. 34, n. 4, p. 570-583, 2016.

HERROELEN, Willy; LEUS, Roel. On the merits and pitfalls of critical chain scheduling. **Journal of operations management**, v. 19, n. 5, p. 559-577, 2001.

- HERROELEN, Willy; LEUS, Roel. Project scheduling under uncertainty: Survey and research potentials. **European journal of operational research**, v. 165, n. 2, p. 289-306, 2005.
- HERROELEN, Willy; LEUS, Roel. The construction of stable project baseline schedules. **European Journal of Operational Research**, v. 156, n. 3, p. 550-565, 2004.
- HERROELEN, Willy; LEUS, Roel; DEMEULEMEESTER, Erik. Critical chain project scheduling-Do not oversimplify. **Project Management Journal**, v. 33, n. 4, p. 46-60, 2002
- HU, Xuejun et. al. Incorporation of activity sensitivity measures into buffer management to manage project schedule risk. **European Journal of Operational Research**, v. 249, n. 2, p. 717-727, 2016.
- HU, Xuejun; CUI, Nanfang; DEMEULEMEESTER, Erik. Effective expediting to improve project due date and cost performance through buffer management. **International Journal of Production Research**, v. 53, n. 5, p. 1460-1471, 2015.
- HUANG, C. L., CHANG, H. G., Li, R. K. and Tsai, C. H. Using Game and Statistical Analysis to Confirm Goldratt's Logical Analysis of Poor Delivery in a Multi-Project Environment. **South African Journal of Industrial Engineering**.22 (2). 133-150 (2011).
- HUANG, Hsiang-Hsi; HUANG, Ching-Hsu; PEI, Wen. Solving multi-resource constrained project scheduling problem using ant colony optimization. **Journal of Engineering, Project, and Production Management**, v. 5, n. 1, p. 2, (2015).
- ICHIHARA, J.A. Solução do Resource-Constrained Project Sheduling Problem mediante Heurísticas de Programação Baseadas em Regras de Prioridade. XXII Encontro Nacional de Engenharia de Produção Curitiba – PR, 23 a 25 de outubro de (2002).
- IRANMANESH, Hosein; MANSOURIAN, Fatemeh; KOUCHAKI, Samaneh. Critical chain scheduling: a new approach for feeding buffer sizing. **International Journal of Operational Research**, v. 25, n. 1, p. 114-130, 2016.
- ISMAIL, Ismaaini et al. **Comparative study on time management practices in construction industry between Kedah and Kelantan**. 2013.
- IZMAILOV, Azar. If your company is considering the Theory Of Constraints. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 150, p. 925-929, 2014.
- IZMAILOV, Azar; KORNEVA, Diana; KOZHEMIKIN, Artem. **Project management using the buffers of time and resources**. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, v. 235, p. 189-197, 2016.
- JIANMIN, An. Multi-project management based on the critical chain. In: **2011 International Conference on Product Innovation Management (ICPIM 2011)**. 2011.
- JOSLIN, Robert; MÜLLER, Ralf. Relationships between a project management methodology and project success in different project governance contexts. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 6, p. 1377-1392, 2015.
- KANAGASABAPATHI, B.; ANANTHANARAYANAN, K.; KHOSROWSHAHI, F. A simulation model for resource constrained scheduling of multiple projects. In: **21st Annual ARCOM Conference, SOAS**. 2005. p. 823-831.
- KANAGASABAPATHI, Balasubramanian; RAJENDRAN, Chandrasekharan; ANANTHANARAYANAN, Kuppaswamy. Scheduling in resource-constrained multiple projects to minimise the weighted tardiness and weighted earliness of projects. **International Journal of Operational Research**, v. 7, n. 3, p. 334-386, 2010.
- KASTOR, A.; SIRAKOULIS, K. The effectiveness of resource levelling tools for resource constraint project scheduling problem. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 5, p. 493-500, 2009.
- KERZNER, H. **Gerenciamento de Projetos: Uma Abordagem Sistêmica para Planejamento, Programação e Controle**. São Paulo, Ed. Blucher, 657 p. 2011.

- KHEMAKHEM, Mohamed Ali; CHTOUROU, Hédi. Efficient robustness measures for the resource-constrained project scheduling problem. **International Journal of Industrial and Systems Engineering**, v. 14, n. 2, p. 245-267, 2013.
- KHUANKRUE, Issarapong et al. Improving fuzzy FMEA model for student projects. In: **Fuzzy Systems Association and 9th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (IFSA-SCIS), 2017 Joint 17th World Congress of International**. IEEE, 2017. p. 1-6.
- KOLISCH, Rainer. Serial and parallel resource-constrained project scheduling methods revisited: Theory and computation. **European Journal of Operational Research**, v. 90, n. 2, p. 320-333, 1996.
- KOLISCH, Rainer; HARTMANN, Sönke. Experimental investigation of heuristics for resource-constrained project scheduling: An update. **European journal of operational research**, v. 174, n. 1, p. 23-37, 2006.
- KOSKELA, L. J. et al. Last planner and critical chain in construction management: comparative analysis. In: **Proceedings of the 18th Annual Conference of the International Group for Lean Construction**. National Building Research Institute, Technion-Israel Institute of Technology p. 538-547. , 2010.
- KUMANAN, S.; JOSE, G. Jegan; RAJA, K. Multi-project scheduling using an heuristic and a genetic algorithm. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 31, n. 3-4, p. 360-366, 2006.
- KUMAR, Vinod. Entropic measures of manufacturing flexibility. **International Journal of Production Research**, v. 25, n. 7, p. 957-966, 1987.
- KUMRU, Mesut; KUMRU, Pinar Yıldız. Fuzzy FMEA application to improve purchasing process in a public hospital. **Applied Soft Computing**, v. 13, n. 1, p. 721-733, 2013.
- LAMBRECHTS, Olivier; DEMEULEMEESTER, Erik; HERROELEN, Willy. Proactive and reactive strategies for resource-constrained project scheduling with uncertain resource availabilities. **Journal of scheduling**, v. 11, n. 2, p. 121-136, 2008.
- LAPPE, Marc; SPANG, Konrad. Investments in project management are profitable: A case study-based analysis of the relationship between the costs and benefits of project management. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 4, p. 603-612, 2014.
- LE, Hanh Quang. Resource-Constrained Multi-Project Scheduling with Resource Moving Time for Construction Projects in Vietnam. In: **First International Conference on Construction in Developing Countries (ICCIDC-I)**. 2008.
- LEACH, L. P. **Critical Chain Project Management**. Norwood, Artech House, Inc., 330 p. 2000.
- LEACH, LP. Lean Project Management: **Eight Principles for Success**. Boise: South Pegasus Way, 2005.
- LECHLER, T. G., RONEN, B., & STOHR, E. A. (2005). Critical chain: A new project management paradigm or old wine in new bottles? **Engineering Management Journal**, (2005).
- LEE, Jae-Kwan; KIM, Yeong-Dae. Search heuristics for resource constrained project scheduling. **Journal of the Operational Research Society**, v. 47, n. 5, p. 678-689, 1996.
- LI, X. B. et al. The Study of Multi-Project Resource Management Method Suitable for Research Institutes from Application Perspective. **Procedia Engineering**, v. 174, p. 155-160, 2017.
- LIU, Jian-Bing; REN, Hong; XIE, Ji-Hai. Critical chain project management based heuristic algorithm for multiple resources-constrained project. In: **Business and Information Management, 2008. ISBIM'08. International Seminar on**. IEEE, 2008. p. 330-335.
- LU, Yunbo et al. Measurement model of project complexity for large-scale projects from

- task and organization perspective. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 3, p. 610-622, 2015.
- MA, Guofeng et al. Improved critical chain project management framework for scheduling construction projects. **Journal of Construction Engineering and Management**, v. 140, n. 12, p. 04014055, 2014.
- MALHOTRA, NARESH K. **Pesquisa de Marketing: uma Orientação Aplicada**. 4.ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.
- MARCONI, M. A.; LAKATOS, E. V. **Fundamentos de metodologia científica**. 6ª Ed. São Paulo: Atlas, 2008.
- MARRIS, P. The critical chain to reduce the time to market and increase productivity. **STP Pharma Techniques Pratiques Reglementations**, v. 21, n. 5, p. 379, 2011.
- MARTENS, Annelies; VANHOUCKE, Mario. A buffer control method for top-down project control. **European Journal of Operational Research**, v. 262, n. 1, p. 274-286, 2017.
- MARTINS, G. A. **Estudo de Caso: uma Estratégia de Pesquisa** – 2ª. Ed, São Paulo: Atlas, 2008.
- MARTINS, R. A. Abordagens qualitativa e quantitativa. In: MIGUEL, P. A. et al. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção e Gestão de Operações**. Rio de Janeiro: Elsevier - ABEPRO, 2010.
- MEREDITH, J.; MANTEL, S. **Project Management: A Managerial Approach**. John Wiley and Sons, Inc. 8th ed. 589 p. 2012.
- MILLHISER, William P.; SZMEREKOVSKY, Joseph G. Teaching critical chain project management: the academic debate and illustrative examples. **Inform Transactions on Education**, v. 12, n. 2, p. 67-77, 2012.
- MOELLMANN, Artur Henrique. Modelo enxuto de gerenciamento multiprojetos baseado na corrente crítica. **Tese de Doutorado**. Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá-Universidade Estadual Paulista, 2013.
- MOHAMMADI, Amir; TAVAKOLAN, Mehdi. Construction project risk assessment using combined fuzzy and FMEA. In: **IFSA World Congress and NAFIPS Annual Meeting (IFSA/NAFIPS), 2013 Joint**. IEEE, 2013. p. 232-237.
- MOHAMMADIPOUR, Faezeh; SADJADI, Seyed Jafar. Project cost-quality-risk tradeoff analysis in a time-constrained problem. **Computers & Industrial Engineering**, v. 95, p. 111-121, 2016.
- MORAES, Antonio Augusto Cerati de. Análise da aplicação da gestão de projetos por corrente crítica nos processos de desenvolvimento de produtos e na gestão de portfólio de um fabricante de aeronaves. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” 2015.
- MORAIS, C. H. B. Gerenciamento de Ambientes Multiprojetos pelo Método da corrente Crítica em Empresas Brasileiras. Universidade de São Paulo, São Paulo, **Dissertação de Mestrado**, 2011.
- MORAIS, Carlos HB; SBRAGIA, Roberto. Management of multi-project environment by means of Critical Chain Project Management: A Brazilian multi-case study. In: **Technology Management for Emerging Technologies (PICMET)**, 2012 Proceedings of PICMET’12. IEEE, p. 2506-2516. 2012.
- MORESI, Eduardo. Metodologia da Pesquisa. 2003. Disponível em: . Acesso em: 04 set. 2017; http://xa.yimg.com/kq/groups/22703089/512340126/name/Metodologia_Pesquisa-Moresi2003.pdf.
- MOUMENE, Khaled; FERLAND, Jacques A. Activity list representation for a generalization of the resource-constrained project scheduling problem. **European Journal of Opera-**

tional Research, v. 199, n. 1, p. 46-54, 2009.

NASCIMENTO, Carlos Augusto Dornellas do. Gerenciamento de prazos: uma revisão crítica das técnicas em uso em empreendimentos em regime EPC. **Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo**. 2007.

NEUMANN, Klaus; SCHWINDT, Christoph; ZIMMERMANN, Jürgen. **Project scheduling with time windows and scarce resources: temporal and resource-constrained project scheduling with regular and nonregular objective functions**. Springer Science & Business Media, 2012.

NEWBOLD, R. C. **The Billion Dollar Solution: Secrets of ProChain Project Management**. Lake Ridge, ProChain Solutions Inc., 2008.

NEWBOLD, Robert C. **Project management in the fast lane: applying the theory of constraints**. CRC Press, 1998.

NGUYEN, Thi Ngoc Truc. A Framework for Inter-Project Critical Chain management Based on Max-Plus Linear Representation. 2013.

ODDI, Angelo et al. Iterative flattening search for resource constrained scheduling. **Journal of Intelligent Manufacturing**, v. 21, n. 1, p. 17-30, 2010.

PATANAKUL, Peerakit; MILOSEVIC, Dragan. The effectiveness in managing a group of multiple projects: Factors of influence and measurement criteria. **International Journal of Project Management**, v. 27, n. 3, p. 216-233, 2009.

PAWINSKI, Grzegorz; SAPIECHA, Krzysztof. Resource allocation optimization in critical chain method. In: **Annales Universitatis Mariae Curie-Skłodowska**. De Gruyter Open Sp.p. 17.2012.

PENG, W. L.; XU, H. The scheduling problem of active critical chain method. **Information Technology Journal**, v. 11, n. 7, p. 829-839, 2012.

PENG, Wuliang; HUANG, Min. A critical chain project scheduling method based on a differential evolution algorithm. **International Journal of Production Research**, v. 52, n. 13, p. 3940-3949, 2014.

PETRO, Yacoub; GARDINER, Paul. An investigation of the influence of organizational design on project portfolio success, effectiveness and business efficiency for project-based organizations. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 8, p. 1717-1729, 2015.

PINTO, J. K. Some constraints on the theory of constraints: Taking a critical look at the critical chain. **PM NETWORK**, v. 13, p. 49-51, 1999.

PINTO, J. S.; NOVASKI, O.; ANHOLON, R. **Gestão da Complexidade e Incerteza em Projetos**. 1. ed. Curitiba-PR: Appris, 2018. 191p

PITTMAN, P.H., 1994. Project Management: A More Effective Methodology for the Planning and Control of Projects Management. University of Georgia, Athens, 237p.

PMI. PMI's pulse of the profession - the high cost of low performance. Technical Report. PMI. (2016).

PONSTEEN, Albert; KUSTERS, Rob J. Classification of human-and automated resource allocation approaches in multi-project management. **Procedia-Social and Behavioral Sciences**, v. 194, p. 165-173, 2015.

PRIBERAM, Dicionário. Disponível em: < <http://www.priberam.pt> >. **Acesso em 10 setembro de 2017**.

PRICEWATERHOUSE COOPERS, 2016. Insights and Trends: Current Portfolio, Programme, and Project Management Practices. The Third Global Survey on the Current State of Project Management. www.pwc.com. Acessado em 20 outubro de 2017.

PROJECT MANAGEMENT INSTITUTE. **Um Guia do Conhecimento em Gerenciamento**

- de Projetos (Guia PMBOK®)**, 5 ed., Newton Square, Project Management Institute Inc., 2014, 567p.
- RABBANI, Masoud et al. A new heuristic for resource-constrained project scheduling in stochastic networks using critical chain concept. **European journal of operational research**, v. 176, n. 2, p. 794-808, 2007.
- RAND, Graham K. Critical chain: the theory of constraints applied to project management. **International Journal of Project Management**, v. 18, n. 3, p. 173-177, 2000.
- RAYMOND, Louis; BERGERON, François. Project management information systems: An empirical study of their impact on project managers and project success. **International Journal of Project Management**, v. 26, n. 2, p. 213-220, 2008.
- RAZ, Tzvi; BARNES, Robert; DVIR, Dov. A critical look at critical chain project management. **IEEE Engineering Management Review**, v. 32, n. 2, p. 35-44, 2004.
- ROBINSON, Hilbert; RICHARDS, Robert. Critical Chain Project Management: Motivation & Overview. In: **Aerospace Conference, 2010 IEEE**. IEEE, 2010. p. 1-10.
- ROSEN, Christine. The myth of multitasking. **The New Atlantis**, n. 20, p. 105-110, 2008.
- ROZENES, Shai; VITNER, Gad; SPRAGGETT, Stuart. Project control: literature review. **Project management journal**, v. 37, n. 4, p. 5-14, 2006.
- RUIZ-MARTIN, Cristina; POZA, David J. Project configuration by means of network theory. **International Journal of Project Management**, v. 33, n. 8, p. 1755-1767, 2015.
- SAMPIERI, R. H; COLLADO, C. F.; LUCIO, P. B. **Metodologia de Pesquisa**, São Paulo: McGraw Hill, 2013.
- SANTOS, Fabrício Guermendi dos. Uso da corrente crítica por meio de simulação para auxílio no processo de planejamento da capacidade de uma fundição. **Dissertação de Mestrado**. São Carlos: UFSCar (2013).
- SCHATTEMAN, Damien et al. Methodology for integrated risk management and proactive scheduling of construction projects. **Journal of construction engineering and management**, v. 134, n. 11, p. 885-893, 2008.
- SEVERINO, Antônio Joaquim. **Metodologia do trabalho científico**. 23ª edição revisada e atualizada. São Paulo: Cortez, 2007.
- SHARMA, Abhishek; PATHAK, K. K. **Manpower Planning, Scheduling and Tracking of a Construction Project Using Microsoft Project Software**. 2015.
- SHURRAB, M. Traditional Critical Path Method versus Critical Chain Project Management: A Comparative View. **International Journal of Economics & Management Sciences**, v. 4, p. 292, 2015.
- SILVA, SAR. **O Desenvolvimento de um Método de Nivelamento e Alocação Com Números Nebulosos para o Setor da Construção Civil**. 271p. Tese de Doutorado. Tese (Doutorado em Engenharia Civil)-Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo. 1999.
- SILVA, A.; PINTO, R. Limitações no uso de Corrente Crítica. **Mundo Project Management**, v. ago-set, p. 44-49, 2009.
- SINGH, Amol. Resource constrained multi-project scheduling with priority rules & analytic hierarchy process. **Procedia engineering**, v. 69, p. 725-734, 2014.
- STEYN, Herman. Project management applications of the theory of constraints beyond critical chain scheduling. **International Journal of Project Management**, v. 20, n. 1, p. 75-80, 2002.
- TORMOS, Pilar; LOVA, Antonio. An efficient multi-pass heuristic for project scheduling with constrained resources. **International Journal of Production Research**, v. 41, n. 5, p.

1071-1086, 2003.

TRIETSCH, D. Why a critical path by any other name would smell less sweet. **Project Management Journal**, v. 36, n. 1, p. 27-36, 2005.

TRIETSCH, D., BAKER, K. R. "PERT 21: Fitting PERT/CPM for use in the 21st century." **International Journal of Project Management** 30(4), 490-502. 2012.

TUKEL, Oya I.; ROM, Walter O.; EKSIOGLU, Sandra Duni. An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling. **European Journal of Operational Research**, v. 172, n. 2, p. 401-416, 2006.

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. P. **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção**. Universidade Federal de Itajubá. 2012.

UMBLE, M.; UMBLE, E. Manage your projects for success: An application of the theory of constraints. **Production and Inventory Management Journal**, v. 41, n. 2, p. 27-32, 2000.

VALIKONIENE, Leonarda. **Resource buffers in Critical Chain Project Management**. Tese de Doutorado. University of Manchester. Leonarda. **Resource buffers in Critical Chain Project Management**. 2014. Tese de Doutorado. University of Manchester.

VANHOUCKE, Mario; COLIN, Jeroen. On the use of multivariate regression methods for longest path calculations from earned value management observations. **Omega**, v. 61, p. 127-140, 2016.

VERGARA, S. C. **Projetos e relatórios de pesquisa em administração**. São Paulo: Atlas, 2009.

WALKER, Edward D. Towards a More Effective Method of Scheduling Resource-Constrained Multiple Projects. **Proceedings of the Twelfth Annual Conference of the Production and Operations Management Society**, POM-2001, March 30-April 2, 2001.

WANG, Yaning. Study on critical chain project portfolio management. In: **Management and Service Science (MASS), 2011 International Conference on**. IEEE, 2011. p. 1-4.

WARBURTON, Roger DH. A time-dependent earned value model for software projects. **International Journal of Project Management**, v. 29, n. 8, p. 1082-1090, 2011.

WATSON, Kevin J.; BLACKSTONE, John H.; GARDINER, Stanley C. The evolution of a management philosophy: The theory of constraints. **Journal of operations Management**, v. 25, n. 2, p. 387-402, 2007.

WEGLARZ, J., JOZEFOWSKA, J., MIKA, M., & WALIGORA, G. Project scheduling with finite or infinite number of activity processing modes - a survey. **European Journal of Operational Research**, 208, 177-205. (2011).

WEI, Chiu-Chi; LIU, Ping-Hung; TSAI, Ying-Chin. Resource-constrained project management using enhanced theory of constraint. **International Journal of Project Management**, v. 20, n. 7, p. 561-567, 2002.

WEIXIN, Wang et al. Research of Multi-attribute Trade Off Optimization on Critical Chain Multi-Project Scheduling. **Journal of Theoretical & Applied Information Technology**, v. 48, n. 2, 2013.

WILKENS, T. T. Critical Path, or Chain, or Both? "Avoiding time and resource buffers and managing float and resource leveling-with the all-important" human touch"-ensures achieving project goals. **PM NETWORK**, v. 14, n. 7, p. 68-75, 2000.

XIE, Xue-mei; GUANG, Yang; CHUANG, Lin. Software development projects IRSE buffer settings and simulation based on critical chain. **The Journal of China Universities of Posts and Telecommunications**, v. 17, p. 100-106, 2010.

YANG, Lixi et al. A buffer sizing approach in critical chain scheduling with attributes dependent. In: **Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, 2008**.

WiCOM'08. 4th International Conference on. IEEE, 2008. p. 1-4.

YANG, Shanlin; FU, Lei. Critical chain and evidence reasoning applied to multi-project resource schedule in automobile R&D process. **International Journal of Project Management**, v. 32, n. 1, p. 166-177, 2014.

YANG, Yi. Research of Audit Project Schedule Management Based on Critical Chain. In: **Information Engineering and Applications**. Springer London, 2012. p. 49-56.

YONG, Jin; ZHIGANG, Zhao. The project schedule management model based on the program evaluation and review technique and Bayesian networks. In: **Automation and Logistics (ICAL)**, 2011 IEEE International Conference on. IEEE, 2011. p. 379-383.

YU, Jing; XU, Zhe; HU, Chen. Buffer sizing approach in critical chain project management under multiresource constraints. In: **Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), 2013 6th International Conference on.** IEEE, 2013. p. 71-75.

ZHANG, Ai Lin; GENG, Ting Ting. Study on the Schedule Management Methods of Projects Based on Critical Chain Technology. In: **Applied Mechanics and Materials**. Trans Tech Publications, 2014. p. 1454-1457.

ZHANG, Lianying; SUN, Ruoxin. An improvement of resource-constrained multi-project scheduling model based on priority-rule based heuristics. In: **Service Systems and Service Management (ICSSSM), 2011 8th International Conference on.** IEEE, 2011. p. 1-5.

ZHANG, Junguang; JIA, Saiké; DIAZ, Estrella. A new buffer sizing approach based on the uncertainty of project activities. **Concurrent Engineering**, v. 23, n. 1, p. 3-12, 2015.

ZHANG, Junguang; SONG, Xiwei; DÍAZ, Estrella. Buffer sizing of critical chain based on attribute optimization. **Concurrent Engineering**, v. 22, n. 3, p. 253-264, 2014.

ZHANG, Junguang; SONG, Xiwei; DÍAZ, Estrella. Critical chain project buffer sizing based on resource constraints. **International Journal of Production Research**, v. 55, n. 3, p. 671-683, 2017.

ZHANG, Junguang; SONG, Xiwei; DÍAZ, Estrella. Project buffer sizing of a critical chain based on comprehensive resource tightness. **European Journal of Operational Research**, v. 248, n. 1, p. 174-182, 2016.

ZHAO, Zhen-Yu; YOU, Wei-Yang; LV, Qian-Lei. Applications of fuzzy critical chain method in project scheduling. In: **Natural Computation, 2008. ICNC'08. Fourth International Conference on.** IEEE, 2008. p. 473-477.

APÊNDICE A

Questionários de acompanhamento de tempo

Acompanhamento das Atividades no Gerenciamento de Tempo em AMP		
Projeto:	Tipo de Recurso:	Data:
Atividade:	Responsável:	Corrente Crítica () Sim () não
1 - Escopo foi alterado?	() Sim	() Não
2 – Análise de risco pela FMEA foi feita?	() Sim	() Não
3- Variabilidades na estimativa?	() Sim	() Não
3.1 Qual o percentual?	%	
4- Inclusão de novas atividades ou projeto?	() Sim	() Não
4.1 Qual (is)?		
5- Alterou a programação da atividade	() Sim	() Não
5.1 Qual (is)?		
6- Tem competição pelo mesmo recurso?	() Sim	() Não
6.1 Qual (is) atividades		
7 – Teve reprogramação de atividades?	() Sim	() Não
7.1 Qual (is)		
8- Teve mudança de Sucessora?	() Sim	() Não
8.1 Qual (is)		
9 –Tem Atividades Simultâneas?	() Sim	() Não
9.1 Quantas?		
10- A atividade atendeu no Prazo		

APÊNDICE B

Acompanhamento do Pulmão de Projeto (PP)

ACOMPANHAMENTO DO PULMÃO DE PROJETO (PP)							
Empresa:					Revisão:		
Projeto:					Prazo para Finalização:		
Responsável:					Recurso Crítico:		
Data de Atualização:					Pendência:		
Ativida- des(CC)	Recurso (dias)	Planejado (dias)	Planejado acumula- do	Realizado (dias)	Realizado Acumula- do	% Con- cluído Projeto	%Consu- mo PP

APÊNDICE C

Lista de Pendência de Atividade CC

LISTA DE PENDENCIADE ATIVIDADE NA CORRTE CRÍTICA - CC				
Empresa:				Revisão
Empreendimento:				
Data de Atualiza- ção:				
Atividade	Responsá- vel	Prazo para Finaliza- ção	Atendido?	Observações
			() Sim () Não () Parcialmente	
			() Sim () Não () Parcialmente	
			() Sim () Não () Parcialmente	

APÊNDICE D

Planejamento para Plano de Execução do Projeto pela Metodologia CCPM

Perguntas Iniciais do Plano de Execução	Sim	Não
A elaboração do projeto foi adequada para cada elemento do projeto?		
A seleção foi adequada de equipamentos e máquinas para execução?		
Foi feito o treinamento de pessoal e alocadas às pessoas experientes em projeto?		
Foi estimado o fluxo do processo até a conclusão do trabalho com racionalidade?		
Foi fornecida uma medida de pulmão apropriada dos projetos para os funcionários?		
Foi elaborado um arranjo adequado do meio de comunicação e seu retorno à coordenação (<i>feedback</i>)?		

APÊNDICE E

Critério adotado pela FMEA Severidade X Ocorrências para corte de tempo na atividade

SEVERIDADE		
Índice	Severidade	Critério
1	Mínima	O impacto no projeto pode ser negligenciado
2	Pequena	
3	Pequena	
4	Moderada	O impacto é muito pequeno
5	Moderada	Afetar ligeiramente o cronograma ou desempenho
6	Moderada	Afetar ligeiramente o cronograma ou desempenho
7	Alta	Afetar ligeiramente o cronograma ou desempenho
8	Alta	Afeta o cronograma ou desempenho do projeto (corrente crítica)
9	Muito alta	Afeta o cronograma ou desempenho do projeto (corrente crítica)
10	Muito alta	Afetar gravemente o projeto podendo ser impactado o projeto (corrente crítica)

OCORRÊNCIA		
Índice	Ocorrência	Proporção
1	Remota	1:1.000.000
2	Pequena	
3	Pequena	
4	Moderada	1:20.000
5	Moderada	1:4.000
6	Moderada	1:1.000
7	Alta	1:400
8	Alta	1:80
9	Muito Alta	1:40
10	Muito Alta	1:20

APÊNDICE F

Mudança de Escopo de Projeto

MUDANÇA DE ESCOPO			
PROJETO:		NÚMERO:	
FASE DO PROJETO			DATA:
SOLICITANTE:			
ASSINATURA:			
DEPARTAMENTO			
MOTIVO			
IMPACTO TÉCNICO			
IMPACTO DE CUSTO			
IMPACTO DE TEMPO			
AUTOTRIZAÇÃO DO GERENTE DE PROJETO			

APÊNDICE G

Informações de Projetos nos relatórios Finais

RELATÓRIOS FINAIS											
Nome do projeto:											
Empresa contratante:						Data:					
Contato											
Objetivos:											
Avaliação do Processo e do Produto de 0= Fraco a 10 excelente											
Qualidade de Serviço	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atendimento no prazo											
Comprometimento											
Prontidão para solução de problemas											
Informação regular acurada											
Habilidade de negociação											
Proatividade											
Organização											
Observância aos padrões											
Qualidade do Produto	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Atendimento aos requisitos do produto											
Adequação do produto ao uso											
Qualidade da documentação											
Comentários Gerais											

ANEXO A

Resultado dos cortes nos tempos pela FMEA nos Projetos

Valor do corte do tempo pela FMEA no Projeto A

Atividade	Recurso	Índices			Valor do corte do pulmão	Duração com-corte
		S	O	FR _(atraso)		
A₁₁	R1	10	7	70	44,9%	1,7
A₂₁	R2	9	7	63	43,71%	2,2
A₃₁	R3	9	7	63	43,71%	2,8
A₄₁	R12	9	8	72	45,24%	3,3
A₅₁	R4	8	8	64	43,88%	2,8
A₆₁	R2	10	5	50	41,5%	3,6
A₇₁	R5	5	5	25	37,25%	3,3
A₈₁	R6	5	5	25	37,25%	2,6
A₉₁	R7	8	8	64	43,88%	3,3
A_{10,1}	R4	6	10	60	43,2%	4,2
A_{11,1}	R11	6	10	60	43,2%	6,0

Valor do corte do tempo pela FMEA no Projeto B

Atividade	Recurso	Índices			Valor do corte do pulmão	Duração com corte
		S	O	FR _(atraso)		
A₁₂	R1	10	7	70	44,9%	2,2
A₂₂	R2	10	7	70	44,9%	3,3
A₃₂	R4	8	7	56	42,52%	4,2
A₄₂	R5	5	5	25	37,25%	4,6
A₅₂	R8	5	5	25	37,25%	6,5
A₆₂	R4	8	7	56	42,52%	3,0
A₇₂	R4	8	7	56	42,52%	3,0
A₈₂	R5	7	8	56	42,52%	3,6
A₉₂	R9	7	8	56	42,52%	3,0
A_{10,2}	R7	6	10	60	43,2%	4,2
A_{11,2}	R11	6	10	60	43,2%	3,6

Valor do corte do tempo pela FMEA no Projeto C

Atividade	Recurso	Índices			Valor do corte do pulmão	D u r a ç ã o com corte
		S	O	FR _(atraso)		
A_{13}	R1	10	7	70	44,90%	1,7
A_{23}	R2	10	7	70	44,9%	3,3
A_{33}	R12	9	7	63	43,71%	3,9
A_{43}	R4	7	8	56	42,52%	2,4
A_{53}	R10	5	5	25	37,25%	3,3
A_{63}	R7	5	5	25	37,25%	3,9
A_{73}	R4	7	8	56	42,52%	1,8
A_{83}	R9	7	8	56	42,52%	3,6
A_{93}	R7	6	9	54	42,18%	3,0
A_{103}	R11	6	10	60	43,20%	4,2

ANEXO B

Resultado da Mensuração do valor KIP (Incerteza/Complexidade)

PROJETO A: Incerteza													
	Nível de impacto					Nível de importância							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1				4						5	4	5	20
Variável 2				4						5	4	5	20
Variável 3			3						4		3	4	12
Variável 4				4						5	4	5	20
Variável 5				4					4		4	4	16
Variável 6			3						4		3	4	12
Variável 7		2							4		2	4	8
Variável 8			3						4		3	4	12
Variável 9				4				3			4	3	12
Variável 10				4					4		4	4	16
											Incerteza		0,59

PROJETO A: Complexidade													
	Nível de impacto					Nível de importância							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1			3						4		3	4	12
Variável 2	1						2				1	2	2
Variável 3		2						3			2	3	6
Variável 4		2					2				2	2	4
Variável 5			3						4		3	4	12
Variável 6			3						4		3	4	12
Variável 7			3					3			3	3	9
Variável 8			3					3			3	3	9
Variável 9		2					2				2	2	4
Variável 10				4					4		4	4	16
											Complexidade		0,34

KIP Total	:	0,204
-----------	---	-------

PROJETO B: Incerteza													
	Nível de impacto					Nível de importância							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1				4						5	4	5	20
Variável 2				4						5	4	5	20
Variável 3			3					3			3	3	9
Variável 4				4						5	4	5	20
Variável 5				4					4		4	4	16
Variável 6				4					4		4	4	16
Variável 7			3			1					3	1	3
Variável 8			3			1					3	1	3
Variável 9				4				3			4	3	12
Variável 10				4					4		4	4	16
											Incerteza		0,54

PROJETO B: Complexidade													
	Nível de impacto					Nível de importância							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1			3						4		3	4	12
Variável 2	1						2				1	2	2
Variável 3		2						3			2	3	6
Variável 4		2					2				2	2	4
Variável 5				4					4		4	4	16
Variável 6			3					3			3	3	9
Variável 7			3					3			3	3	9
Variável 8			3					3			3	3	9
Variável 9		2					2				2	2	4
Variável 10				4					4		4	4	16
											Complexidade		0,35

KIP Total: 0,188

PROJETO C: Incerteza													
	Nível de impacto					Nível de importância							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1				4				3			4	3	12
Variável 2				4					4		4	4	16
Variável 3			3						4		3	4	12
Variável 4			3							5	3	5	15
Variável 5				4					4		4	4	16
Variável 6			3					3			3	3	9
Variável 7			3					3			3	3	9
Variável 8			3						4		3	4	12
Variável 9				4				3			4	3	12
Variável 10				4					4		4	4	16
											Incerteza		0,52

PROJETO C: Complexidade													
	Nível de impacto					Nível de importân- cia							Total
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	Impacto	Importância	
Variável 1			3						4		3	4	12
Variável 2	1						2				1	2	2
Variável 3		2						3			2	3	6
Variável 4		2					2				2	2	4
Variável 5			3						4		3	4	12
Variável 6			3						4		3	4	12
Variável 7			3					3			3	3	9
Variável 8			3					3			3	3	9
Variável 9		2					2				2	2	4
Variável 10				4					4		4	4	16
											Complexidade		0,34
KIP Total: 0,178													

ANEXO C

Resultado do Fator de Complexidade da Rede nas Atividades

Fator de Complexidade da Rede na Atividade - Projeto A			
Atividade	Predecessoras	N Total na rede	CRI
A_{11}	1	9	0,11
A_{21}	3	9	0,33
A_{31}	4	9	0,44
A_{41}	5	9	0,56
A_{51}	6	9	0,67
A_{61}	2	9	0,22
A_{71}	3	7	0,43
A_{81}	4	7	0,57
A_{91}	7	9	0,78
$A_{10,1}$	8	9	0,89
$A_{11,1}$	9	9	1,00
Valor Total(CRI)			6,0

Fator de Complexidade da Rede na Atividade - Projeto B			
Atividade	Predecessoras	N Total na rede	CRI
A_{12}	1	9	0,11
A_{22}	2	9	0,22
A_{32}	3	9	0,33
A_{42}	4	7	0,57
A_{52}	2	8	0,25
A_{62}	4	9	0,44
A_{72}	5	9	0,56
A_{82}	6	9	0,67
A_{92}	7	9	0,78
$A_{10,2}$	8	9	0,89
$A_{11,2}$	9	9	1,00
Valor Total(CRI)			5,82

Fator de Complexidade da Rede na Atividade - Projeto C			
Atividade	Predecessoras	N Total na rede	CRI
A_{13}	1	8	0,13
A_{23}	2	8	0,25
A_{33}	3	8	0,38
A_{43}	4	8	0,50
A_{53}	2	7	0,29
A_{63}	3	7	0,43
A_{73}	5	8	0,63
A_{83}	6	8	0,75
A_{93}	7	8	0,88

A_{10,3}	8	8	1,00
Valor Total (CRI)			5,21

ANEXO D

Resultado do Fator de Recurso Rti nos Projetos

Consumo de Recurso disponível no tempo programado (Rti) – PROJETO A				
Atividade	Recurso	QR	Disponibilidade	Rti
A₁₁	R1	1	2	0,50
A₂₁	R2	1	1	1,00
A₃₁	R3	1	1	1,00
A₄₁	R12	2	3	0,67
A₅₁	R4	3	7	0,43
A₆₁	R2	1	1	1,00
A₇₁	R5	2	4	0,50
A₈₁	R6	3	4	0,75
A₉₁	R7	3	7	0,43
A_{10,1}	R4	2	7	0,29
A_{11,1}	R11	1	3	0,33
			Valor Total(Rti)	6,89

Consumo de Recurso disponível no tempo programado (Rti) – PROJETO B				
Atividade	Recurso	QR	Disponibilidade	Rti
A₁₂	R1	2	2	1,00
A₂₂	R2	1	1	1,00
A₃₂	R4	3	7	0,43
A₄₂	R5	2	4	0,50
A₅₂	R8	2	3	0,67
A₆₂	R4	3	7	0,43
A₇₂	R4	2	7	0,29
A₈₂	R5	3	4	0,75
A₉₂	R9	2	4	0,50
A_{10,2}	R7	2	7	0,29
A_{11,2}	R11	2	3	0,67
			Valor Total(Rti)	6,51

Consumo de Recurso disponível no tempo programado (Rti) – PROJETO C				
Atividade	Recurso	QR	Disponibilidade	Rti
A₁₃	R1	1	2	0,50
A₂₃	R2	1	1	1,00
A₃₃	R12	2	3	0,67
A₄₃	R4	3	7	0,43
A₅₃	R10	2	3	0,67
A₆₃	R7	3	7	0,43
A₇₃	R4	3	7	0,43
A₈₃	R9	2	4	0,50
A₉₃	R7	3	7	0,43
A_{10,3}	R11	2	3	0,67
			Valor Total (Rti)	5,71

ANEXO E

Resultado do Fator de Flexibilidade na Atividade nos Projetos

Fator de Flexibilidade na Atividade – Projeto A		
Atividade	Flexibilidade (fa)	1 + fa
A₁₁	0,00	1,00
A₂₁	0,30	1,30
A₃₁	0,30	1,30
A₄₁	0,60	1,60
A₅₁	0,60	1,60
A₆₁	0,30	1,30
A₇₁	0,60	1,60
A₈₁	0,60	1,60
A₉₁	0,60	1,60
A_{10,1}	0,60	1,60
A_{11,1}	1,00	2,00

Fator de Flexibilidade na Atividade – Projeto B		
Atividade	Flexibilidade (fa)	1 + fa
A₁₂	0,00	1,00
A₂₂	0,30	1,30
A₃₂	0,30	1,30
A₄₂	0,60	1,60
A₅₂	0,30	1,30
A₆₂	0,60	1,60
A₇₂	0,60	1,60

A_{82}	0,60	1,60
A_{92}	0,60	1,60
$A_{10,2}$	0,60	1,60
$A_{11,2}$	1,00	2,00

Fator de Flexibilidade na Atividade – Projeto C		
Atividade	Flexibilidade (fa)	1 + fa
A_{13}	0,00	1,00
A_{23}	0,30	1,30
A_{33}	0,30	1,30
A_{43}	0,60	1,60
A_{53}	0,60	1,60
A_{63}	0,60	1,60
A_{73}	0,60	1,60
A_{83}	0,60	1,60
A_{93}	0,60	1,60
$A_{10,3}$	1,00	2,00

ANEXO F

Resultado Geral dos Fatores de Influencia para Cálculo do Pulmão de Projeto

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - A								
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão Projeto
A₁₁	0,11	0,204	0,50	1,00	1,41	4,45	10,03	10,22
A₂₁	0,33	0,204	1,00	1,30	1,31	11,56		
A₃₁	0,44	0,204	1,00	1,30	1,48	14,86		
A₄₁	0,56	0,204	0,67	1,60	1,44	14,66		
A₅₁	0,67	0,204	0,43	1,60	1,44	10,76		
A₆₁	0,22	0,204	1,00	1,30	1,34	12,21		
A₉₁	0,78	0,204	0,43	1,60	1,31	8,94		
A_{10,1}	0,89	0,204	0,29	1,60	1,46	9,07		
A_{11,1}	1,00	0,204	0,33	2,00	1,41	14,20		

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - B								
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão Projeto
A₁₂	0,11	0,188	1,00	1,00	1,42	8,04	10,14	9,53
A₂₂	0,22	0,188	1,00	1,30	1,39	13,09		
A₃₂	0,33	0,188	0,43	1,30	1,46	7,34		
A₆₂	0,44	0,188	0,43	1,60	1,35	9,46		
A₇₂	0,56	0,188	0,29	1,60	1,43	8,70		
A₈₂	0,67	0,188	0,75	1,60	1,43	16,13		
A₉₂	0,78	0,188	0,50	1,60	1,24	8,85		
A_{10,2}	0,89	0,188	0,29	1,60	1,41	8,38		
A_{11,2}	1,00	0,188	0,67	2,00	1,44	22,89		

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - C								
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz	Pulmão Projeto
A₁₃	0,13	0,178	0,50	1,00	1,37	4,19	9,68	7,74
A₂₃	0,25	0,178	1,00	1,30	1,46	14,34		
A₃₃	0,38	0,178	0,67	1,30	1,40	9,17		
A₄₃	0,50	0,178	0,43	1,60	1,38	10,01		
A₇₃	0,63	0,178	0,43	1,60	1,28	8,60		
A₈₃	0,75	0,178	0,50	1,60	1,38	11,02		
A₉₃	0,88	0,178	0,43	1,60	1,52	12,07		
A_{10,3}	1,00	0,178	0,67	2,00	1,48	24,42		

ANEXO G

Resultado Geral dos Fatores de Influencia para Calculo do Pulmão de Alimentação

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão de Alimentação - A							
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz
A ₁₁	0,11	0,204	0,50	1,00	1,41	4,45	6,69
A ₆₁	0,22	0,204	1,00	1,30	1,34	12,21	
A ₇₁	0,43	0,204	0,50	1,60	1,48	12,58	
A ₈₁	0,57	0,204	0,75	1,60	1,41	15,52	

Calculo de Pulmão de Alimentação Projeto A (PA) A₈₁ = 1,82

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - B1							
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz
A ₁₁	0,11	0,188	1,00	1,00	1,42	8,04	6,25
A ₂₁	0,22	0,188	1,00	1,30	1,39	13,09	
A ₃₁	0,33	0,188	0,43	1,30	1,46	7,34	
A ₄₁	0,57	0,188	0,50	1,60	1,36	10,63	

Calculo de Pulmão de Alimentação Projeto B (PA) Atividade A₄₂ = 1,45

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - B2							
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz
A ₁₂	0,11	0,188	1,00	1,00	1,42	8,04	4,06
A ₅₂	0,25	0,188	0,67	1,30	1,34	8,46	

Valor de Pulmão de Alimentação Projeto B (caminho) (PA1) Atividade A₅₂ = 0,28

Quadro geral das variáveis de influencia do Pulmão do Projeto - C							
Atividade	CRi	KIP	Fator de Recurso	Fator de Flexibilidade	Desvio Padrão	Soma	Raiz
A ₁₃	0,25	0,188	0,67	1,30	1,34	8,46	6,25
A ₅₃	0,13	0,178	0,50	1,00	1,37	4,19	
A ₆₃	0,29	0,178	0,67	1,60	1,40	13,86	

Calculo de Pulmão de Alimentação Projeto C (PA) A₆₃ = 0,81

ANEXO H

Resultados Escala de Fatores Críticos de Sucesso

Percentual de Sucesso por Projeto por variável: Projeto A			
Direcionador Habilidades Gerenciais	Pontuação da Es- cala	Pontuação da Variável	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de pro- jeto por variável (em %)
1-Habilidade de comunicação	30	24	80,00%
2-Definição do cronograma	24	24	100%
3-Aceitação da proposta do projeto	24	15	62,50%
4- Indicação de papéis e res- ponsabilidades	17	12	70,59%
5-Qualificação da equipe	17	15	88,24%
6 - Informação da Evolução do Projeto	13	11	84,62%
TOTAL	125	101	80,8%
Direcionador Fatores Críticos de Sucesso	Pontuação da Es- cala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de pro- jeto por variável (em %)
1-Cumprimento do prazo	36	24	66,67%
2-Definição do escopo do pro- jeto	37	28	75,68%
3- Cumprimento do orçamen- to/ custo	32	30	93,75%
4- Comprometimento da equi- pe	34	31	91,18%
5- Planejamento do projeto	29	23	79,31%
6-Habilidade de comunicação	27	26	96,30%
TOTAL	195	162	83,1%
Direcionador Monitoramento e Controle	Pontuação da Es- cala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de pro- jeto por variável (em %)
1-Reuniões de monitoramento do projeto	23	21	91,30%
2-Determinação dos pontos de controle	19	15	78,95%
3-Variação dos benefícios do projeto	18	13	72,22%
4-Variação de Orçamento e Custo	13	12	92,31%
5- Variação de prazo	13	9	69,23%
6- Identificação de desvios de metas	9	4	44,44%
TOTAL	95	74	77,9%

Direcionador Lições Aprendidas	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
1- Conclusão dentro do Orçamento/Custo planejado	22	20	90,91%
2-Conclusão no prazo planejado	20	15	75,00%
3-Comunicação do projeto	19	17	89,47%
4-Conclusão de acordo com escopo estabelecido	14	11	78,57%
5- Discussão das alterações de metas e objetivos	2	1	50,00%
6- Compilação dos documentos do projeto	8	7	87,50%
TOTAL	85	71	83,5%

Percentual de Sucesso por Projeto por variável: Projeto B			
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Habilidades Gerenciais			
1-Habilidade de comunicação	30	24	80,00%
2-Definição do cronograma	24	22	92%
3-Aceitação da proposta do projeto	24	15	62,50%
4- Indicação de papéis e responsabilidades	17	13	76,47%
5-Qualificação da equipe	17	15	88,24%
6 - Informação da Evolução do Projeto	13	9	69,23%
TOTAL	125	98	78,4%
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Fatores Críticos de Sucesso			
1-Cumprimento do prazo	36	23	63,89%
2-Definição do escopo do projeto	37	30	81,08%
3- Cumprimento do orçamento/ custo	32	26	81,25%
4- Comprometimento da equipe	34	30	88,24%
5- Planejamento do projeto	29	23	79,31%
6-Habilidade de comunicação	27	25	92,59%
TOTAL	195	157	80,5%
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Monitoramento e Controle			
1-Reuniões de monitoramento do projeto	23	23	100,00%
2-Determinação dos pontos de controle	19	14	73,68%
3-Variação dos benefícios do projeto	18	12	66,67%

4-Varição de Orçamento e Custo	13	11	84,62%
5- Variação de prazo	13	8	61,54%
6- Identificação de desvios de metas	9	5	55,56%
TOTAL	95	73	76,8%
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Lições Aprendidas			
1- Conclusão dentro do Orçamento/Custo planejado	22	19	86,36%
2-Conclusão no prazo planejado	20	14	70,00%
3-Comunicação do projeto	19	16	84,21%
4-Conclusão de acordo com escopo estabelecido	14	12	85,71%
5- Discussão das alterações de metas e objetivos	2	1	50,00%
6- Compilação dos documentos do projeto	8	6	75,00%
TOTAL	85	68	80,0%

Percentual de Sucesso por Projeto por variável: Projeto C			
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do Sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Habilidades Gerenciais			
1-Habilidade de comunicação	30	23	76,67%
2-Definição do cronograma	24	15	63%
3-Aceitação da proposta do projeto	24	14	58,33%
4- Indicação de papéis e responsabilidades	17	10	58,82%
5-Qualificação da equipe	17	15	88,24%
6 - Informação da Evolução do Projeto	13	7	53,85%
TOTAL	125	84	67,2%
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Fatores Críticos de Sucesso			
1-Cumprimento do prazo	36	19	52,78%
2-Definição do escopo do projeto	37	15	40,54%
3- Cumprimento do orçamento/ custo	32	21	65,63%
4- Comprometimento da equipe	34	30	88,24%
5- Planejamento do projeto	29	15	51,72%
6-Habilidade de comunicação	27	20	74,07%
TOTAL	195	120	61,5%

Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Monitoramento e Controle			
1-Reuniões de monitoramento do projeto	23	21	91,30%
2-Determinação dos pontos de controle	19	12	63,16%
3-Varição dos benefícios do projeto	18	10	55,56%
4-Varição de Orçamento e Custo	13	10	76,92%
5- Varição de prazo	13	6	46,15%
6- Identificação de desvios de metas	9	4	44,44%
TOTAL	95	63	66,3%
Direcionador	Pontuação da Escala	Pontuação da Variável	Mensuração do sucesso do gerenciamento de projeto por variável (em %)
Lições Aprendidas			
1- Conclusão dentro do Orçamento/Custo planejado	22	17	77,27%
2-Conclusão no prazo planejado	20	15	75,00%
3-Comunicação do projeto	19	15	78,95%
4-Conclusão de acordo com escopo estabelecido	14	12	85,71%
5- Discussão das alterações de metas e objetivos	2	2	100,00%
6- Compilação dos documentos do projeto	8	7	87,50%
TOTAL	85	68	80,0%

ANEXO I

Percentual do Controle do Pulmão Executado x Pulmão Utilizado

Controle de Pulmão de tempo dos projetos individuais				
PROJETO A			$y = 0,6x + 0,15$	$y = 0,7x + 0,3$
Projeto Executado %	Pulmão Utilizado %	IDP	Limite Inferior	Limite Superior
0%	8,32%	0,2	0%	30%
5%	31,31%	6,3	3%	33%
10%	43,55%	4,4	6%	36%
15%	53,82%	3,6	9%	39%
20%	54,80%	2,7	12%	42%
25%	54,80%	2,2	15%	45%
30%	50,89%	1,7	18%	48%
35%	49,91%	1,4	21%	51%
40%	52,84%	1,3	24%	54%
45%	50,89%	1,1	27%	57%
50%	51,38%	1,0	30%	60%
55%	51,38%	0,9	33%	63%
60%	54,31%	0,9	36%	66%
65%	52,35%	0,8	39%	69%
70%	52,35%	0,7	42%	72%
75%	48,44%	0,6	45%	75%
80%	48,44%	0,6	48%	78%
85%	56,27%	0,7	51%	81%
90%	69,97%	0,8	54%	84%
95%	79,75%	0,8	57%	87%
100%	89,54%	0,9	60%	90%
PROJETOB			$y = 0,6x + 0,15$	$y = 0,7x + 0,3$
Projeto Executado %	Pulmão Utilizado %	IDP	Limite Inferior	Limite Superior
0%	10%	0,2	0%	30%
5%	26%	5,2	3%	33%
10%	42%	4,2	6%	36%
15%	27%	1,8	9%	39%
20%	44%	2,2	12%	42%
25%	49%	2,0	15%	45%
30%	65%	2,2	18%	48%
35%	68%	1,9	21%	51%
40%	70%	1,7	24%	54%
45%	62%	1,4	27%	57%
50%	55%	1,1	30%	60%
55%	55%	1,0	33%	63%
60%	55%	0,9	36%	66%
65%	55%	0,8	39%	69%

70%	47%	0,7	42%	72%
75%	42%	0,6	45%	75%
80%	31%	0,4	48%	78%
85%	25%	0,3	51%	81%
90%	41%	0,5	54%	84%
95%	62%	0,7	57%	87%
100%	72%	0,7	60%	90%
PROJETO C			y = 0,6x + 0,15	y = 0,7x + 0,3
Projeto Executado %	Pulmão Utilizado %	IDP	Limite Inferior	Limite Superior
0%	8%	0,2	0%	30%
5%	17%	3,5	3%	33%
10%	32%	3,2	6%	36%
15%	45%	3,0	9%	39%
20%	65%	3,2	12%	42%
25%	54%	2,2	15%	45%
30%	52%	1,7	18%	48%
35%	36%	1,0	21%	51%
40%	48%	1,2	24%	54%
45%	91%	2,0	27%	57%
50%	85%	1,7	30%	60%
55%	72%	1,3	33%	63%
60%	68%	1,1	36%	66%
65%	72%	1,1	39%	69%
70%	72%	1,0	42%	72%
75%	72%	1,0	45%	75%
80%	78%	1,0	48%	78%
85%	78%	0,9	51%	81%
90%	86%	1,0	54%	84%
95%	92%	1,0	57%	87%
100%	98%	1,0	60%	90%

ANEXO J

Controle de Monitoramento do Projeto Executado em Ambiente de Múltiplos Projetos

Data de Monitoramento: 13/janeiro /2018			$y = 0,6x + 0,15$ / $y = 0,7x + 0,3$		
Projeto Executado %	A	B	C	Limite Inferior	Limite Superior
0%				0%	30%
5%				3%	33%
10%				6%	36%
15%				9%	39%
20%		37,00%		12%	42%
25%	44,00%			15%	45%
30%			65,00%	18%	48%
35%				21%	51%
40%				24%	54%
45%				27%	57%
50%				30%	60%
55%				33%	63%
60%				36%	66%
65%				39%	69%
70%				42%	72%
75%				45%	75%
80%				48%	78%
85%				51%	81%
90%				54%	84%
95%				57%	87%
100%				60%	90%
Data de Monitoramento: 25 janeiro de 2018			$y = 0,6x + 0,15$ / $y = 0,7x + 0,3$		
Projeto Executado %	A	B	C	Limite Inferior	Limite Superior
0%				0%	30%
5%				3%	33%
10%				6%	36%
15%				9%	39%
20%				12%	42%
25%				15%	45%
30%				18%	48%
35%				21%	51%
40%			51,70%	24%	54%
45%	49,91%			27%	57%
50%		68,20%		30%	60%
55%				33%	63%
60%				36%	66%
65%				39%	69%

70%				42%	72%
75%				45%	75%
80%				48%	78%
85%				51%	81%
90%				54%	84%
95%				57%	87%
100%				60%	90%

Data de Monitoramento 03 fevereiro de 2018 : $y = 0,6x + 0,15$ $y = 0,7x + 0,3$					
Projeto Executado %	A	B	C	Limite Inferior	Limite Superior
0%				0%	30%
5%				3%	33%
10%				6%	36%
15%				9%	39%
20%				12%	42%
25%				15%	45%
30%				18%	48%
35%				21%	51%
40%				24%	54%
45%				27%	57%
50%				30%	60%
55%			84,7%	33%	63%
60%	51,4%			36%	66%
65%				39%	69%
70%		56,7%		42%	72%
75%				45%	75%
80%				48%	78%
85%				51%	81%
90%				54%	84%
95%				57%	87%
100%				60%	90%

Data de Monitoramento:15 fevereiro/2018 : $y = 0,6x + 0,15$ $y = 0,7x + 0,3$					
Projeto Executado %	A	B	C	Limite Inferior	Limite Superior
0%				0%	30%
5%				3%	33%
10%				6%	36%
15%				9%	39%
20%				12%	42%
25%				15%	45%
30%				18%	48%
35%				21%	51%
40%				24%	54%
45%				27%	57%

Anexo j

50%				30%	60%
55%				33%	63%
60%				36%	66%
65%				39%	69%
70%				42%	72%
75%			71,7%	45%	75%
80%	48,4%			48%	78%
85%		47,2%		51%	81%
90%				54%	84%
95%				57%	87%
100%				60%	90%

Data de Monitoramento: 27 fevereiro/2018 :y = 0,6x +0,15y = 0,7x +0,3					
Projeto Executado %	A	B	C	Limite Inferior	Limite Superior
0%				0%	30%
5%				3%	33%
10%				6%	36%
15%				9%	39%
20%				12%	42%
25%				15%	45%
30%				18%	48%
35%				21%	51%
40%				24%	54%
45%				27%	57%
50%				30%	60%
55%				33%	63%
60%				36%	66%
65%				39%	69%
70%				42%	72%
75%				45%	75%
80%				48%	78%
85%				51%	81%
90%				54%	84%
95%				57%	87%
100%	89,5%	72,4%	97,6%	60%	90%

ÍNDICE REMISSIVO

A

Alocação de recursos, 55, 106, 136

Ambiente de múltiplos projetos (AMP), 18, 50, 51, 114, 136, 149

Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA), 79, 129

C

Caminho crítico (CPM), 27–31, 38, 96, 119

CCPM (Critical Chain Project Management), 31–50, 112, 172

Complexidade de projetos, 42, 89, 102, 172

Corrente crítica, 31–50, 100, 128

D

Desconflitamento de recursos, 103, 142

Dimensionamento de pulmões, 66–77, 102, 131

E

Escalonamento de projetos, 99, 107, 137

Escritório de Planejamento e Controle de Projetos (EPCP), 111

F

Fatores Críticos de Sucesso (FCS), 158

Flexibilidade das atividades, 89, 102

G

Gerenciamento de projetos, 22–24

Gestão de múltiplos projetos, 50–53

H

Heurísticas de programação, 56–61, 103, 109

I

Incerteza em projetos, 42–45, 102, 172

Integração de ferramentas de gerenciamento, 18, 93, 165

M

MAXTWK, 109, 137

Método Corta e Cola (C&PM), 66–68, 155

Método da Corrente Crítica, 31–50

Método da Raiz Quadrada do Erro (RSEM), 68–73, 155

Método do Caminho Crítico (CPM), 27–31

P

PERT, 25–27, 96, 119

Planejamento de projetos, 53, 94

Pulmão de alimentação (PA), 63, 131

Pulmão de capacidade (PC), 64, 140

Pulmão de projeto (PP), 62, 131, 143

Pulmão de recurso (PR), 63

Pulmões de tempo, 61–77, 109, 149

R

Recursos restritivos, 53, 106, 136

RCPSP (Problema de Programação de Projetos com Restrição de Recursos), 18, 56

T

Teoria das Restrições (TOC), 35, 41

Tempo de projeto, 24, 61, 102

AUTOR



WELLINTON DE ASSUNÇÃO

Possui graduação em Engenharia Mecânica pela Universidade Estadual do Maranhão (1995) e doutorado em Engenharia Mecânica pela Faculdade Engenharia Mecânica - Universidade Estadual de Campinas (2018). Atualmente é professor adjunto IV da Universidade Estadual do Maranhão. Tem experiência na área de Engenharia de Produção, com ênfase em Garantia de Controle de Qualidade, atuando principalmente nos seguintes temas: Gestão de Projetos, Gestão de Custos, Simulação Monte Carlo, Gestão de Manutenção e Gestão de Logística.

Esta obra apresenta uma abordagem inovadora para o gerenciamento de projetos em ambientes de múltiplos projetos, integrando ferramentas como PERT/CPM, FMEA, Teoria das Restrições e Corrente Crítica (CCPM). O autor propõe modelos para dimensionamento de pulmões de tempo e resolução de conflitos de recursos por meio de heurísticas de programação. Com sólida fundamentação teórica e aplicação prática em estudos de caso, o livro oferece contribuições relevantes para pesquisadores, estudantes e profissionais que buscam maior eficiência, previsibilidade e desempenho na gestão de projetos complexos.

ISBN 978-65-84364-47-9

